UNIVERSDIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL LA PLATA

MECÁNICA TECNOLÓGICA

Departamento de Ingeniería Mecánica

ISSN: 2683-9148. Volumen 2. Diciembre 2020

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. Matías E. Fernández

Mg. Ing. David Barceló

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, dinámica, energía, estática, mecánica de fluidos, robótica, entre otros.

Los trabajos que presentamos en este número han sido sometidos a 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 Ing. José Cordero y secretario Mg. Ing. David Barceló 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

íNDICE

Estimación de los parámetro operativos de una turbina eólica de baja potencia mediante dinámica de fluidos computacional……1
Autor: Santiago Mosca

Desarrollo de los fundamentos de un sistema de gestión de calidad para la firma HEEDBA – Soluciones Metalmecánicas……..……33
Autor: Franco G. Bagatto

Proyecto de siderurgia……59
Autor: Juan I. Guillet

Dispositivo para medir la velocidad de un chorro……83
Autor: Miguel Ángel Mangué Obama

Proceso de control y medición de vehículos de competición……108
Autor: Alexis E. Ribot

Diseño y construcción de un intercambiador de calor CHILLER……123
Autor: Maximiliano Detena

Diseño y planificación de sistema de aire comprimido para establecimiento de desarrollo mecánico……152
Autor: Gean F. Ferrero

Transferencia de calor en régimen transitorio……*175*
Autora: Constanza Murgia

Banco de pruebas para bombas centrífugas……*194*
Autor: Alfredo G. Gallardo

Estimación de los parámetros operativos de una turbina eólica de baja potencia mediante dinámica de fluidos computacional

Alumno: Santiago Mosca

Docente tutor: Dr.Ing. Mauro Baldini

Introducción

El presente informe detalla las actividades realizadas durante la Práctica Profesional Supervisada (PS) contemplada para la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional. El objetivo fue estimar mediante técnicas de modelado los parámetros operativos del rotor de una turbina eólica de baja potencia, y evaluar la viabilidad del modelo desarrollado para una estimación de la eficiencia del rotor de la turbina.

El uso de fuentes renovables para generar energía eléctrica lleva un desarrollo sostenido, contribuyendo a mitigar el cambio climático y aportando beneficios económicos (International Energy Agency, 2012). Entre las principales energías renovables se cuentan la energía eólica, geotérmica, hidráulica y solar. Aunque la mayoría de los proyectos son de gran tamaño, la implementación de energías renovables en pequeña escala es adecuada para zonas rurales y remotas (World Energy Assesment, 2001).

El generador eólico de baja potencia estudiado fue desarrollado por Hugg Piggott y se adecua a los requerimientos de una instalación eléctrica aislada de la red principal de energía. Corresponde al tipo de eje horizontal, velocidad de rotación variable, con tres aspas de ángulo de paso fijo, y un generador eléctrico que produce corriente alterna trifásica. Tiene un diámetro de rotor de 2,4 m y se estima que es capaz de producir 700 W de energía eléctrica a la velocidad nominal de viento incidente (Piggott, 2003). El manual para su fabricación da indicaciones sobre cómo tallar en madera las aspas del generador, pero no brinda información detallada acerca del desempeño aerodinámico de las mismas. Solo se menciona que están diseñadas para girar a una velocidad angular óptima relativa al viento frontal incidente sobre el rotor, y en estas condiciones generar la potencia nominal

señalada. Resulta de interés obtener información sobre los parámetros aerodinámicos de las aspas con los que, mediante un modelo de análisis adecuado, sea posible evaluar la viabilidad de su instalación en distintos proyectos que contemplen el uso de energías renovables.

Para el modelo de análisis se utilizó la teoría de la cantidad de movimiento del elemento de aspa, o BEM por la abreviación del nombre en inglés: *blade element momentum theory*. Para la determinación de los parámetros aerodinámicos que describen un perfil se optó por utilizar técnicas de ingeniería asistida por computadora. Esta opción es menos intensiva en recursos, tanto en tiempos de desarrollo como materiales o instalaciones necesarios, frente a métodos empíricos (Raphael y Smith, 2003). En particular, el diseño asistido por computadora (*Computer Aided Design*) y la dinámica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics*) permitieron el modelado de la geometría y su simulación bajo las condiciones de flujo requeridas con el fin de estimar los coeficientes de sustentación y arrastre de distintas secciones de las aspas.

Marco de referencia

Modelo teórico de la turbina

El desarrollo de esta PS se funda en la teoría de la cantidad de movimiento del elemento de aspa. Esta surge de reunir las conclusiones de la teoría de la cantidad de movimiento con la teoría del elemento de aspa. Un desarrollo detallado de los conceptos que se enunciarán a continuación puede encontrarse en Burton y col. (2011), Wilson, Lissaman y Walker (1976) y Wood (2011).

El método BEM 2D es un modelo simple que permite evaluar la eficiencia de una turbina eólica. Requiere información de la posición radial de la raíz y punta del aspa, la distribución de longitudes de cuerda y ángulos de paso en la envergadura de la misma, e información sobre los coeficientes de sustentación y arrastre de los perfiles que describen las secciones del aspa con los que se analizará el desempeño como extractor de potencia.

Las aspas son divididas en un cierto número de secciones donde, para calcular las fuerzas locales, se necesita información sobre el número de Reynolds y ángulo de ataque, y las

características aerodinámicas del perfil de la sección. Para la resolución de estas ecuaciones el flujo de aire se modela como tubos de corriente circunferenciales de espesor δr, correspondientes a cada elemento de aspa.

El modelo asume que no hay dependencia radial entre secciones y que fuerzas constantes actúan en cada elemento. Esta segunda asunción es válida solo para un número infinito de aspas, y un factor de corrección es empleado para permitir el cálculo para un número de aspas finito.

Teoría de la cantidad de movimiento. Una turbina eólica tiene como fluido de trabajo el aire de la atmósfera. El análisis del proceso de extracción de energía puede realizarse mediante un dispositivo genérico llamado *disco actuador* (ver Figura 1). El disco induce una variación en la velocidad que es superpuesta a la velocidad de corriente libre. Como resultado de la disminución de velocidad, por la extracción de energía, la estela expande su sección para mantener un caudal constante. También se origina una caída de presión sobre el rotor, que causa la fuerza de empuje aplicada sobre el flujo de aire. La variación de la velocidad axial y de la presión se ilustran en la Figura 1.

La componente de la velocidad inducida por el disco en la dirección de la corriente está dada por $-aU_\infty$, siendo a el factor de inducción axial. En el disco, entonces, la velocidad neta en la dirección perpendicular al disco es

$$U_d = U_\infty (1-a) \quad (1)$$

La fuerza ejercida sobre el aire, conocida como empuje o *thrust*, está dada por

$$T = (p_d^+ - p_d^-) A_d = 2\rho A_d U_\infty^2 a (1-a) \quad (2)$$

Esta fuerza puede ser adimensionalizada para dar un *coeficiente de empuje*

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 A_d} = C_T = 4a(1-a) \quad (3)$$

Cuando $a \geq ½$ la velocidad en la estela, dada por $(1 - 2a)U_\infty$, se vuelve nula o incluso negativa. En estas condiciones la teoría de la cantidad de movimiento ya no es aplicable y se deben emplear correcciones empíricas.

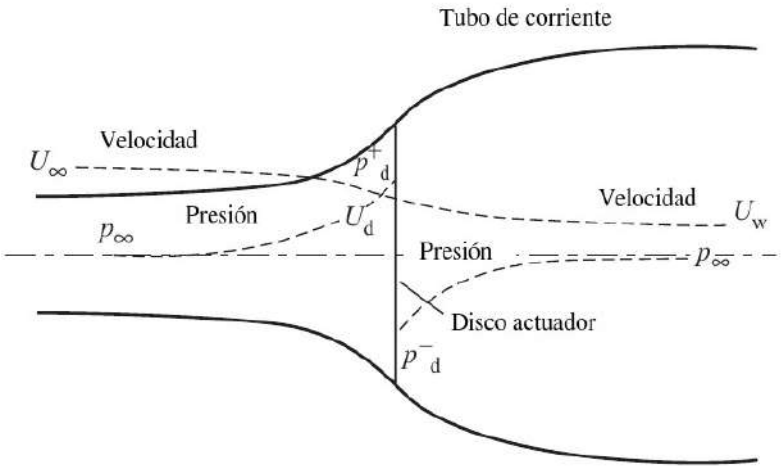


Fig.1 - Un disco actuador extractor de energía y el tubo de corriente.
Imagen adaptada de Wind Energy Handbook (Burton y col. 2011).

La turbina considerada emplea un rotor con tres aspas rotando con velocidad angular Ω en torno a un eje normal al plano del rotor y paralelo a la dirección del viento. El torque generado por las aspas sobre el rotor causa uno igual y opuesto sobre el aire. En la estela las partículas del mismo tienen una componente de velocidad axial y otra tangencial a la rotación. El cambio en la velocidad tangencial se expresa con un factor de inducción angular *a'*. Corriente arriba la velocidad tangencial es cero, e inmediatamente corriente abajo es $2\Omega r a'$.

Igualando la potencia en términos del factor axial y en términos del factor angular se llega a $U^2_\infty a(1 - a) = \Omega^2 r^2 a'$. Donde Ωr es la velocidad tangencial del elemento anular, y $\lambda_r = \Omega r/U_\infty$ es la velocidad específica local (*local speed ratio*). En el borde del disco r = *R* y $\lambda = \Omega R/U_\infty$ es la velocidad específica de la punta (*tip speed ratio*). Este parámetro, TSR, es el más usado para establecer las curvas de coeficiente de potencia como función de la velocidad de giro. Por lo tanto:

$$a(1-a)=\lambda_r^2 a' \quad (4)$$

La eficiencia de un elemento de aspa es

$$\eta_r = 4a'(1-a)\lambda_r^2 \quad (5)$$

La variación del coeficiente de potencia según el radio del aspa es

$$\frac{dC_P}{du}=8(1-a)a'\lambda^2 u^3 \quad (6)$$

donde $\mu = r/R$. Sabiendo cómo a y a' varían radialmente, la ecuación (6) puede ser integrada para determinar el coeficiente de potencia total para un rotor que gira a una velocidad específica λ dada.

Teoría de la cantidad de movimiento del elemento de aspa (BEM). La teoría BEM asume que no hay interacción radial entre los flujos de anillos contiguos, una condición que será válida sólo si el factor de inducción axial es uniforme en toda la envergadura. Esto no suele suceder, pero estudios experimentales demuestran que esta asunción de independencia radial es aceptable para $\lambda > 3$ (Burton y col., 2011).

Consideramos una turbina con N cantidad de aspas de envergadura R, con cuerda c y ángulo de paso β medido entre la cuerda del aspa y el plano de rotación del disco. La cuerda y el ángulo de paso varían a lo largo del aspa.

La velocidad total que observa un elemento de aspa es

$$W=\sqrt{U_\infty^2(1-a)^2+\Omega^2 r^2(1+a')^2} \quad (7)$$

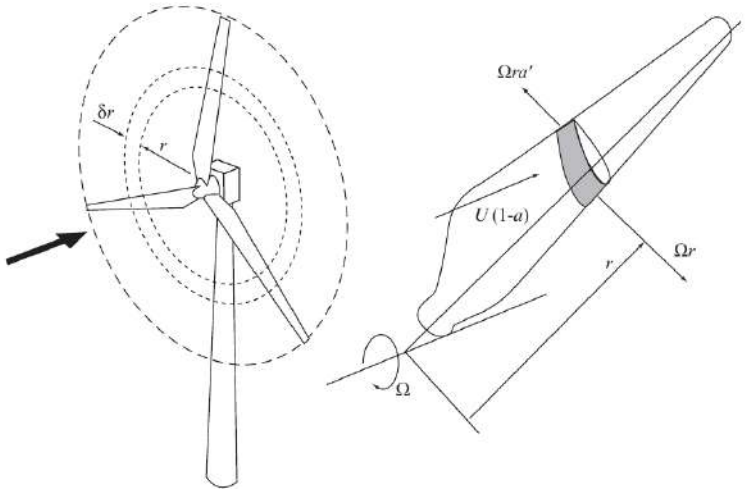


Fig.2 - Un elemento de aspa que describe un elemento anular.
Imagen de Wind Energy Handbook (Burton y col. 2011).

y actúa con un ángulo de flujo φ respecto al plano de rotación, tal que

$$sin\varphi=\frac{U_\infty(1-a)}{W} \text{ y } cos\varphi=\frac{\Omega r(1+a')}{W} \quad (8)$$

El ángulo de ataque está dado por $\alpha = \varphi - \beta$. En la Figura 2 se aprecia un esquema del elemento de aspa y la circunferencia barrida por él. En la Figura 3 puede verse la velocidad incidente total y sus componentes.

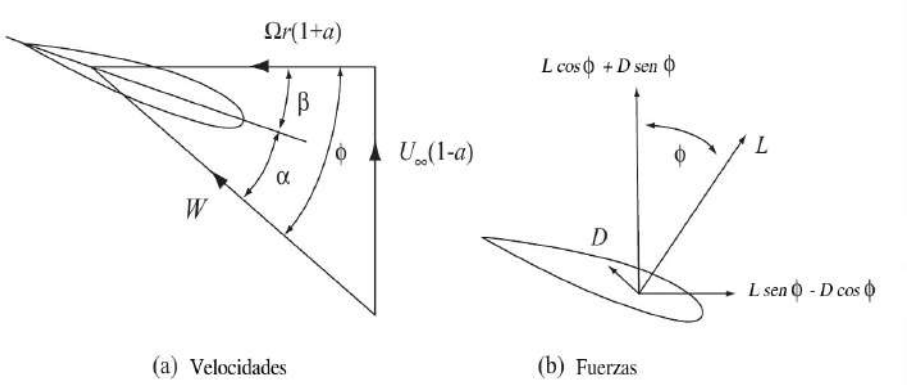


Fig.3 - Velocidades y fuerzas sobre un elemento de aspa. Imagen adaptada de Wind Energy Handbook (Burton y col. 2011).

Las fuerzas de sustentación y arrastre para un elemento δr en la dirección de la envergadura, normal a la dirección de W, se expresan como

$$\delta L=\frac{1}{2}\rho W^2 c C_L r \delta r \text{ y } \delta D=\frac{1}{2}\rho W^2 c C_D r \delta r \quad (9)$$

Igualando estas ecuaciones con el torque y el empuje realizados por el rotor se llega a

$$a=\frac{\kappa}{1+\kappa} \text{ , donde } \kappa=\frac{\sigma_r C x}{4 F sin^2\varphi} \quad (10)$$

$$a'=\frac{\gamma}{1-\gamma} \text{ , donde } \gamma=\frac{\sigma_r C_y}{4 F sin\varphi cos\varphi} \quad (11)$$

La resolución de las ecuaciones 10 y 11 para obtener los factores de inducción a y a' utilizando las características bidimensionales de un perfil requiere un proceso iterativo. Por conveniencia se escribe:

$$C_L cos\varphi+C_D sin\varphi=C_x \text{ y } C_L sin\varphi-C_D cos\varphi=C_y \quad (12)$$

La solidez de la cuerda σ_r, o solidez local, es definida como la longitud de la cuerda del elemento de aspa dividido por la longitud de la circunferencia en el radio evaluado

$$\sigma_r = \frac{Nc}{2\pi r} = \frac{Nc}{2\pi \mu R} \quad (13)$$

El factor de pérdidas de la punta de Prandtl es requerido para corregir la suposición de un disco compuesto por infinita cantidad de aspas. Se define como

$$F = \frac{2}{\pi} arccos(e^{-f}) \text{, donde } f = \frac{N(R-r)}{2r\,sin\varphi} \quad (14)$$

Para turbinas fuertemente cargadas, cuando *a* es superior a un valor crítico, la teoría de la cantidad de movimiento ya no es aplicable. En este punto, una recta es ajustada a resultados experimentales para un rotor entero fuertemente cargado.

La corrección de Glauert (Berges, 2007), aplicada al coeficiente de empuje, es un modo empírico para ajustarse a las mediciones. La ecuación del coeficiente de empuje para valores superiores al crítico de *a* es

$$C_T = C_{T1} - 4(\sqrt{C_{T1}} - 1)(1-a) \quad (15)$$

y el valor de *a* en el punto crítico de transición es

$$a_T = 1 + \frac{1}{2}\sqrt{C_{T1}} \quad (16)$$

En este trabajo el autor adopta C_T = 1,6, valor que corresponde al determinado por Wilson, Lissaman y Walker (1976). Para $a > a_T$ se modifica la ecuación 12. Tenemos entonces, según Berges (2007),

$$a = \frac{1}{2}\{2 + K(1-2a_T) - \sqrt{[K(1-2a_T)+2]^2 + 4(Ka_T^2 - 1)}\} \quad (17)$$

$$\text{donde } K = \frac{4F\,sin^2\varphi}{\sigma_r C_x} \quad (18)$$

Procedimiento para caracterizar la eficiencia aerodinámica del aspa

El siguiente algoritmo (Wilson, Lissaman y Walker, 1976 o Wood, 2011) permite determinar los factores de inducción *a* y *a'*, por medio de una iteración, para cada elemento de aspa.

1. Especificar los valores iniciales para *R*, *B*, *c*, *β*, *λ*, U_∞, *ρ* y la tolerancia *ϵ*.
2. Proponer valor inicial a'_1,1 x e^{-6} es apropiado.
3. Proponer valor inicial para a_1,1 x e^{-4} es buen comienzo.
4. Determinar la velocidad axial y tangencial en el elemento, y con ellas el

ángulo de flujo φ. Calcular el ángulo de ataque $\alpha = \varphi - \beta$.

5. Calcular los coeficientes $C_D(\alpha, Re)$ y $C_L(\alpha, Re)$.

6. Calcular los valores de C_x y C_y.

7. Si $a_1 < a_T$, calcular el nuevo factor de prueba a_2 con la ecuación 10; si $a_1 > a_T$ calcular a_2 con la ecuación 17. Calcular el valor de prueba para a'_2 con la ecuación 11.

8. Si $| a_1 - a_2| < (\epsilon\, a_1)$ y $| a'_1 - a'_2| < (\epsilon\, a'_1)$, se han encontrado los factores de inducción para el elemento. Si no, volver al paso 3 e incrementar su valor en un porcentaje adecuado. El valor máximo para iteración sobre a_1 es 1.

9. Si no hay convergencia durante la iteración de los valores de a_1, aumentar el factor a'_1 en un porcentaje determinado y volver a iterar sobre a_1 . El máximo valor para la iteración sobre a'_1 se establece en 0,5.

Dinámica de fluidos computacional

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es el análisis de sistemas que involucran flujo de fluido, transferencia de calor y fenómenos asociados como reacciones químicas, por medio de simulaciones hechas por computadoras (Versteeg y Malalasekera, 2007). El software utilizado en esta PS usa el método de los volúmenes finitos (Finite Volume Method), una formulación especial de la técnica de diferencias finitas. Una descripción detallada del método es abordada en Anderson (1995), Versteeg y Malalasekera (2007) y Eymard, Herbin y Gallouët (2010).

Modelo del fluido para aplicar el método BEM. La hipótesis básica del método BEM y el régimen de velocidades de interés permiten adoptar la simplificación de flujo monofásico, incompresible (densidad constante), viscosidad constante, turbulento, sin fenómenos térmicos ni fuerzas de masa.(Versteeg y Malalasekera, 2007). Las ecuaciones que gobiernan el flujo en estas condiciones son las denominadas ecuaciones de Navier-Stokes

$$\nabla \cdot u = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u = -\nu \nabla^2 u - \nabla p \qquad (19)$$

La solución de este par de ecuaciones no es directa porque una ecuación explícita para la presión no está disponible. Un enfoques usual es derivar una ecuación para la presión tomando la divergencia de la ecuación de la cantidad de movimiento y sustituirla en la

ecuación de continuidad (*The SIMPLE algorithm in OpenFOAM*, 2014).

Turbulencia. Para las condiciones de simulación necesarias el flujo se encuentra en régimen turbulento. La naturaleza aleatoria del flujo turbulento impide una descripción económica del movimiento de todas las partículas del fluido. En cambio se descompone, por ejemplo, la velocidad en un valor medio U con una componente fluctuante $u'(t)$ superpuesta a ella: $u(t) = U + u'(t)$. Este proceso es llamado la *descomposición de Reynolds*. Un flujo turbulento puede ser descrito por medio de sus valores medios y propiedades estadísticas de sus fluctuaciones (Versteeg y Malalasekera, 2007). Las ecuaciones resultantes luego de aplicar la descomposición de Reynolds en las ecuaciones de Navier-Stokes se conocen como RANS (*Reynolds averaged Navier-Stokes equations*). Para resolver el problema de clausura asociado con este procedimiento es necesario modelar las tensiones de Reynolds de surgen de aplicar ecuaciones RANS (Versteeg y Malalasekera, 2007).

Modelo de turbulencia κ-ω – SST. El modelo de turbulencia κ-ω es un modelo de dos ecuaciones que emplea una viscosidad cinemática de la turbulencia ν_t, útil para varias aplicaciones aerodinámicas y números de Reynolds bajos. La variante "SST" implica el transporte de una tensión de corte. El parámetro κ describe la energía cinética por unidad de masa de la turbulencia del fluido, y ω la frecuencia de la turbulencia del mismo (Versteeg y Malalasekera, 2007).

Para el cálculo de las variables se siguen las indicaciones dadas por la NASA en *The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model* (2015) para la variante "SST-sust" del modelo. El subíndice ∞ corresponde a condiciones de la corriente libre. El subíndice s a condiciones sobre la superficie del perfil. La variable u denota la velocidad de corriente libre. Las ecuaciones utilizadas en esta PS se detallan a continuación.

- Energía cinética de la turbulencia de corriente libre:

$$\kappa_\infty = 10\, u^2 \times 10^{-6}\ [\mathrm{m^2 / s^2}] \quad (20)$$

- Frecuencia de la turbulencia de corriente libre:

$$\omega_\infty = 5\, u / L\ [\mathrm{s^{-1}}] \quad (21)$$

- Viscosidad cinemática de la turbulencia de corriente libre:

$$\nu_{t\infty} = \kappa_\infty / \omega_\infty\ [\mathrm{m^2/s}] \quad (22)$$

• Frecuencia de la turbulencia sobre la superficie:

$$\omega_s = 10\ [6\ \nu / \beta_1(\delta_1)^2]\ [s^{-1}] \quad (23)$$

donde $\beta_1 = 0{,}75$ y δ_1 es el espesor de la primera celda de la malla desde la superficie.

• Energía cinética y viscosidad cinemática de la turbulencia: estos dos parámetros deben ser iguales a 0 sobre la superficie considerada, sin embargo es aconsejado (*The Menter Shear Stress Transport Turbulence Model*, 2015) aproximar este valor a un número computacionalmente pequeño para evitar indeterminaciones de división por 0 en las ecuaciones del modelo.

$$K_s = 0\ [m^2/s^2],\ \nu_{ts} = 0\ [m^2/s] \quad (24)$$

<u>Distancia y^+.</u> La resolución de la turbulencia en la capa límite suele usar funciones de pared que se basan en la ley universal de la pared. La misma sostiene que la distribución de velocidad muy cercanamente a una pared es similar para todos los flujos turbulentos. Uno de los parámetros más prominentes para juzgar la aplicación de estas funciones es la distancia adimensional a la superficie $y^+ = y\ u_\tau / \nu$, donde u_τ es la velocidad de fricción, y es la distancia absoluta desde la superficie y ν es la viscosidad cinemática. Una referencia sobre cómo calcular estas variables está disponible en *Y plus wall distance calculation* (2011). Es posible interpretar la distancia y^+ como un número de Reynolds local, lo cual implica que su magnitud puede determinar la importancia relativa de los procesos viscosos y turbulentos (*What is y+*, 2018). Si la región lineal que se aprecia en la Figura 4-a está resuelta por el mallado no es necesario aplicar funciones de pared.

<u>Resolución de la capa límite.</u> Para el caso considerado, las funciones de pared no son aptas dado que es de interés determinar las fuerzas generadas sobre las superficies del perfil (*What is y+*, 2018). Por lo tanto se llevó a cabo la resolución de la capa límite. Esto implica que el centro de la primera celda de la malla se encuentre dentro de la subcapa viscosa, debiendo ser entonces la distancia adimensional $y^+ \leq 1$ (ver Figura 4-b).

<u>Condiciones de borde para las simulaciones.</u> Para esta PS, el acoplamiento de la ecuación de velocidad a la de presión requiere la especificación de sólo una de las dos en aquella superficie por la que ingrese el fluido, y la especificación en la superficie de salida de aquella variable no especificada en la entrada.

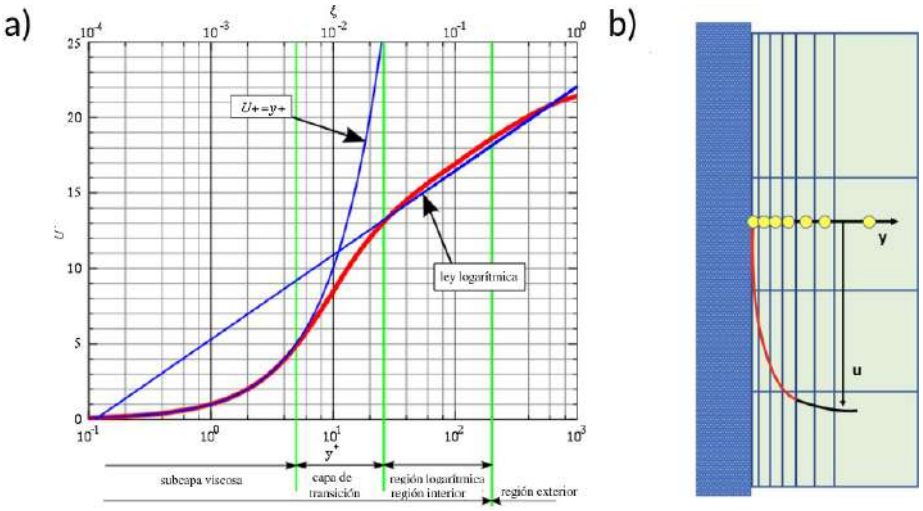


Fig.4 - a) La ley de la superficie. b) Resolución de la capa límite mediante resolución de la subcapa viscosa. Imágenes tomadas de https://www.simscale.com/forum/t/what-is-y-yplus/82394.

Condiciones de borde en la frontera de la malla. Para la entrada se aplicó una condición de Dirichlet para la velocidad y una condición de Von Neumann para la presión $\partial p / \partial \boldsymbol{n} = 0$. En la superficie de salida se aplicó la condición de Dirichlet para la presión y la de Von Neumann para la velocidad ($\partial \boldsymbol{v} / \partial \boldsymbol{n} = 0$).

Para las variables de la turbulencia se aplicaron en la superficie de entrada valores constantes a los parámetro κ y ω, mientras que la viscosidad de la turbulencia ν_t fue calculada de ellas dos. En la superficie de salida una condición de Von Neumann con gradiente igual a 0 fue aplicada a las tres variables.

Para todas las variables se aplicó una condición de gradiente normal igual a 0 sobre las fronteras superior e inferior del dominio, que son paralelas al flujo.

Puesto que el problema es analizado en dos dimensiones, no hizo falta especificar más condiciones sobre las fronteras de la malla.

Condiciones de borde sobre la superficie del perfil. Sobre la superficie del perfil, y para modelar efectivamente la capa límite, se aplicó una condición de Dirichlet a la velocidad (condición de no resbalamiento), siendo $\boldsymbol{u}_{perfil} = 0$. Por lo tanto, la presión se definió con un gradiente normal igual a 0. Para ν_t, κ y ω se aplicaron condiciones de Dirichlet cuyos valores se calcularon según las ecuaciones 23 y 24 respectivamente.

Ejecución de la PS

Introducción

El siguiente punteo resume las actividades de la PS. El software utilizado para conducir las simulaciones fue el paquete OpenFOAM. Es de código libre y abierto, y utiliza el método de los volúmenes finitos para la resolución de una variedad de problemas, siendo destacada su aplicación en la dinámica de fluidos. Cuenta con varios *solvers* especializados, así como módulos para realizar pres y posprocesamiento (*OpenFOAM*, 2019).

1. Modelado del aspa y obtención de los cortes seccionales necesarios para analizar el aspa como composición de elementos.
2. Especificación conceptual de una malla base 2D para todos los cortes seccionales.
3. Estimación de los errores por discretización de las simulaciones CFD. Simulación de un perfil NACA para validar el modelo.
4. Determinación de los regímenes de velocidad más favorables para la realización de las simulaciones de las secciones y características geométricas de la malla final. Mallado de las diez secciones extraídas para cinco ángulos de ataque distintos (0°, 4°, 8°, 12° y 16°).
5. Realización de las cincuenta simulaciones 2D estipuladas con un *solver* estacionario. Cada elemento de aspa sería simulado, en un número de Reynolds apropiado, para cinco ángulos de ataque.
6. Construcción de las curvas para los coeficientes estimados C_L y C_D con los resultados de las simulaciones.
7. Implementación del algoritmo según la teoría BEM para evaluar si es posible obtener, con los coeficientes aerodinámicos estimados, factores de inducción que caractericen la eficiencia de los elementos de aspa.

Modelado del aspa

El modelado del aspa se realizó en un software CAD interpretando las indicaciones para el tallado del aspa consignadas en Piggott (2003). Allí se establece un blanco de madera, cuyas

dimensiones mínimas son 125 x 40 x 1200 mm.

Se optó por utilizar un blanco ligeramente más ancho, de 150 mm, ya que de acuerdo a Piggott esto favorecería una raíz del aspa más robusta, ofreciendo mejor resistencia estructural y una posible mejora aerodinámica para condiciones de arranque.

Se especifican seis secciones, la primera ubicada a 200 mm desde la raíz y la última en la punta, a 1200 mm, separadas entre sí por 200 mm. Cada una tiene una caída en el borde de fuga desde la parte superior del blanco. Con las secciones dibujadas se realizó un barrido para construir la parte del aspa comprendida entre los 200 mm y la punta. Las seis secciones resultantes se aprecian en la Figura 5-a. Las dimensiones señaladas en ella son el cateto (la cuerda proyectada a la cara superior del blanco), la caída en el borde de fuga desde el plano

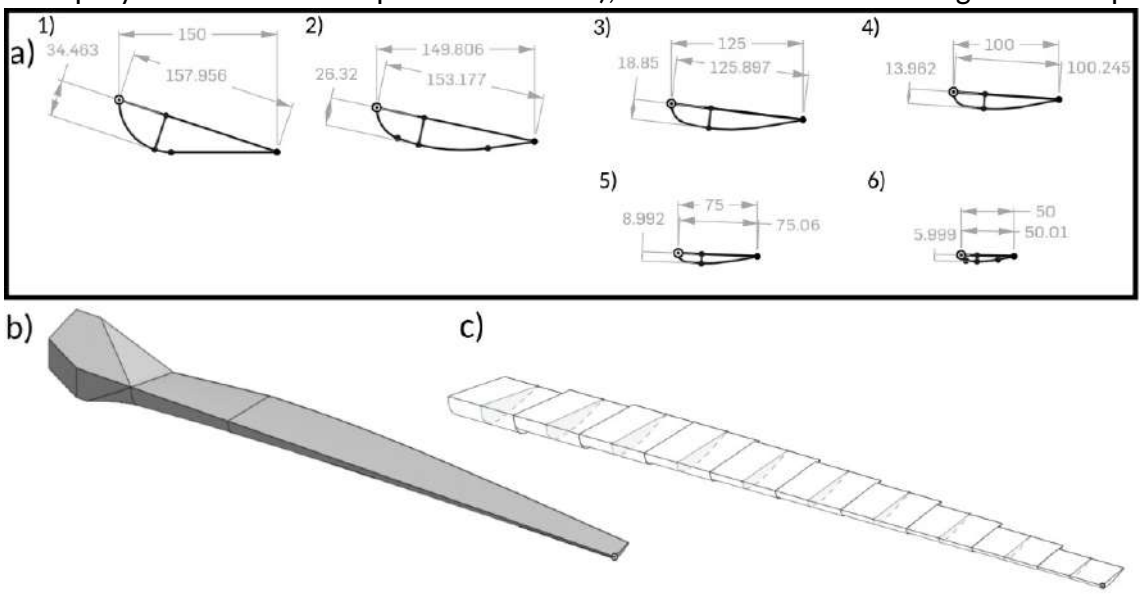


Fig.5 - a) Dimensiones para la secciones de construcción 1-6 según el manual de fabricación del aspa. Unidades en mm. b) Modelo CAD 3D. c) Zona de interés del aspa divida en 10 elementos de 100 mm de extensión radial cada uno, en cuyo centro se aprecia corte seccional del que fueron extruidos.

superior del blanco, y el espesor del perfil a un 30 % de la cuerda. Para la raíz se realizó una extrusión sobre un boceto del plano inferior. Una vista del aspa ya modelada se aprecia en la Figura 5-b.

Cortes seccionales para simulaciones CFD

Para aplicar la teoría BEM se dividió en 10 partes de sección uniforme la parte del aspa afectada a la circulación de viento, comprendida entre los 200 mm desde la raíz hasta la punta. Para cada división se tomó aquella sección correspondiente a su centro. Las longitudes de cuerdas, longitudes de los catetos, ángulo respecto al plano de rotación, espesor máximo y relación espesor-cuerda ($R_{ec} = t_{max}/c$) se listan en el Tabla 1. En la Figura 5-c se aprecia la discretización de la zona de interés del aspa en 10 secciones de 100 mm de extensión radial cada una.

Sección	δr [mm]	Cuerda [mm]	Cateto [mm]	β [°]	t_{max} [mm]	R_{ec}
1	250	156,64	150	16,7424	31,89	0,2036
2	350	154,35	150	13,6350	27,12	0,1757
3	450	146,24	143,75	10,5882	24,31	0,1662
4	550	132,53	131,25	7,9696	20,49	0,1546
5	650	119,39	118,75	5,9352	17,48	0,1464
6	750	106,58	106,25	4,5099	15,12	0,1419
7	850	93,93	93,75	3,5477	12,71	0,1353
8	950	81,34	81,25	2,6955	10,14	0,1247
9	1050	68,79	68,75	1,9540	8,01	0,1165
10	1150	56,27	56,25	1,5277	6,54	0,163

Tabla 1: Geometría de las secciones obtenidas para las simulaciones: longitud de cuerda, proyección al plano de rotación, ángulo de paso, espesor máximo (ubicado en 0,3 c), y relación espesor-cuerda.

Se escalaron los cortes seccionales para que todos tuvieran una longitud de cuerda igual a 1000 mm y así utilizar una misma malla base de la cual vaciarlos. La envergadura de cada sección también fue establecida en 1000 mm, al igual que el ancho de la malla base utilizada para las simulaciones. Los cortes extraídos y escalados fueron rotados para que su cuerda forme con una línea horizontal de referencia un ángulo de 0°. Desde el software CAD se los exportó en formato STL para que el programa mallador ("snappyHexMesh", de OpenFOAM) pudiera leerlos correctamente. En la Figura 6 se aprecian los cortes obtenidos, y la decreciente relación espesor-cuerda según aumenta la distancia radial a la raíz del aspa.

Concepto de malla base del dominio

Para comparar las simulaciones se implementó una misma malla base sobre la cual insertar los perfiles seccionales. La malla se denomina de forma “C”, siendo recomendado su uso para el estudio de perfiles aerodinámicos (Rumsey, 2019). La generación de la misma se realizó con el software Gmsh. Se estableció una zona central en la cual iría el perfil de interés, y zonas pertenecientes a la “corriente libre”, cuyas dimensiones y cantidad de elementos son función de las dimensiones y cantidad de elementos de la zona central.

El parámetro fundamental de dimensionado general es el largo de la cuerda de las secciones. En las Figuras 7 y 8 se muestra la malla finalmente usada, denominada como *media* en el estudio de sensibilidad que se detalla en la sección 3.5. La malla obtenida es bidimensional.

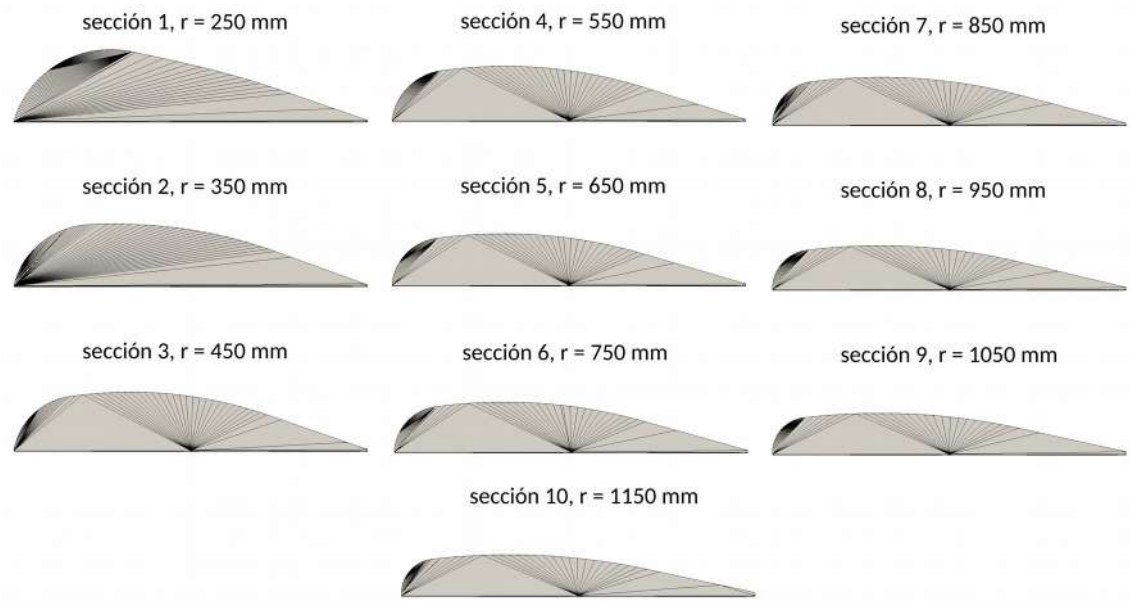


Fig.6 - Diez cortes seccionales para simulación en formato STL. Todos fueron escalados para tener una cuerda de 1000 mm y un ángulo con respecto a la horizontal de 0°.

Se observan también en las Figuras 7 y 8 las diferentes zonas de la malla donde se aplicarán las condiciones de contorno necesarias: las líneas rojas pertenecen a la superficie de frontera denominada *inlet*, por donde ingresa el viento; las líneas verdes son la frontera *outlet* por la cual egresa; las líneas anaranjadas corresponden a la frontera *topAndBottom*, la cual contribuye a la región de corriente libre. En planos paralelos a la imagen se ubican las

fronteras *front* y *back* que modelan la condición bidimensional.

La división de los lados que definen la zona central en igual cantidad de elementos aseguró que las celdas finales fuesen cuadrados. La presencia de elementos cuyos lados guardan una relación 1:1 favorecía la convergencia del algoritmo “snappyHexMesh” utilizado para el vaciado de la sección. En las líneas radiales fue importante asegurar una progresión del tamaño de los elementos para la cantidad de elementos deseados. El resultado se aprecia en la Figura 8 para una malla base de 30 elementos centrales.

Estimación de los errores por discretización

Concepto. Para tener una idea de la precisión de las estimaciones de las simulaciones se siguieron los lineamientos dados en *Journal of Fluids Engineering Editorial Policy: Statement on the Control of Numerical Accuracy*, donde se cita un artículo de I. B. Celik como metodología estándar para la estimación de los errores por discretización en aplicaciones CFD. Por razones de brevedad se remite al lector al mismo para el desarrollo de las expresiones matemáticas utilizadas.

El índice de convergencia de malla (CGI por sus siglas en inglés) está basado en el estimador del error por refinación derivado de la extrapolación generalizada de Richardson. El porcentaje de diferencias entre los valores calculados y asintóticos de la solución son calculados mediante el CGI. Muestra qué tan lejos está el valor calculado del valor asintótico. También expone cuánto cambiaría el valor simulado si se prosiguiera refinando más finamente la malla.

Un valor pequeño de CGI es señal de que el valor simulado está acercándose al rango asintótico. La precisión del valor asintótico depende del orden de los esquemas numéricos utilizados y de cuán correcto es el modelo adoptado para el flujo (Mohd Sakri, S. y Z., 2016).

Aplicación. El estudio de sensibilidad se realizó en tres mallas geométricamente similares, con diferente cantidad de celdas, y con un perfil aerodinámico del cual se tuvieran datos aerodinámicos para comparar. Se usó el perfil NACA 2412, para el cual existen datos en el rango de números de Reynolds de interés obtenidos mediante el código de simulación XFOIL (ver *XFOIL*, 2013).

Las simulaciones se realizaron con un *solver* estacionario, para $Re = 5 \times 10^5$ y $\alpha = 8°$. Para una

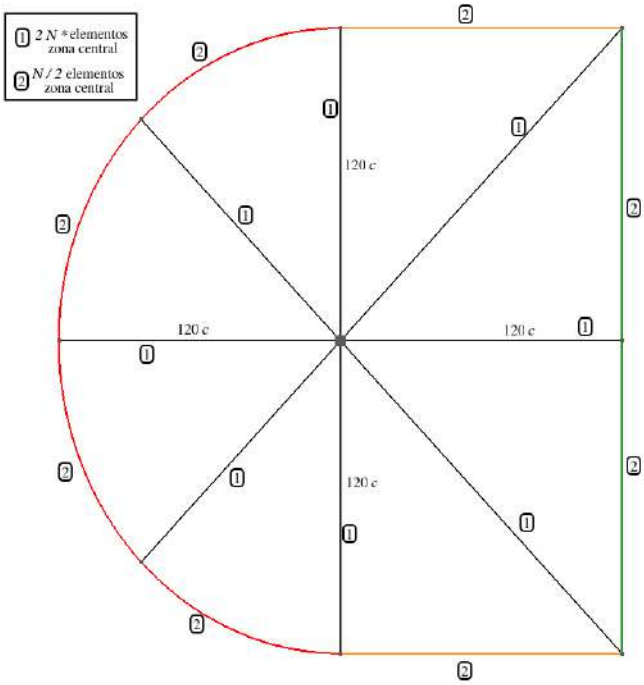


Fig.7 - Malla base conceptual. Las dimensiones de desde la zona central son 120 veces la cuerda del elemento simulado.

cuerda de 1 m y densidad ρ = 1,204 kg/m³ , viscosidad dinámica 1,813 x 10^{-5} kg/(ms), la velocidad de simulación se fijó en 7,53 m/s. Los parámetros para el modelo de turbulencia fueron los siguientes: $\kappa_\infty = 5{,}67 \times 10^4$ [m²/s²], $\omega_\infty = 37{,}65$ s^{-1}, $\nu_{t\infty} = 1{,}506 \times 10^5$ [m²/s], $\kappa_s = 1 \times 10^{-50}$ [m²/s²], $\omega_s = 26.063.818$ [s^{-1}], $\nu_{ts} = 1 \times 10^{-50}$ [m²/s]. Cabe recordar que los valores para $\nu_{t\infty}$ y ν_{ts}, si bien fueron definidos, son dejados para calcular como condición por el software de simulación.

***Solver* utilizado y criterios de convergencia.** Para la realización de las simulaciones del estudio de sensibilidad, así como para las simulaciones de las secciones de elemento de aspa, se utilizó el *solver* estacionario simpleFoam. Se aplica a fluidos incompresibles, y permite modelar turbulencia. Utiliza el algoritmo SIMPLE para la resolución de las ecuaciones acopladas de presión y velocidad. Para la solución de las ecuaciones de las variables del modelo se utilizaron esquemas numéricos de segundo orden, siguiendo las indicaciones de "Journal of Fluids Engineering Editorial Policy Statement on the Control of

Numerical Accuracy" (2008).

Un criterio usual de convergencia, y usado para esta PS, es observar la estabilidad o periodicidad de las variables de interés en el fluido, en nuestro caso los coeficientes de

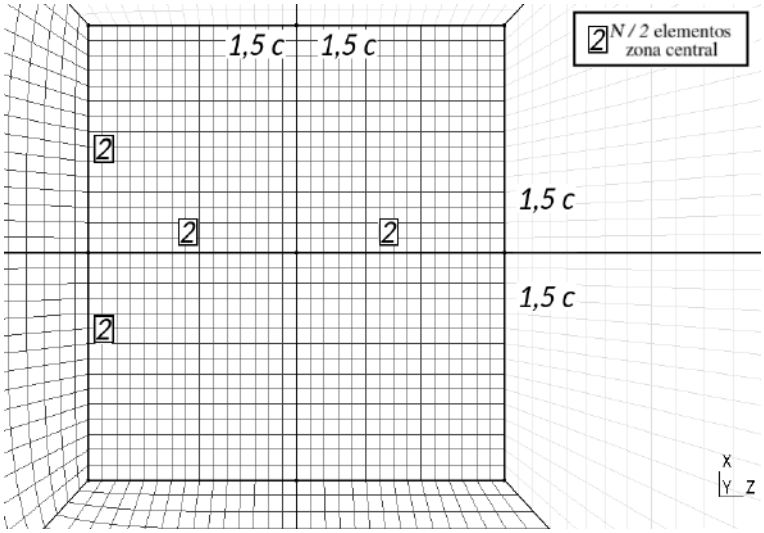


Fig.8 - Detalle de la zona central de la malla base conceptual. La zona central es un cuadrado cuyos lados tienen 3 veces el largo de la cuerda de la sección. Aplicación del mallado para 30 elementos por lado de la zona central.

arrastre y sustentación. Por lo tanto se dejó evolucionar los residuos numéricos hasta valores que normalmente hubieran indicado la convergencia según otro criterio usual, pero la observación de los coeficientes indicaba que la solución todavía estaba evolucionando.

Se corrieron un mínimo de 6000 iteraciones para permitir el desarrollo de las variables y la disminución de los residuos. Luego, cuando el promedio de ambos coeficientes tenía variaciones menores al 1 % en 2000 iteraciones se establecía la solución como convergida.

En aquellos casos donde los promedios tenían mayores variaciones, se observó que los coeficientes tenían una variación entre valores acotados de la solución y se repetían periódicamente. Esto también se consideró una solución convergida, y el promedio se tomó para la unidad mínima de patrón repetitivo. Ver Figuras 9 a y b para gráficos de solución estable en un solo valor y solución periódica.

Modelado del perfil NACA y generación de mallas para estudio de sensibilidad. El perfil NACA fue creado mediante la interpolación de una curva *spline* por 200 puntos que describen su superficie, obtenidos de `http://airfoiltools.com/plotter/index`.

Con el software Gmsh se malló la curva generada para generar la superficie del perfil 3D en formato STL.

A partir de la malla base conceptual se diseñaron tres mallados distintos. Una malla base con

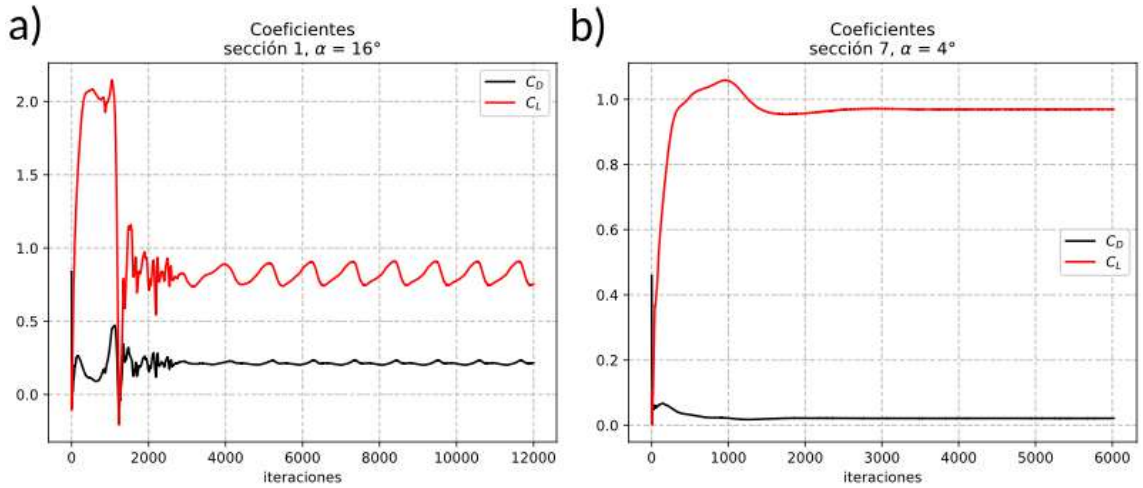


Fig.9 - Evolución de los coeficientes en la simulación. a) Sección 1, α = 16°. Arribo a una solución estable periódica. b) Sección 7, α = 4°. Arribo a una solución estable en un solo valor.

14 particiones sobre los lados de la zona central, y 28 particiones sobre las líneas radiales hasta las superficies de frontera, esta es la malla *basta*. Una malla base con 30 particiones sobre los lados de la zona central, y 60 particiones sobre las líneas radiales hasta las superficies de frontera, esta es la malla *media*. Una malla base con 62 particiones sobre los lados de la zona central, y 124 particiones sobre las líneas radiales hasta las superficies de frontera., esta es la malla *fina*. Todas tuvieron un sólo elemento en la dirección del espesor.

Vaciado del perfil NACA. El perfil NACA fue rotado para generan un ángulo de ataque de 8°. Luego se vació de cada una de las mallas base mediante la herramienta snappyHexMesh. La misma opera intersectando a una malla de destino una superficie, preferentemente en formato STL, que opera como “herramienta de corte”. Cada vez que una celda de la malla base es intersectada por una arista de la superficie herramienta, la celda se divide en dos por cada dimensión. Luego de la intersección, snappyHexMesh mueve los nodos de las celdas creadas para ajustar la superficie original a las celdas refinadas. Un último paso crea celdas oblongadas sobre la superficie para captar mejor los detalles de la capa límite (Anderson, 1995). Si bien tienen una gran relación de aspecto, su mayor longitud corresponde a la

dirección paralela a la superficie, donde los gradientes de velocidades son pequeños. En cambio, su longitud en dirección perpendicular a la superficie es pequeña, permitiendo captar mejor los gradientes abruptos de las cantidades de interés.

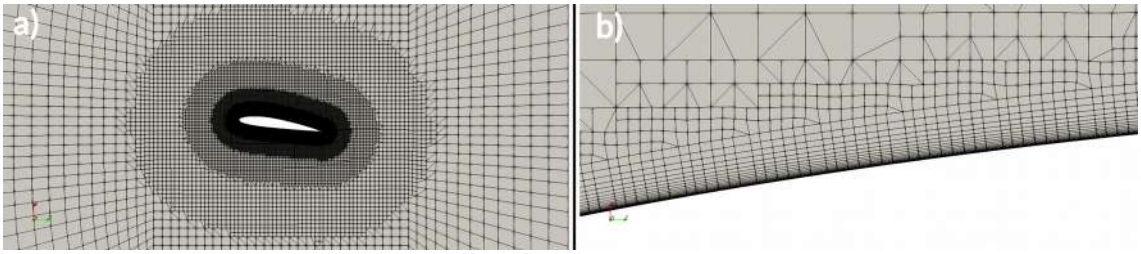


Fig.10 - Vaciado del perfil NACA 2412, α = 8°. a) Zona central de la malla media. Se ven las sucesivas refinaciones en torno al perfil para aumentar la densidad de celdas en las regiones donde los gradientes de las variables de flujo son mayores. b) Detalle de la superficie. Se observan las celdas elongadas que constituyen la resolución de la capa límite.

Aquí se determinó la altura de la primera celda observando los recaudos para la distancia y^+. Para la velocidad de simulación la altura que cumple con $y^+ \leq 1$ es 0,0215 mm. Se generaron 19 capas, que cubren adecuadamente la capa límite sin generar defectos en la malla. El resultado del mallado se aprecia en las Figuras 10 a y b.

Resultados del estudio de sensibilidad. Se obtuvieron simulaciones convergidas para las mallas basta, media y fina. Los resultados del estudio de estimación del error se detallan en la Tabla 2. Se ve que las estimaciones para el coeficiente de sustentación tienen un comportamiento oscilatorio en torno al valor asintótico, mientras que las simulaciones del coeficiente de arrastre muestran una aproximación continua al valor asintótico. Para el caso del coeficiente C_L ambos GCI se encuentran por debajo del 1 % y se considera satisfactoria la malla media. Para el caso del coeficiente C_D, si bien el GCI_{21} es un poco menor que GCI_{32}, se considera que la mejora en la precisión de las estimaciones de C_D no justifican el tiempo adicional requerido por el mallado y solución.

La Tabla 3, que compara tiempos de cálculo y de mallado para cada malla, respalda la decisión de sacrificar un poco de precisión en la estimación en virtud de los tiempos que requiere el desarrollo del trabajo (50 mallados y sus correspondientes simulaciones). Los resultados del código XFOIL para el *Re* y *α* simulados otorgan un valor de 1,0660 para C_L y 0,01511 para el C_D, coincidiendo dentro de un margen pequeño de tolerancia con los

resultados de las simulaciones en OpenFOAM. Para corridas de prueba para otras condiciones, con números de Reynolds entre los 1 x 10^5 y 2 x 10^5, los resultados para el coeficiente de sustentación siguen en márgenes razonables, mientras que para el coeficiente de arrastre arrojan discrepancias de hasta el 20 %. Para Re = 5 x 10^5 y α > 12°las desviaciones llegan al 60 %. Este comportamiento es encontrado en otras fuentes (Kirk y col., 2014) y se atribuye a las coordenadas que XFOIL utiliza para calcular localmente las componentes de las fuerzas causadas por el flujo (Ramanujam, Ozdemir y Hoeijmakers, 2016). Por lo tanto, se toman como válidos los coeficientes obtenidos con OpenFOAM, dentro del error estimado por el estudio de sensibilidad. Como comentario final del estudio, la diferencia porcentual entre los valores de XFOIL para C_L y C_D respecto de los valores obtenidos con la malla media son de 5,37 % y 20,98 % respectivamente.

Determinación del régimen de velocidades más favorable para la simulación de las secciones

Según indicaciones del diseñador la velocidad específica óptima del generador es λ = 7 (Piggott, 2003). Sin embargo, su rango de operación cubre desde λ = 5 hasta λ = 9. Por debajo del valor mínimo, las aspas entran en zona de pérdida y dejan de tener la suficiente potencia para poder mantener las revoluciones y alimentar el generador eléctrico. Por encima de ese régimen las aspas llegan a velocidades de giro peligrosas estructuralmente, y un mecanismo las posiciona paralelas al viento para resguardar su integridad.

	Coef. de sustentación C_L	Coef. de arrastre C_D
N_1,V_1	37.536; 51266,8	
N_2,V_2	90.793; 51388,6	
N_3,V_3	259.247; 51412,4	
r_{21}	1,69	
r_{32}	1,55	
φ_1	1,0327	0,01776
φ_2	1,0088	0,01828
φ_3	1,0101	0,01949
pp	4,85	2,14
φ^{21}_{ext}	1,0347	0,01750

	Coef. de sustentación C_L	Coef. de arrastre C_D
e^{21}_a	2,31 %	2,93 %
e^{21}_{ext}	0,2 %	1,43 %
GCI_{21}	0,25 %	1,76 %
φ^{32}_{ext}	1,0086	0,01750
e^{32}_a	0,13 %	6,62 %
e^{32}_{ext}	0,02 %	4,4 %
GCI_{32}	0,25 %	5,27 %

Tabla 2: Errores de discretización para C_L y C_D de perfil NACA 2412.

	Tiempo de mallado [min:s]	Tiempo de cálculo [min:s]
Malla 1 (fina)	26:40	104:50
Malla 2 (media)	8:23	16:38
Malla 3 (basta)	2:58	7:57

Tabla 3: Tiempos de mallado y cálculo requeridos en por el estudio de sensibilidad.

Para este rango de velocidades el número de Reynolds varía entre un mínimo de 1,7 x 10^5 y un máximo de 4,56 x 10^5 para los elementos de aspa, lo que corresponde, en flujos externos, a números de Reynolds "bajos" (Wood, 2011). Durante el régimen de *Re* bajo los perfiles aerodinámicos atraviesan una etapa de transición, en la que el flujo pasa de turbulento con vórtices periódicos a turbulento caótico, siendo el umbral aproximadamente *Re* = 3,5 x 10^5, aunque el ángulo de ataque y la relación espesor-cuerda pueden disminuir considerablemente este valor (*Simulation of turbulent flows*, 2007).

OpenFOAM cuenta con modelos de turbulencia de transición pero su implementación era costosa computacionalmente para los fines de esta PS. Por lo tanto, con el fin de evitar que la mayoría de las simulaciones estuvieran en el régimen de transición, se realizaron las simulaciones para un régimen de giro λ = 9, que da valores mínimos de Reynolds de 2,56 x 10^5. Para decidir las velocidades de simulación se aplicó la ecuación 4, otorgando valores a *a* entre 0,001 y 4,999 (con un paso de 0,001) para obtener valores de *a'* y deducir las velocidades totales de incidencia. Luego se tomó el promedio de todas ellas para cada elemento de aspa, puesto que no hay una relación lineal entre *a* y *a'*. Los números de Reynolds promedio se muestran en los Tablas 4 y 5. Junto a ellos se observan las velocidades

de flujo que fueron aplicadas en las simulaciones. Las mismas se obtuvieron a partir de los *Re* promedio pero aplicándose a longitudes de cuerda de un metro. También se señalan valores iniciales y condiciones del fluido para las simulaciones. Para todas las simulaciones se especificó la densidad del aire ρ = 1,204 kg/m^3 y la viscosidad cinemática ν = 1,506 x e-5 m2/s.

Determinación de la distancia y^+ y los parámetros de turbulencia iniciales

Para simplificar el preprocesamiento se usó el mismo espesor para la primera celda en las 50 mallas. La distancia debía ser la mínima necesaria para asegurar que $y^+ \leq 1$ en el elemento de aspa que fuera a ser simulado al mayor número de Reynolds.

El elemento con mayor *Re* de simulación es el 6 (ver Tabla 5). El espesor de la primera celda se fijó, al igual que para el caso NACA, en 0,0215 mm, construyendo un total de 19 capas de elementos de malla elongados para cubrir la capa límite. Los mismos parámetros se aplicaron a las secciones restantes, para todos los ángulos de ataque.

A partir de los datos de la velocidad y el espesor de la primera celda se pudieron determinar los valores de los parámetros de la turbulencia requeridos por el modelo. Los valores de densidad y viscosidad son idénticos a los del caso NACA y corresponden a los valores típicos del aire a temperatura y presión estándar. Los mismos se mantuvieron constantes para todos los ángulos de ataque de las secciones del aspa. En la Tabla 4 y 5 se detallan los valores calculados.

Simulación de las secciones

Se ejecutaron 50 simulaciones usando el *solver* simpleFoam. Se obtuvieron soluciones convergidas, tanto por valor único o solución periódica, para todas las simulaciones. Como se observa en el Tabla 6, las soluciones periódicas ocurren para ángulos de ataque cercanos a la zona de pérdida del perfil. Para el perfil de la sección 1, que presenta la mayor relación espesor-cuerda y el número de Reynolds más bajo, las soluciones periódicas comienzan para valores de α tan prontos como 8°.

Sección	1	2	3	4	5
Re e^5	2,41	3,21	3,87	4,27	4,55
U_∞ [m/s]	3,63	4,83	5,83	6,43	6,85
κ_∞ e^{-4} [m^2/s^2]	1,3177	2,3329	3,3989	4,1345	4,6923
ω_∞ [s^{-1}]	18,15	24,15	29,15	32,15	34,25
ω_s [s^{-1}]	26.063.818				
v_t e^{-6} [m^2/s]	7,26	9,66	11,66	12,86	13,7

Tabla 4: Valores iniciales para las condiciones de borde, secciones 1 a 5. El Re promedio se calcula para λ = 9 y las velocidades de simulación son para c = 1 m.

En las Figuras 11 a-d se muestran resultados de la simulación para la sección 7. Se observa, en la zona cercana al perfil el gradiente de presiones que genera la sustentación. Sobre el borde de ataque, como es de esperar, vemos una correspondencia entre altas velocidades y bajas presiones. En la inspección de la malla completa, se aprecia la generación de la viscosidad de la turbulencia v_t en la estela del perfil. Su forma característica es el resultado del promedio de soluciones estables que realiza el *solver* estacionario.

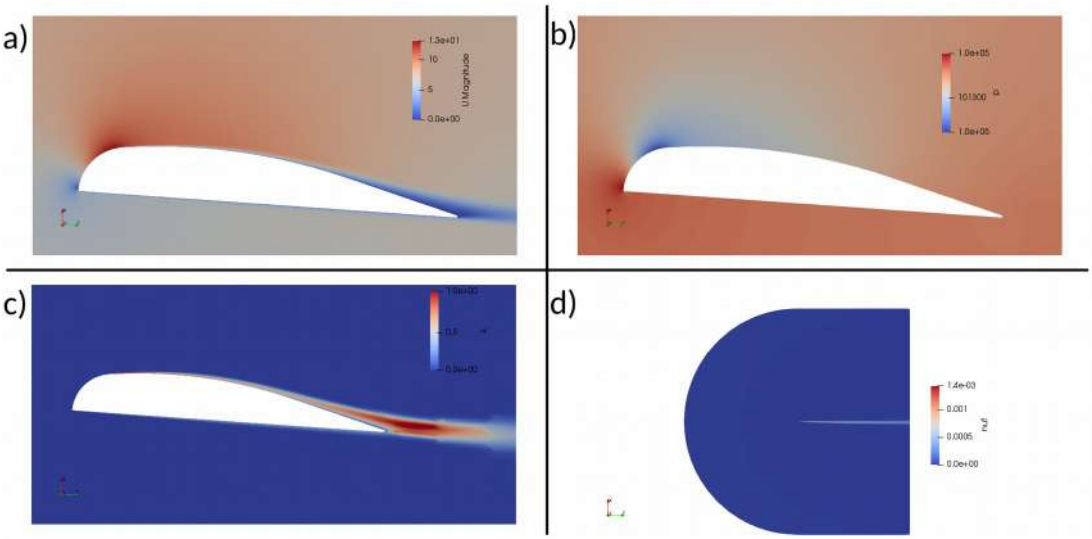


Fig.11 - Resultados de la simulación para la sección 7. La escala de color corresponde a la magnitud de la variable simulada. a) Velocidad. Se observan zonas de alta velocidad en el extradós anterior del perfil y baja velocidad en el intradós y el borde de fuga. b) Presión. c) . Energía cinética de la turbulencia κ. Se aprecia que en el borde de fuga del perfil hay generación de turbulencia. d) Viscosidad de la turbulencia vt. Se aprecia la longitud de la estela turbulenta generada por el perfil en toda la extensión corriente abajo de la malla.

Sección	1	2	3	4	5
Re e5	4,69	4,68	4,54	4,24	3,81
U_∞ [m/s]	7,06	7,05	6,84	6,39	5,74
κ_∞ e^{-4} [m^2/s^2]	4,9844	4,9703	4,6786	4,0832	3,2948
κ_∞ e^{-4} [m^2/s^2]	35,3	35,25	34,2	31,95	28,7
ω_∞ [s^{-1}]	26.063.818				
ω_s [s^{-1}]	14,12	14,1	13,68	12,78	11,48

Tabla 5: Valores iniciales para las condiciones de borde, secciones 6 a 10.El Re promedio se calcula para λ = 9 y las velocidades de simulación son para c = 1 m.

Sección	*Re* e^5	R_{ec}	α = 0°	α = 4°	α = 8°	α = 12°	α = 16°
1	2,41	0,2036	†	†	•	•	•
2	3,21	0,1757	†	†	†	†	•
3	3,87	0,1662	†	†	•	•	†
4	4,27	0,1546	†	†	†	†	†
5	4,55	0,1464	†	†	†	†	†
6	4,69	0,1419	†	†	†	†	†
7	4,68	0,1353	†	†	†	†	†
8	4,54	0,1247	†	†	†	†	•
9	4,24	0,1165	†	†	†	†	•
10	3,81	0,1163	†	†	†	†	•

Tabla 6: Resultados de las simulaciones de las secciones. †: solución convergida en un sólo valor. •: solución convergida periódica.

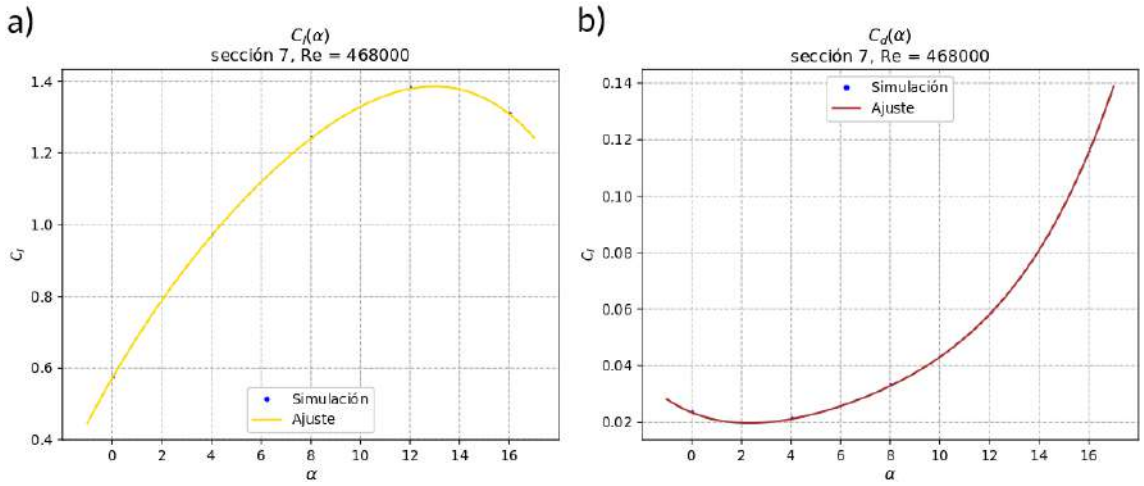


Fig.12 - Curvas para Re indicado en gráfico, sección 7 (δr = 850 mm). a) $C_L(\alpha)$. b) $C_D(\alpha)$.

Curvas polinomiales de los coeficientes C_L y C_D

El objetivo de las simulaciones fue obtener valores de los coeficientes aerodinámicos para poder elaborar polinomios de los mismos, que permitieran calcular estos coeficientes para un ángulo de ataque determinado.

El ajuste de las curvas se hizo con un script programado en Python, utilizando las librerías NumPy y SciPy. La interpolación de los polinomios se realizó mediante la función "numpy.polyfit", que utiliza un método de mínimos cuadrados (Community, 2019) para la determinación de los coeficientes del polinomio. Disponiendo de 5 datos, se elaboró para cada sección un polinomio de cuarto grado para describir C_L y C_D como función de α. Su rango de validez estimado, por comparación con curvas típicas de perfiles aerodinámicos, es desde α = -4° hasta α = 18°. En las Figuras 12 a y b se observan las curvas generadas para la sección 7 (δr = 850 mm). Las Tablas 7 y 8 presentan los coeficientes de los polinomios para las generar las curvas de los coeficientes de arrastre y de sustentación respectivamente. En ambos casos el polinomio es de la forma

$$f(\alpha)=k_1\alpha^4+k_2\alpha^3+k_3\alpha^2+k_4\alpha+k_5 \quad (25)$$

Las curvas obtenidas para la sección 1 (Figuras 13 a y b) difieren en aspecto de las del resto de las secciones. Parece que el coeficiente C_L entra rápidamente en pérdida en torno a los 3°, y luego se recupera para ángulos de ataque superiores a 9° para volver a entrar en pérdida a partir de los 15°. La curva C_D presenta una forma más parecida a las de otras secciones, pero con cierto amesetamiento en torno a los 10°.

El autor interpreta este fenómeno como parte de la dificultad para modelar adecuadamente el régimen de transición para el *Re* y R_{ec} de esta sección en particular. Por lo tanto, al realizar la evaluación de la eficiencia de los elementos de aspa se considera que para α entre -2° y 3° los resultados son confiables.

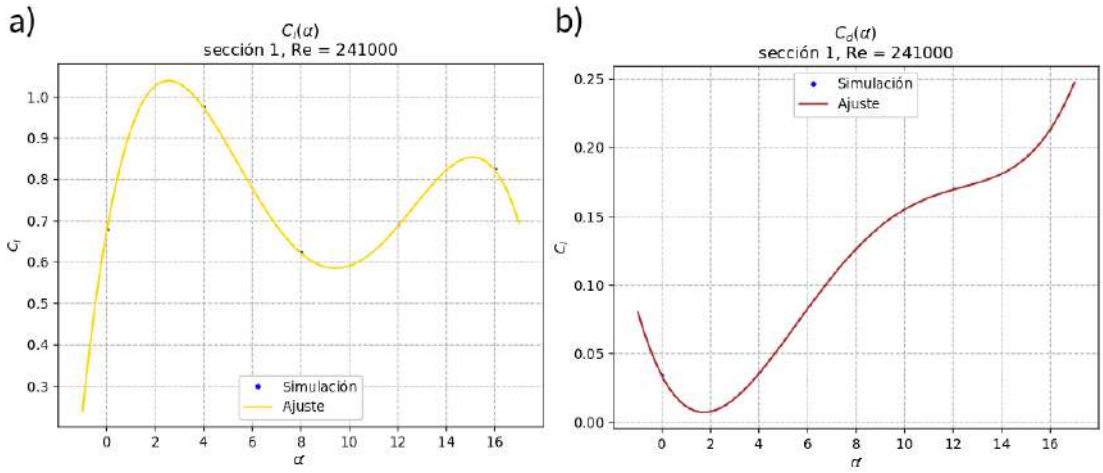


Fig.13 - Curvas para Re indicado en gráfico, sección 1 (δr = 250 mm). a) CL(α). b) CD(α).

Polinomios de ajuste para C_L y C_D. Los Tablas 7 y 8 contienen los coeficientes de los polinomios obtenidos que describen las curvas de C_L y C_D.

Polinomios C_D					
Sección	k_1 x 10^{-6}	k_2 x 10^{-5}	k_3 x 10^{-4}	k_4 x 10^{-3}	k_5 x 10^{-2}
1	+30,0211589	-107,548177	-10,7548177	-33,5072917	+3,37200000
2	+7,90364583	-17,2213542	+15,8354167	-3,78458333	+3,28700000
3	+3,72721354	-9,84635417	+12,1598958	-3,16208333	+3,07000000
4	+3,15429688	-8,22916667	+10,9796875	-3,31208333	+2,68700000
5	+4,48893229	-11,5338542	+13,5223958	-4,16833333	+2,51700000
6	+2,49511719	-6,04557292	+8,86953125	-3,14770833	+2,44400000
7	+3,07291667	-7,48697917	+9,92083333	-3,54708333	+2,35100000
8	+33,3121745	-79,7877604	+62,2075521	-14,8489583	+2,24700000
9	+54,8600260	-130,562500	+98,4661458	-22,6000000	+2,20000000
10	+28,0061849	-66,1835937	+51,2471354	-12,2393750	+2,23000000

Tabla 7: Coeficientes de los polinomios que construyen las curvas $C_D(\alpha)$. Rango de aplicación: -4° a 18°.

Polinomios C_L					
Sección	k_1 x 10^{-6}	k_2 x 10^{-5}	k_3 x 10^{-4}	k_4 x 10^{-3}	k_5 x 10^{-2}
1	-229,296875	+82,7369792	-93,8468750	+33,1858333	+6,76600000
2	-1,38346354	-3,47005208	+2,43151042	+7,47895833	+6,02500000
3	-20,6380208	+5,49479167	-7,46979167	+10,1883333	+5,97300000
4	-11,1979167	+2,85416667	-5,83333333	+107058333	+6,03100000

5	-20,2636719	+5,16015625	-7,87265625	+11,7281250	+5,96700000
6	-6,15234375	+1,10937500	-4,35468750	+11,1037500	+5,88800000
7	-11,6699219	+2,65494792	-5,82890625	+11,9164583	+5,72000000
8	+3,67838542	-1,36458333	-2,26197917	+11,3845833	+5,34900000
9	-21,2076823	+3,46223958	-4,73880208	+12,0347917	+4,99300000
10	-97,3958333	+21,7213542	-18,0447917	+14,9083333	+4,94500000

Tabla 8: Coeficientes de los polinomios que construyen las curvas $C_L(\alpha)$. Rango de aplicación: -4° a 18°.

Determinación de los factores de inducción

Con las curvas obtenidas para los coeficientes aerodinámicos se aplicó el método iterativo de la sección 2.2. para encontrar los factores de inducción. Se agregaron al análisis, a las secciones ya obtenidas, 10 elementos circunferenciales más. De los mismos no se tenían datos aerodinámicos, pero se les aplicó las características de la sección inmediata superior.

Se aplicó el método de análisis para tres velocidades específicas, $\lambda = 5$, $\lambda = 7$ y $\lambda = 9$, que cubren el rango operacional indicado por el diseñador. Se utilizaron los coeficientes aerodinámicos obtenidos con $\lambda = 9$ para las velocidades específicas inferiores, sin considerar la dependencia de *Re*. Tomando como patrón curvas de coeficientes de perfiles conocidos, la mayoría de las curvas en función de *Re* están muy próximas diferenciándose principalmente para ángulos de ataque cercanos a los de pérdida.

Se encontraron factores de inducción en todas las velocidades específicas consideradas y para todos los radios de análisis, excepto para aquellos dos radios más próximos a la raíz con la velocidad específica más baja. Se aplicó una tolerancia $\epsilon = 5$ % para la convergencia, en la iteración, entre el factor de inducción de prueba y el factor de inducción calculado a partir de los datos aerodinámicos. Para las secciones cercanas a la raíz, en $\lambda = 7$, fue necesario relajar estas tolerancias para lograr la convergencia. En $\lambda = 5$ sólo se pudo encontrar convergencia para tolerancias del 50 %, pero estos resultados no presentaban continuidad en el ángulo de ataque obtenido. Esto es atribuible a las dobles raíces que es posible encontrar en la intersección entre la ecuación de cantidad de movimiento axial y la ecuación de fuerzas de elemento de aspa. El autor interpreta esta dificultad de convergencia en la raíz

para λ = 7, junto con la no convergencia de estos radios para λ = 5, de dos maneras. Para la sección 1, la aproximación de los coeficientes aerodinámicos, para $\alpha > 3$, es probablemente mala debido a los factores mencionados en la sección 3.9. Para el radio de análisis r = 300 mm se emplearon las características aerodinámicas de la sección 2 (r = 350 mm). Esto puede ser poco apropiado, puesto que, como se observó ya en la Figura 6, la tasa de variación de la relación espesor-cuerda con respecto a la distancia a la raíz es mayor para las secciones más próximas a ella que para las secciones próximas a la punta.

Los resultados se muestran en las Tablas 10, 11 y 12. Se puede observar que el rango más eficiente para los elementos de aspa considerados, a excepción de los radios sin convergencia de la raíz, es λ = 5. Se aprecia también que el diseño de las aspas, y su impacto en las características aerodinámicas, la hacen operar en una condición de carga mayor a la

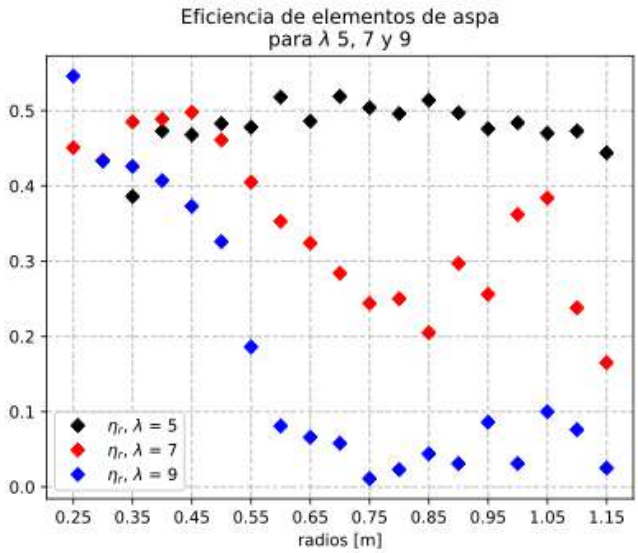


Fig.14 - Eficiencia de los radios según método BEM. Para λ = 5 el rotor opera más eficientemente.

ideal (a > 0,3) para el rango de velocidades específicas superior. La Figura 14 ilustra estas apreciaciones.

La distribución de los factores de inducción axial no es uniforme a lo largo de la envergadura del aspa, para ninguna de las tres velocidades específicas resueltas. Si bien esta variación radial de a es aceptada para velocidades específicas mayores 3, como se mencionó en la sección 2.1, cabe esperar que flujos en la dirección radial del aspa afecten el

comportamiento aerodinámico de la misma.

Factores de inducción para λ = 9							
Radio [mm]	Coefs. Secc.	α	a	ϵ_a [%]	a'	$\epsilon_{a'}$ [%]	η_r
1150	10	+0,54545	+0,7302	5	+0,00031	5	0,025
1100	10	+0,56904	+0,6967	5	+0,00092	5	0,076
1050	9	+0,36308	+0,6934	5	+0,00131	5	0,1
1000	9	+0,11801	+0,6903	5	+0,00045	5	0,031
950	8	+0,12940	+0,6748	5	+0,00130	5	0,086
900	8	-0,13306	+0,6689	5	+0,00051	5	0,031
850	7	-0,40350	+0,6721	5	+0,00083	5	0,044
800	7	-0,68625	+0,6611	5	+0,00047	5	0,023
750	6	-0,98836	+0,6561	5	+0,00025	5	0,011
700	6	-1,02904	+0,6221	5	+0,00140	5	0,058
650	5	-1,12562	+0,5823	5	+0,00165	5	0,066
600	5	-1,30856	+0,5351	5	+0,00216	5	0,081
550	4	-1,22764	+0,4922	5	+0,00538	5	0,186
500	4	-0,82777	+0,4392	5	+0,01033	5	0,326
450	3	-0,63945	+0,3954	5	+0,01355	5	0,373
400	3	-0,57811	+0,3625	5	+0,01772	5	0,407
350	2	-0,28780	+0,3617	5	+0,02424	5	0,426
300	2	+0,13511	+0,3464	5	+0,03275	5	0,433
250	1	+0,53113	+0,3915	5	+0,06380	5	0,546

Tabla 10: Resultados del método BEM para λ = 9. Se listan ángulos de ataque α, las tolerancias ϵ y la eficiencia de elemento de aspa η_r.

Conclusiones

El modelo propuesto para el análisis de un aspa de turbina eólica, cuyas características aerodinámicas eran desconocidas, resultó viable para lograr una primera estimación de su eficiencia como extractor de energía. La elección de un modelo de turbulencia, *solver* estacionario y discretización de las aspas permitió obtener resultados convergidos tanto para los coeficientes aerodinámicos como para los factores de inducción mediante el método BEM.

Sería conveniente realizar, de disponer con mayor plazo para el estudio, un modelo empleando un *solver* que modele el régimen de transición para los rangos de velocidades que experimentan los elementos de aspa. Asimismo, una mejor discretización del aspa en cercanías de la raíz, donde la relación espesor-cuerda varía rápidamente respecto al radio,

podría permitir obtener factores de inducción para las velocidades específicas más bajas.

Factores de inducción para λ = 7							
Radio [mm]	Coefs. Secc.	α	a	ϵ_a [%]	a'	$\epsilon_{a'}$ [%]	η_r
1150	10	+1,36422	+0,6564	5	+0,00266	5	0,165
1100	10	+1,75095	+0,5900	5	+0,00353	5	0,238
1050	9	+2,37907	+0,5222	5	+0,00536	5	0,384
1000	9	+1,96934	+0,5397	5	+0,00578	5	0,384
950	8	+1,23112	+0,5900	5	+0,00508	5	0,256
900	8	+1,34054	+0,5668	5	+0,00621	5	0,297
850	7	+0,82436	+0,5952	5	+0,00515	5	0,205
800	7	+0,96811	+0,5705	5	+0,00667	5	0,25
750	6	+0,77072	+0,5670	5	+0,00737	5	0,244
700	6	+0,89784	+0,5405	5	+0,00928	5	0,284
650	5	+0,98577	+0,5162	5	+0,01164	5	0,324
600	5	+1,01044	+0,4855	5	+0,01401	5	0,353
550	4	+1,38297	+0,4418	5	+0,01761	5	0,405
500	4	+1,78716	+0,4024	5	+0,02265	5	0,461
450	3	+2,68920	+0,3736	5	+0,02882	5	0,498
400	3	+2,74601	+0,3626	5	+0,03523	5	0,489
350	2	+3,43919	+0,3405	5	+0,04415	5	0,485
300	2	+2,98335	+0,3012	25	+0,05070	25	0,434
250	1	+2,88166	+0,3800	15	+0,08546	15	0,451

Tabla 11: Resultados del método BEM para λ = 7. Se listan ángulos de ataque α, las tolerancias ϵ y la eficiencia de elemento de aspa η_r.

Vinculación de la PS con asignaturas de la carrera

Para la ejecución de esta PS fue muy importante la vinculación del autor con el Grupo de Materiales Granulares, donde aprendió técnicas de CFD que no son parte de la currícula actual de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Facultad Regional La Plata. Fueron valiosas las indicaciones y consejos del docente tutor, Ing. Mauro Baldini.

Para realizar simulaciones CFD fue imprescindible contar con los conocimientos de Mecánica de los Fluidos, Cálculo Avanzado y Sistemas CAD-CAM. Conocimientos adquiridos en Mecánica Racional permitieron comprender mejor la teoría BEM. El desarrollo de esta PS necesitó de muchos cálculos auxiliares y automatización de tareas, para los cuales conocimientos de Fundamentos de Informática resultaron valiosos.

Factores de inducción para λ = 5							
Radio [mm]	Coefs. Secc.	α	a	ϵ_a [%]	a'	$\epsilon_{a'}$ [%]	η_r
1150	10	+5,52357	+0,4036	5	+0,00810	5	0,444
1100	10	+6,43884	+0,3375	5	+0,00849	5	0,473
1050	9	+6,71361	+0,3196	5	+0,00902	5	0,47
1000	9	+6,97729	+0,3088	5	+0,01008	5	0,484
950	8	+6,85401	+0,3156	5	+0,01110	5	0,476
900	8	+7,16572	+0,3105	5	+0,01281	5	0,497
850	7	+7,52136	+0,3062	5	+0,01477	5	0,514
800	7	+7,20083	+0,3211	5	+0,01643	5	0,496
750	6	+7,64534	+0,3144	5	+0,01883	5	0,504
700	6	+8,09817	+0,3085	5	+0,02204	5	0,519
650	5	+7,69627	+0,3177	5	+0,02426	5	0,486
600	5	+8,71451	+0,2971	5	+0,02945	5	0,518
550	4	+8,24357	+0,3006	5	+0,03253	5	0,478
500	4	+8,75437	+0,2908	5	+0,03924	5	0,483
450	3	+9,84392	+0,2682	5	+0,04546	5	0,468
400	3	+11,16273	+0,2568	5	+0,05731	5	0,473
350	2	+13,76310	+0,2092	5	+0,05741	5	0,386
300	2	-	-	-	-	-	-
250	1	-	-	-	-	-	-

Tabla 12: Resultados del método BEM para λ = 5. Se listan ángulos de ataque α, las tolerancias ϵ y la eficiencia de elemento de aspa η_r.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

Durante el curso de esta PS el autor aprendió criterios y buenas prácticas habituales en el ambiente de la ingeniería asistida por computadora. Desarrolló habilidades para juzgar la aplicación de modelos teóricos en simulaciones por computadora, hábitos de consulta en bibliografía especializada, tanto en español como inglés, consulta en foros especializados con profesionales de la temática, y presentación periódica de resultados y discusión de los mismos para reorientar al proyecto.El autor aprendió también a programar en Python con una fuerte orientación al cálculo numérico, habilidad que considera fundamental para una carrera dentro la ingeniería asistida por computadora. A modo de recomendación, es opinión personal que la currícula de la carrera de Ingeniería Mecánica debería contar con una asignatura que enseñe fundamentos de CFD, puesto que es una herramienta que tendrá cada vez más un papel relevante en el diseño de dispositivos de aplicación industrial.

Desarrollo de los fundamentos de un sistema de gestión de calidad para la firma HEEDBA – Soluciones Metalmecánicas

Alumno: Franco G. Bagatto

Docente tutor: Lic. Gerardo Bobrovsky

Introducción

A continuación, se desarrolla el informe completo sobre la Práctica Profesional Supervisada, realizada en las instalaciones de la empresa "HEEDBA – SOLUCIONES METALMECANICA" en la localidad de 9 de Julio (Bs.As), donde se trabajó con un total de 220hs, específicamente en el proceso de diseño, fabricación y montaje de uno de los principales productos que desarrolla la firma, el Silo Autoconsumo metálico.

El objetivo es optimizar el proceso principal de HEEDBA, analizar las ventajas de cambios en el proceso para lograr una mejora en el mismo, en particular en los tiempos de fabricación y entrega.

En cuanto al alcance, el presente trabajo, se desarrollará un análisis con propuesta de mejora basada en evidencia objetiva, relevando el proceso principal de la empresa, en su interacción con el resto de los procesos. La mejora propuesta está basada en el desglose pormenorizado de las componentes del proceso. No forma parte del alcance del mismo, la instrumentación operativa de los cambios propuestos.

Marco de referencia

La adopción de un sistema de gestión de calidad es una decisión estratégica para una organización que puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de un desarrollo sostenible.

Los beneficios de implementar un sistema de gestión de calidad basados en la Norma ISO 9001:2015 son:

• La capacidad de proporcionar regularmente productos y servicios, que satisfagan los requisitos del cliente.

• Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente.

• Abordar los riesgos y oportunidades asociados a sus objetivos.

Esta Norma internacional emplea el enfoque a procesos, que incorpora el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) y el pensamiento basado en riesgos.

El enfoque a procesos permite a una organización planificar sus procesos y interacciones.

El ciclo PHVA permite a una organización asegurarse de que sus procesos cuenten con recursos y se gestionen adecuadamente, y que las oportunidades de mejoras se determinen y se actué en consecuencia.

Para lograr estos objetivos, la organización podría adoptar diversas formas de mejora además de la corrección y la mejora continua, tales como el cambio abrupto, la innovación y la reorganización. (Sistema de gestión de la calidad – ISO 9001:2015, p.7)

Sobre la empresa

Su historia y desarrollo

HEEDBA es una PYME fundada por Héctor E. Bagatto en la ciudad de 9 de Julio, Pcia. De Buenos Aires, a 265km de la Capital Federal Argentina, con el objetivo de brindar Soluciones Metalmecánicas a la Industria local y al Agro. El 1 de octubre de 1993 se abren las puertas de la Fabrica en la zona industrial de la ciudad, con Héctor liderando la organización y un grupo de colaboradores para poder llevar adelante la ejecución de los primeros proyectos realizados por la firma.

Con el correr del tiempo se fueron fabricando productos estandarizados, adaptándonos a las nuevas demandas de los mercados y cubriendo así las necesidades de nuestros clientes, como así también se fueron incorporando a los procesos de fabricación nuevas tecnologías y nuevos materiales.

Desde hace más de 25 años, HEEDBA se especializa en brindar soluciones para el producto agropecuario y la industria, siendo nuestra actividad principal la fabricación de Silos metálicos, **Silos autoconsumo**, Sistemas de aireación para un mejor almacenamiento de los

granos, turbinas axiales y centrifugas, transportadores de grano, separadores ciclónicos, moledoras de cereal, bebederos, entre otros productos.
Nuestro sueño es expandir la capacidad productiva y operativa de la empresa, donde lo más importante es crear puestos de trabajo para las familias de nuestra ciudad.
Cada uno de los que conformamos HEEDBA asumimos un compromiso de calidad que se ve reflejado en nuestros productos y servicios.
Gestión, organización y desarrollos de mejoras es la filosofía de trabajo que aplicamos cada día.

Misión

Proporcionar soluciones de diseño y desarrollo metalmecánicos para la industria, con orientación preferencial a los procesos industriales y agrícolas.

Visión

Ser una empresa líder en el mercado nacional, ágil y eficiente en el diseño, desarrollo, fabricación e implementación industrial de soluciones metalmecánicas específicas.

Política de Gestión

HEEDBA Soluciones Metalmecánicas, es una empresa nacional, de origen familiar, comprometida con el desarrollo de las industrias, que busca promover soluciones basadas en conocimiento, ingeniería y su aplicación para satisfacer las más diversas necesidades de sus clientes, maximizando las relaciones de confianza e integridad, priorizando siempre el cumplimiento de los requisitos de calidad de los productos y servicios; cumpliendo las normas vigentes, minimizando siempre cualquier impacto en el medioambiente y buscando proactivamente su cuidado en forma permanente, al igual que buscando continuamente la mejora de procesos, sistemas, y el compromiso de los colaboradores.

Objetivos de calidad

Brindar soluciones a la medida del cliente, procurando la propuesta y validación de los diseños de ingeniería, que satisfagan las necesidades específicas de cada uno. (sobre la base de los diseños ya validados por sus años en el mercado, cada modelo base puede ser adaptado para brindar una solución específica, de acuerdo a las particularidades del pedido).

Proveer servicios de atención al cliente, verificando la aptitud para el servicio de los dispositivos y productos entregados, asesorando, reparando y reacondicionando unidades instaladas. (colaboración proactiva con el mantenimiento, basada en la experiencia del fabricante).

Mejorar continuamente los tiempos de respuesta, y todos los requisitos del proceso de fabricación, montaje e instalación.

Estar a disposición del cliente ante consultas o eventualmente reclamos, para brindar una solución a la medida de las expectativas del cliente.

Procesos de HEEDBA

Diagrama de procesos

Fig.1 – Diagramas de procesos generales de la firma.

Procedimiento general de producción, operaciones y realización del producto

Objeto

El presente procedimiento regula los pasos a seguir para la producción de los bienes en función de los diseños estandarizados y las parametrizaciones a medida de lo solicitado por el cliente.

Alcance

Los procesos de diseño, fabricación y entrega del producto

REFERENCIAS y NORMATIVA.

ISO 9001:2015 punto 6.2 Objetivos de la Calidad y planificación para lograrlos.

ISO 9001:2015 punto 7.1 Recursos

ISO 9001:2015 punto 8 Operaciones.

Procedimiento

Paso 1. Proceso de planificación de la producción en función de los datos de entrada.

1A – Para la producción de los bienes estandarizados, se toman los datos de entrada de los diseños validados y propios de HEEDBA, en función de los requisitos de la Norma ISO 9001:2015, en lo referente a diseño, control del diseño y validación del diseño.

1B – Para los productos a realizar a medida de lo acordado con el cliente, se siguen las disposiciones de la norma ISO 9001:2015 del punto 8.2.1 Comunicación con el cliente y 8.2.3 Revisión de los requisitos para los productos y servicios, en la que se establecen los parámetros a cumplir, en función de las capacidades de la firma de dar respuesta a las requisitorias por parte del cliente. Consiste en acordar y enviar una propuesta de realización y validar con el cliente la aptitud para el servicio o prestación requerida.

Paso 2. Verificación de Insumos, stock, recursos necesarios para la realización. Este punto es común a todo tipo de proceso de fabricación. En caso que se detecte la falta de algún insumo necesario, se activará el PG C01 (Procedimiento General de Compras).

Paso 3. Proceso de fabricación. Cada uno de los bienes que produce Heedba, deberá tener su propio procedimiento operativo, en el que se detallan las particularidades requeridas

para cada caso. En este sentido, este procedimiento general brinda el marco necesario para la confección de procedimientos específicos según sea requerido.

Paso 4. Confirmación del presupuesto de cotización y generación de órdenes de compras.

Paso 5. Recepción de la facturación. Evaluación del cumplimiento de la entrega y generación de la orden de entra de pago.

Paso 6. Emisión de cheque (o forma de pago acordada) en el plazo acordado con el proveedor

Disminución del stock critico o ventas con entregas programas a futuro.

Realización de la requisición de materiales.

Pedido de cotización y tiempo de entrega al principal proveedor de cada clase de insumos.

Si es necesario se pide cotización al segundo proveedor.

Confirmación del presupuesto de cotización y generación de órdenes de compras.

Recibimos la facturación del cliente.

Emitimos los cheques de pago con los plazos acordados con cada proveedor.

Responsabilidades

Del titular de Heebda. Asegurar la transparencia en el proceso de compras. Procurando establecer relaciones de largo plazo con sus proveedores de confianza, en búsqueda de condiciones ventajosas para la firma.

Registros

Cada compra generará un legajo en el que se almacenará físicamente el presupuesto/cotización, factura, condiciones del contrato e historial de pagos (comprobantes).

Control de Stock e Inventarios. Cada compra genera una revisión antes y después de ejecutada, a efectos de mantener el registro de insumos en constante actualización.

7.1 Legajos de Compras.

7.2 Control de Stock de insumos e inventario de piezas y consumibles.

Procedimiento general de compra de insumos

Objeto

El presente procedimiento regula las compras de los insumos y todo elemento requerido para la realización de los trabajos de la firma.

Alcance

Todas las compras realizadas, para todos los tipos de trabajos a ejecutar. En caso de existir la necesidad de dar tratamiento especial a alguna compra, se elaborará un procedimiento especial para atender el caso particular, en caso contrario, todas las compras deben se realizadas de acuerdo a lo establecido en el presente documento.

REFERENCIAS y NORMATIVA.

ISO 9001:2015 punto 6.2 Objetivos de la Calidad y planificación para lograrlos.

ISO 9001:2015 punto 7.1 Recursos.

Procedimiento

Paso 1. Revisión de STOCK. Selección de los insumos a adquirir en función de los resultados de la revisión. Debe realizarse el control de Stock e inventarios antes de cada compra, para asegurar no adquirir insumos innecesarios o que ya estén en poder de la organización.

Paso 2. Identificar proveedores con capacidad para cumplir con los requerimientos de la compra. Realización de la requisición de materiales.

Paso 3. Pedido de cotización, tiempo de entrega y condiciones de venta de cada insumo. Cada compra deberá requerir al menos 2 cotizaciones, a efectos de establecer las mejores condiciones de entrega, cumplimiento de los requisitos de calidad y precio.

Paso 4. Confirmación del presupuesto de cotización y generación de órdenes de compras.

Paso 5. Recepción de la facturación. Evaluación del cumplimiento de la entrega y generación de la orden de entra de pago.

Paso 6. Emisión de cheque (o forma de pago acordada) en el plazo acordado con el proveedor.

Disminución del stock critico o ventas con entregas programas a futuro.

Realización de la requisición de materiales.

Pedido de cotización y tiempo de entrega al principal proveedor de cada clase de insumos.

Si es necesario se pide cotización al segundo proveedor.

Confirmación del presupuesto de cotización y generación de órdenes de compras.

Recibimos la facturación del cliente.

Emitimos los cheques de pago con los plazos acordados con cada proveedor.

Responsabilidades

Del titular de Heebda. Asegurar la transparencia en el proceso de compras. Procurando establecer relaciones de largo plazo con sus proveedores de confianza, en búsqueda de condiciones ventajosas para la firma.

Registros

Cada compra generará un legajo en el que se almacenará físicamente el presupuesto/cotización, factura, condiciones del contrato e historial de pagos (comprobantes).

Control de Stock e Inventarios. Cada compra genera una revisión antes y después de ejecutada, a efectos de mantener el registro de insumos en constante actualización.

Registros

7.1 Legajos de Compras.

7.2 Control de Stock de insumos e inventario de piezas y consumibles.

Relevamiento de productos, insumos y procesos

La actividad principal de la empresa, es la fabricación de silos metálicos autoconsumos para el acopio y suministro de alimentos para vacunos o porcinos. A partir de materia prima proveniente de las acerías como la perfilaría de acero, chapas doble-decapada y chapas galvanizada que al pasar por las distintas etapas del proceso productivo se convierten en partes terminadas que conforman el producto final luego del ensamble. Algunas de las partes que forman el producto son estructuras soldadas como la batea con base cónica, base

reticulada con trineos, puerta pasa hombre, escalera; y otras estructuras armadas mediante bulones como el cilindro formado por chapa galvanizada y el techo.

Tabla de Silos Autoconsumos estandarizados

SILOS AUTOCONSUMO					
CONF.	CAPACIDAD	DIAMETRO	CHAPAS ARO	CHAPAS FILA	BOQUILLAS
PORCINO	500kg	0,75m	1	1	16
VACUNO	5 tn	1,5m	2	2	18
	10 tn	2,3m	3	2	24
	16 tn	3m	4	2	32
	24 tn	3m	4	3	32

Fig.2 – Tabla de productos estandarizados que ofrece la empresa.

La empresa cuenta con una gran variedad de Silos Autoconsumos, de acuerdo su aplicación y la capacidad requerida por el cliente. Las bases cónicas, se fabrican en dos mitades para facilitar el transporte de las mismas. Las bases que se construye en una sola pieza son las de 1,5m y 0.75m de diámetro, que se encuentran entre los valores de trocha permitidos para el transporte vial.

Para realizar el análisis tomaremos el silo resaltado en el cuadro, con base de 3m de diámetro y con una capacidad de 16Tn. Con el fin de realizar un estudio dinámico y efectivo.

Estructura, materiales y configuración

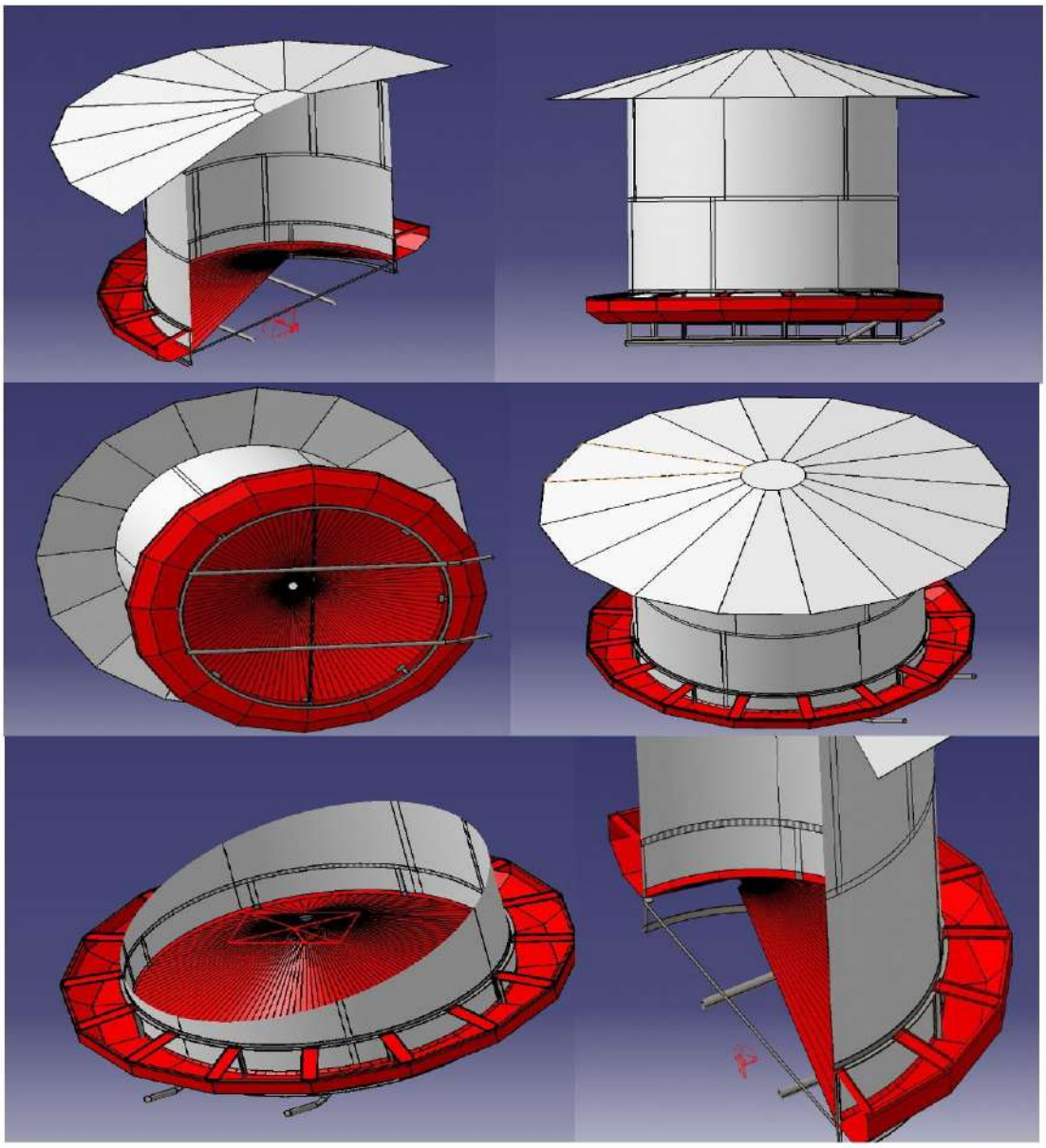


Fig.3 - Diseño 3D del prototipo de un silo autoconsumo.

Croquis del prototipo

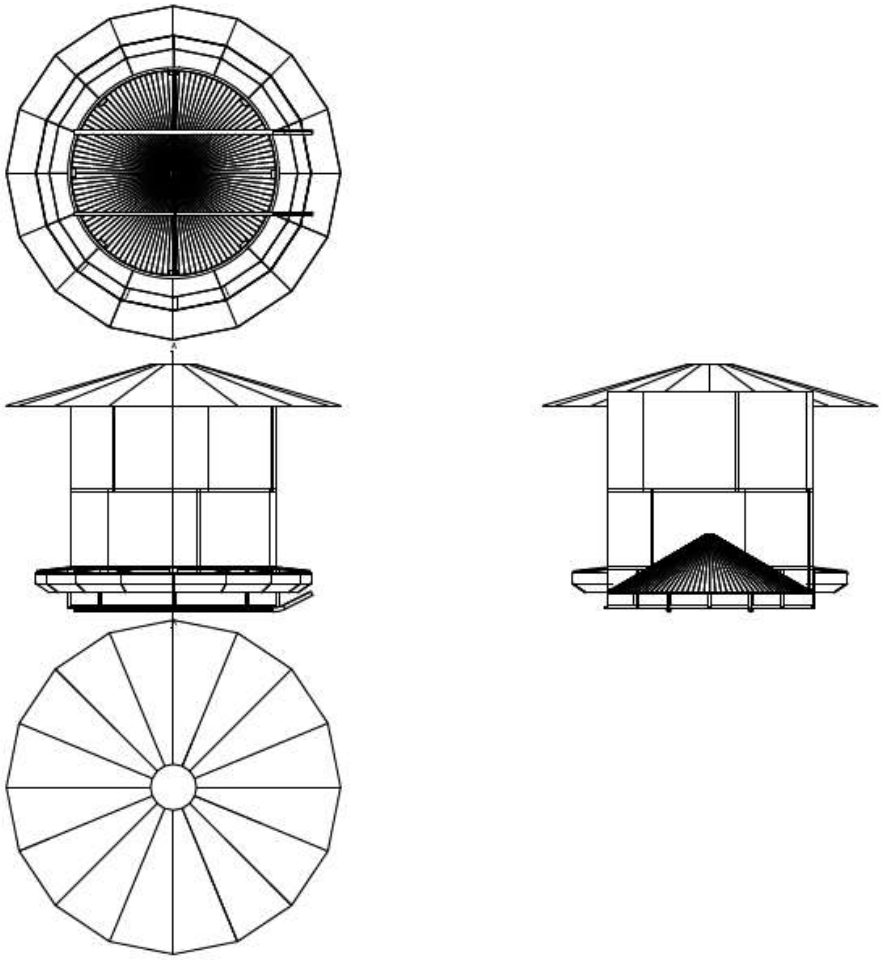


Fig.4 – Croquis del producto terminado en distintas vistas.

Nota: Por razones de Confidencialidad, las dimensiones no están especificadas en los planos.

Materiales utilizados

Base: la base del silo está formada por patas reticuladas soldada de perfilaría de acero SAE 1020 ángulo 1 ¼ x 3/16, dos trineos para facilitar la movilidad por arrastre, el cono soldado a la estructura formado por chapa laminada en frio doble decapada N°18 (número de serie) y dos anillos de ángulo 1 ¼ x 3/16 perforados para permitir posteriormente el ensamblado con el cilindro.

Cilindro: la estructura del cilindro la componen chapas galvanizadas de 122cm x 244cm unidas entre sí por medio de bulones de 3/8 y una junta de impermeabilidad, que forman las paredes del silo. Para aumentar la resistencia se le realizan 6 molduras x chapa mediante deformación en frio.

Techo: formado por cascos de chapa galvanizada N°22 de forma tal que se ensamblan herméticamente uno con otro mediante bulones.

Y la tapa superior en forma de cono fabricada con el mismo material.

Escalera: la escalera del silo está formada por estructura de perfilaría soldada de acero SAE 1020 y es ensamblada al silo por bulones. Angulo 1” x 1/8”.

Puerta pasa hombre: la puerta de inspección es fabricada de chapa doble decapada N°18, plegada, y pintada en dos piezas, marco y puerta.

Manufactura del producto

La combinación de operarios, máquinas y métodos de trabajo en su totalidad, hacen a la instalación de la fábrica para satisfacer los requerimientos de nuestros clientes.

Los productos estandarizados cuentan con una metodología de trabajo ya estipulada por la experiencia lograda en tantos años de producción, en cambio, los productos a pedido cuentan con plazos de entrega y precios mayores, por la realización de la ingeniería antes de comenzar con la fabricación del mismo.

A continuación, presentamos esquemáticamente, como se compone la planta de producción con sus distintas áreas de trabajo.

Maquinarias y herramientas utilizadas

La metalúrgica cuenta con las siguientes maquinarias para ejecutar las tareas de la producción:

- Guillotina de mano
- Cortadora por Plasma.
- 2 Cierras sensitivas Industrial
- 2 Soldadoras MIG/MAG

- Plegadora cilíndrica (bombito)
- Prensa Manual
- Maquina cilindradora
- 2 Maquinas - Balancín Industrial
- Compresor
- Tablero de herramientas de mano
- Reglas, moldes y elementos de medición

Infraestructura de la planta

La empresa cuenta con un predio de 1250 metros cuadrados, en los cuales 250 metros cuadrados son cubiertos. Dentro de los metros cubiertos se distribuyen las distintas áreas que conforman la planta. A continuación, presentaremos de forma esquemática la disposición de planta actual con sus respectivas áreas.

Áreas de la planta (croquis en siguiente página)

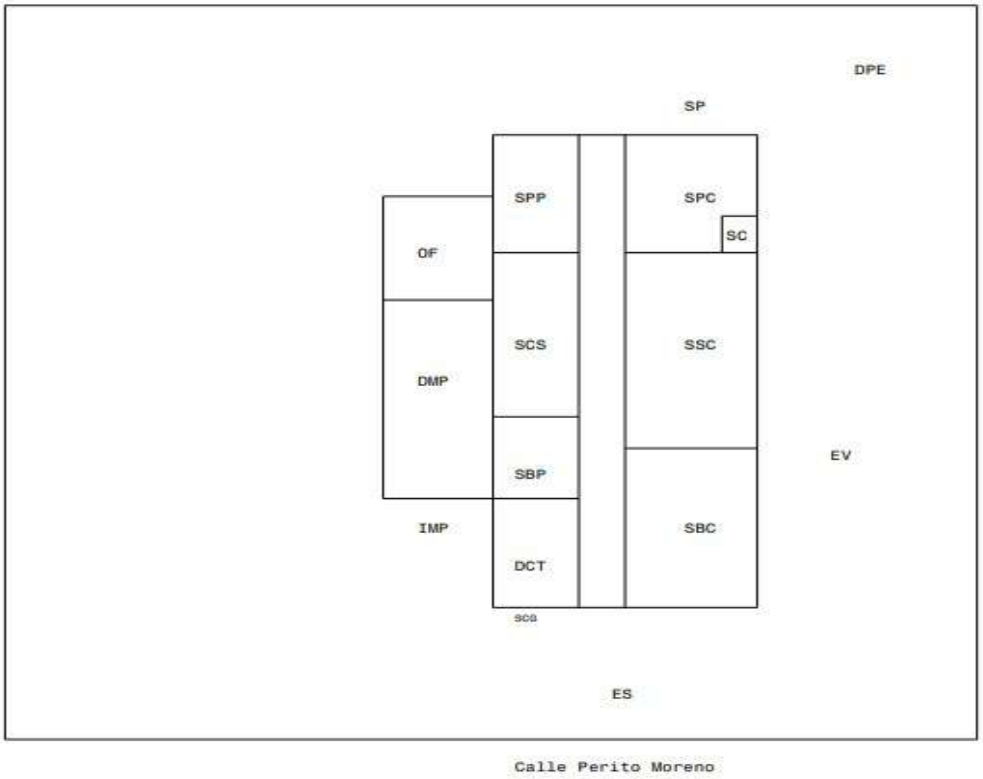


Fig.5 – Croquis de vista en planta de las instalaciones de la empresa.

CODIGO	DESCRIPCION
IMP	Ingreso de Materia Prima
SPC	Sector de Plegado de Chapa
SPP	Sector de Plegado de Perfiles
SBP	Sector de Balancín de Perfiles
SBC	Sector de Balancín de Chapa
SC	Sector de Cilindrado
SP	Sector de Pintura
SCG	Sector de Corte con Guillotina
SCS	Sector de Corte con Plasma
DMP	Deposito de Materia Prima
DCT	Deposito de Chapas Terminada
DPE	Deposito del Producto a Ensamblar
OF	Oficina y baño
EV	Espacio Verde
ES	Entrada y Salida de Transporte
SSC	Sector de Soldadura y Construcción

Fig.6 – Tabla de identificacion de sectores de la planta.

Personal de trabajo

1 Administrador – Encargado de Compras, Presupuestos y Ventas.

1 Diseñador Industrial – Encargado de desarrollos de diseños y prototipos.

1 Jefe de producción – Encargado de las líneas de producción.

6 Operarios metalúrgicos – Técnicos electromecánicos y Soldadores.

Ingeniería de manufactura

Tiene por finalidad reducir al mínimo la manipulación del producto. En todo proceso debe tenerse en cuenta que el tiempo debe ser mínimo, entre la entrada de la materia prima y la salida del producto terminado, reduciendo los tiempos muertos. Los cuales implican pérdidas para la empresa.

Veremos que:

Una operación productiva → aumenta el valor de la materia prima.

La espera ocasionada por cuellos de botella en la producción y el transporte → aumentan el costo.

Buscaremos una disposición para las maquinas tal que reduzca al mínimo la manipulación de las piezas antes de su embalado y depósito.

Operaciones del proceso de producción

PROCESO DE FABRICACION		
Referencia:	Operaciones:	Diagrama de flujo
(A1)	Recepción de materia prima: Chapas y perfles	
(A2)	Recepción de materia prima: Chapas y perfles	
(A3)	Corte de chapas (Batea)	
(A4)	Perforado de perfles	
(A5)	Cilindrados de perfles	
(A6)	Soldado de reticulados	
(A7)	Armado y soldado de base	
(A8)	Perforado de chapas	
(A9)	Plegado de molduras de chapas	
(A10)	Cilindrado de chapas	
(A11)	Corte de chapas de techo	
(A12)	Plegado de chapa de techo	
(A13)	Pintado de piezas de acero al carbono	
(A14)	Disposición final de piezas terminadas	

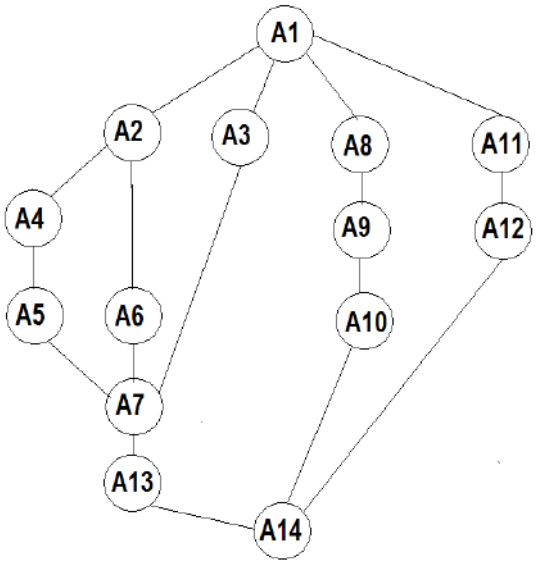


Fig.7 – Diagrama del proceso de fabricación.

Operación (A1) Recepción de materia prima: chapas y perfiles:

En esta etapa no necesitamos maquinaria alguna más que una pluma hidráulica y una zorra para acomodar en el depósito los perfiles y chapas.

Operación (A2) Corte de perfiles para la base cónica, según especificaciones técnicas del procedimiento de fabricación:

Dos personas son destinadas a cumplir esta tarea con la utilización de dos máquinas de corte por abrasión impulsadas por motores eléctricos. Se logran de esta manera las piezas con las dimensiones previstas por los planos que luego formaran la estructura de la base. Esta operación se realiza en 8 horas trabajando las 2 máquinas en proceso continuo.

Operación (A3) Corte de chapas (base):

Se pasan a cortar las piezas de chapa N°18 doble decapada, para la realización de la batea con centro cónico. Partiendo de una chapa de dimensión 2.44m x 1.22m, este proceso se realiza por corte de plasma y la manipulación de la misma de dos operarios, logrando así la obtención de las piezas en tiempo de 14 horas.

Operación (A4) Perforado de perfiles:

Se perforan perfil ángulo de dimensiones 1¾“ x 3/16 con una secuencia de una perforación cada 1cm, sumando así 383 perforaciones. Este proceso se realiza con un balancín industrial con una matriz de corte de un solo punzón. Esta tarea la realiza un solo operario en un tiempo promedio de 4hs.

Operación (A5) Cilindrado de perfiles:

Una vez realizado la perforación, se pasa a conformar dos aros de perfil perforado para lograr la sujeción del cilindro de acopio, un aro inferior soldado a la base y otro superior para la sujeción del techo del silo.

Se realizan 2 aros de ángulo con un radio de curvatura especificado en el plano de fabricación, esta tarea se realiza con la utilización de una maquina cilindradora a rodillos impulsada por un motor eléctrico y la manipulación de un solo operario con un tiempo de 6 horas.

Operaciones (A6) Soldado de reticulados:

Se fabrica la estructura reticulada de la base con dimensiones y diseño de los planos provistos por la ingeniería de producto. Se realizan de perfil ángulo, unidas por soldadura de electro fusión con aporte.

Esta tarea la llevan a cabo dos operarios con la ayuda de dos soldadoras eléctricas MIG/MAG y se logra en un tiempo de 10 horas.

Operaciones (A7) Armado y soldado de base:

El armado y soldado de la batea con centro cónico, es el proceso final de la fabricación de la base metálica. Consta en el ensamble por soldadura de todas las piezas terminadas en las actividades anteriores (aros cilíndricos, patas, cascos). Esta actividad se realiza en el sector de armado con la ayuda de 4 operarios y dos soldadoras eléctricas MIG/MAG.

Se realiza la base cónica en dos mitades para facilitar la manipulación de la misma en el trasporte dentro de la fábrica como el envío del producto al lugar de armado propuesto por el cliente. 20 horas es el tiempo estipulado.

Operación (A8) Perforado de chapas:

Comenzamos el proceso de producción de las piezas que formaran el cilindro de acopio, las

chapas galvanizadas se utilizan con las dimensiones que provienen del proveedor (2.44m x 1.22m) y se inicia la primera operación del proceso con la perforación de toda la periferia de la misma para lograr posteriormente el armado del cilindro por sujeción mecánica. Por chapa se realizarán perforaciones en su perímetro, con un balancín industrial que contiene una matriz de corte de 5 punzones. Esta operación se lleva a cabo con la manipulación de dos operarios con un tiempo de 8 horas.

Operación (A9) Plegado de molduras de chapas:

Se realizan 6 molduradas por chapa, para lograr mayor resistencia al abollamiento en las paredes del cilindro, estas se realizan con una plegadora cilíndrica eléctrica, mayormente conocida como bombito, pero contamos con una matriz simple lo cual nos permite realizar una moldura por pasada, este proceso nos demanda un tiempo de 10 horas laborales con dos operarios manipulando la máquina.

Operación (A10) Cilindrado de chapas:

Se cilindran las chapas para terminar con la producción de esta pieza, utilización una maquina cilindradora a rodillos impulsada por un motor eléctrico, manipulada por dos operarios y un tiempo estipulado de 6 horas laborales.

Operación (A11) Corte de chapas de techo:

Esta operación se realiza con una guillotina de mano ya que es la herramienta de corte sin desprendimiento de viruta y se logra la obtención de las chapas que formaran el techo en un promedio de 16 horas con dos operarios.

Operación (A12) Plegado de chapa de techo:

Se realizan dos molduras por chapa con la utilización de una prensa manual manipulada por dos operarios, con un proceso de producción de una moldura a la vez, con esta tecnología disponible se logra la realización de los cascos del techo terminados en un promedio de 8 horas de trabajo.

Operación (A13) Pintado:

Un operario se encarga de pintar todas las piezas de acero al carbono, para evitar la corrosión de los materiales. Aumentando así la durabilidad del producto y la estética a la hora de presentar el producto final. Esta tarea se realiza por el método de pulverización de

pintura con la utilización de un compresor y tarda 16 horas para completar el trabajo aportando un total de 25 litros de pintura sintética.

Operación (A14) Deposito de piezas terminadas.

Planificación del proceso de producción de un Silo Autoconsumo Metálico

Realizaremos la planificación del proceso productivo para fabricar un Silo metálico Autoconsumo para ganado vacuno de 16.000 kg de capacidad (volumen especifico de trigo), comenzando el estudio con un listado de las actividades realizada en el proceso de producción. El análisis se realizará con un diagrama de red CPM con tiempos estimados de cada actividad.

Con los datos del camino critico plantearemos una posible reforma para poder reducir el tiempo de producción de una unidad y poder aumentar la producción anual.

NOTA: La fabricación de los accesorios del producto como es el caso de, cono de tapa superior, maro y puerta pasa hombre, mecanismos de tapa guillotina y escalera no fueron contemplado a la hora de la planificación ya que llevan un costo y tiempo menor en referencia a las demás piezas que hacen el producto final.

Actividades de registro y control basado en Norma ISO 9001:2015

Planilla de operaciones con personal y tiempo existente

Los tiempos de cada operación son estimados de forma estadística.

Diagrama de flujo de operaciones

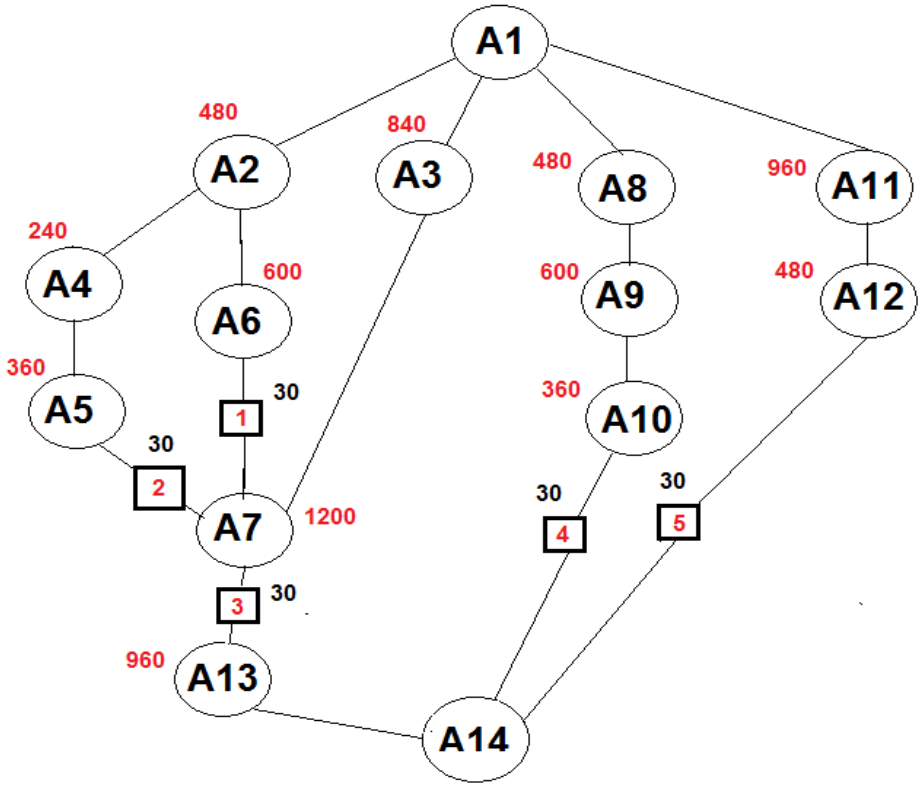


Fig.9 – Diagrama de Flujo de operaciones.

Lista de eventos importantes

NODO	EVENTO
1	MATERIA PRIMA EN EL DEPOSITO
2	PERFILERIA CORTADA
3	PERFILERIA PERFORADA
4	PIEZAS QUE COMPONEN LA BASE
5	BASE ARMADA
6	CHAPA DE TECHO CORTADA
7	CHAPA PERFORADA
8	CHAPA PLEGADA
9	PIEZAS TERMINADAS

Fig.10 – Tabla de eventos.

Diagrama de red

Red CPM

A continuación, presentamos la red CPM. Para su realización fueron utilizados los tiempos estimados de cada operación y los eventos importantes del proceso. Luego resaltamos el camino critico en color rojo para su mejor visualización.

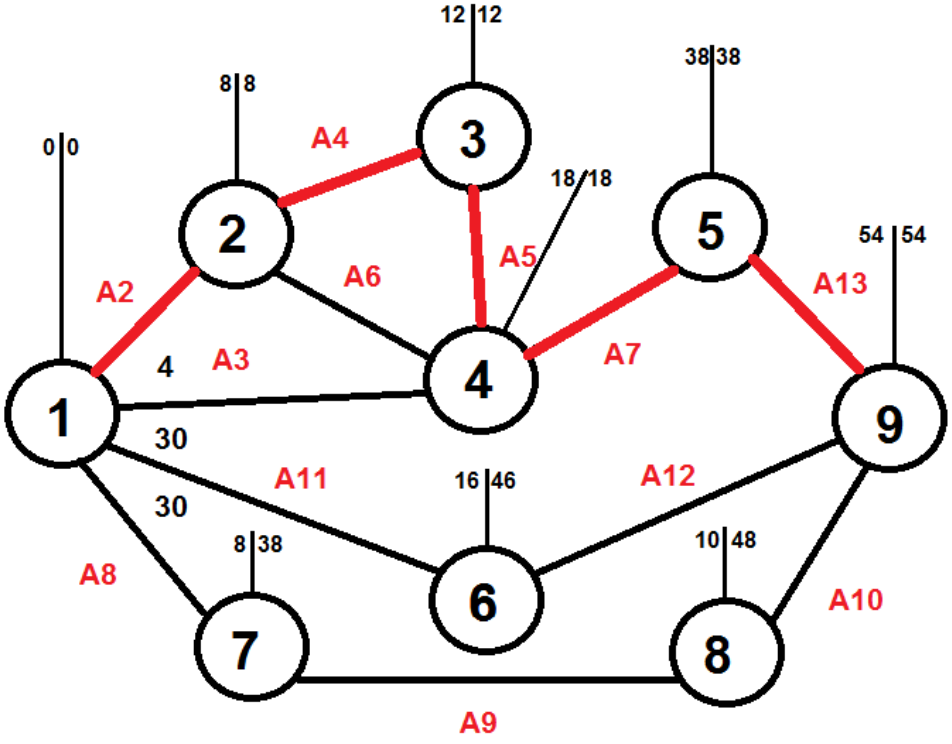


Fig.11 – Diagrama de la Red CPM e identificación de camino crítico.

Dada la RED CPM, vemos los límites de tiempo para la realización de cada tarea, y marcado el camino crítico en color rojo para la finalización del proyecto. Este nos indica que la fabricación del producto nos lleva 54 hs de trabajo, lo cual seria 7 días laborales para completar un silo. Si tomamos aproximadamente 300 días hábiles al año nos da un promedio de 43 silos de fabricación por año que se realizan en la fábrica actual.

Propuesta de mejora

Una vez determinados los procesos que necesitábamos para organizarse bajo un esquema trazable, medible y que permita establecer una línea de base respecto a su performance.

Estaremos en condiciones de plantear planes de mejora. De esta manera proponemos mejorar el proceso de producción con la incorporación de nuevas herramientas para incidir directamente en la disminución del camino crítico, logrando así el aumento en la capacidad de producción anual.

• 2 Pistolas pulverizadoras de pintura para poder pintar la base con dos operarios y reducir el tiempo a la mitad.

• Colocar una matriz de corte con dos punzones para reducir a la mitad el perforado de los perfiles.

• Invertir en una mesa CNC de corte con plasma para reducir los tiempos, aliviar el trabajo manual de los operarios, y cambiar la metodología de fabricación a partir de moldes a planos digitales.

• Comprar una cilindradora con moldura para reducir dos actividades en una.

Planilla de operaciones con personas y tiempos estimados (MEJORA).

OPERACIONES		PERSONAL	TIEPO (HS)	TIEMPO (min)
A1	Ingreso de materia prima	2		1
A2	Corte de perfiles	2	8	480
A3	Corte de chapas (cono)	2	8	480
A4	Perforado de perfiles	1	2	120
A5	Cilindrados de perfiles	1	6	360
A6	Soldado de reticulados	2	10	600
A7	Armado y soldado de base	4	20	1200
A8	Perforado de chapas	2	8	480
A9	Plegado de molduras y cilindrado de chapas	2	6	360
A11	Corte de chapas de techo	2	8	480
A12	Plegado de chapa de techo	2	8	480
A13	Pintado	2	8	480
I1	Inspección de estructura reticulada de perfiles	1	0,5	30
I2	Inspección de Perforado y Cilindrado de perfiles base	1	0,5	30
I3	Inspección de base cónica terminada	1	0,5	30
I4	Inspección de chapas que componen el cilindro del silo	1	0,5	30
I5	Inspección de chapas del techo	1	0,5	30

Fig.12 – Tabla operaciones propuestas.

Diagrama de flujo de operaciones (MEJORA)

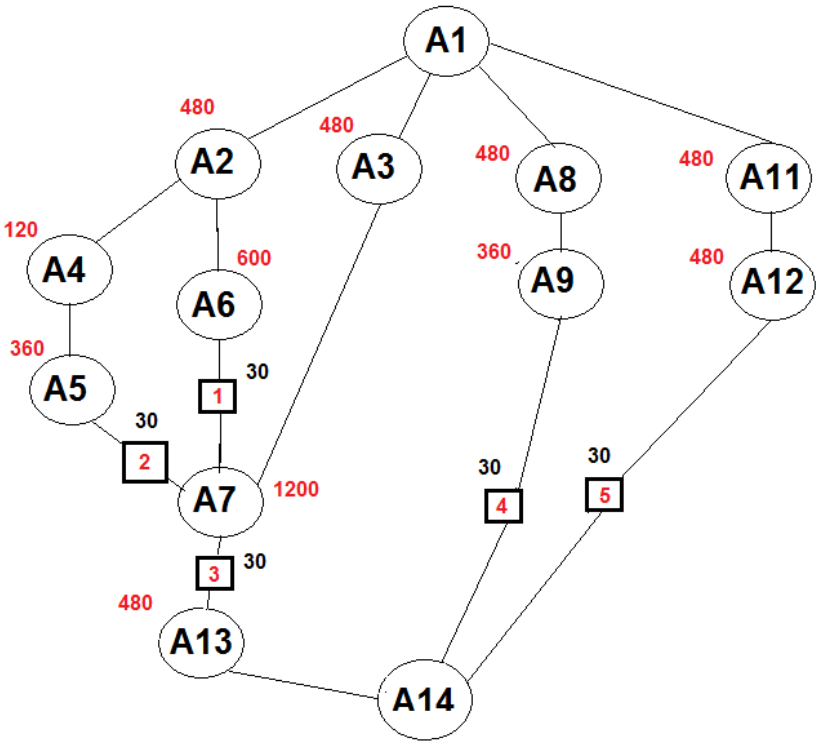


Fig.13 – Diagrama de flujo de operaciones propuesto.

Red CPM (mejorada)

A continuación, presentamos la red CPM. Para su realización fueron utilizados los tiempos estimados de cada operación y los eventos importantes del proceso. Luego resaltamos el camino critico en color rojo para su mejor visualización.

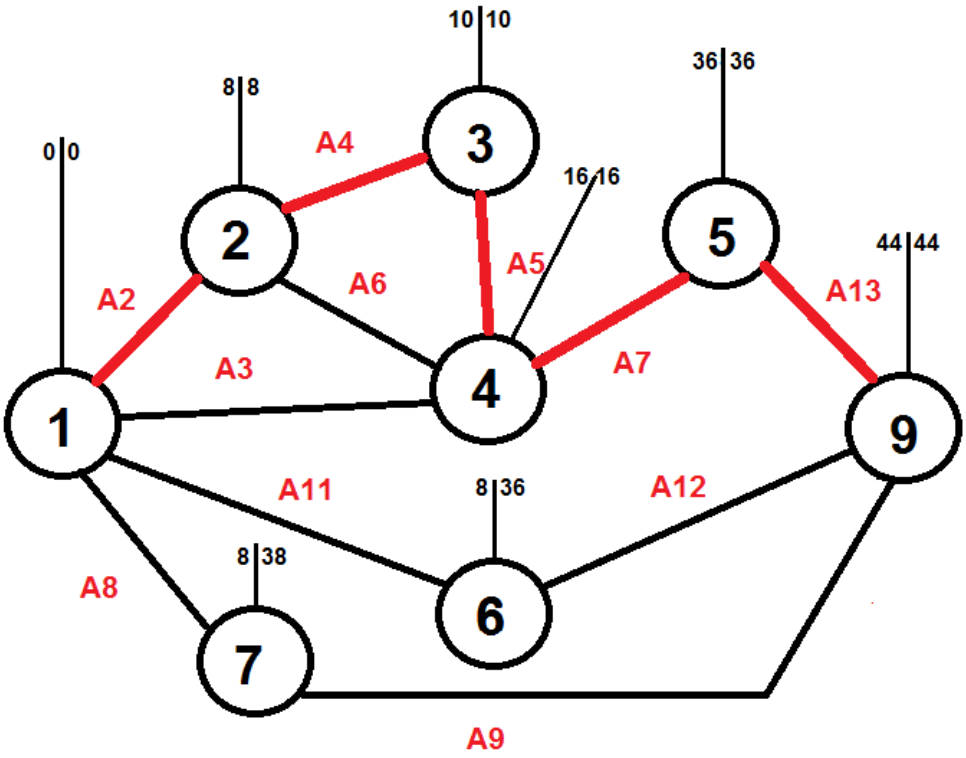


Fig.14 – Diagrama de la Red CPM propuesta e identificación de camino crítico.

Dada la RED CPM reformada vemos los límites de tiempo para la realización de cada tarea, y marcado el camino crítico en color rojo. Este nos indica que la fabricación del producto nos lleva 44 hs de trabajo reduciendo así 10 horas de trabajo, lo cual seria 5 días y medio laborales para completar un silo. Si tomamos aproximadamente 300 días hábiles al año nos da un promedio de 55 silos de fabricación por año que se realizaría en la empresa con esta reforma.

NOTA: Atendiendo a la mejora de procesos, se plantea realizar un ejercicio de planificación de la producción, con base en el Ciclo de Mejora Continua de Deming.

Conclusión sobre la propuesta de mejora

En conclusión, con esta mejora lograríamos reducir 10hs en el camino crítico. Lo que nos representa un aumento del 30% de la capacidad de producción anual.

Gracias a estos valores y análisis, podemos brindarle un ahorro de tiempo al proceso principal de la planta o bien, más tiempo operativo de producción para estar en condiciones

de afrontar un aumento en la demanda.

Conclusión general

En conclusión de lo presentado, debemos destacar que la importancia de implementar un sistema de gestión de la calidad, radica en el hecho de que sirve de plataforma para desarrollar en la organización una serie de actividades, procesos y procedimientos, encaminados a lograr que las características del producto cumplan con los requisitos del cliente, que en pocas palabras sean de calidad, esto lograra cambiar la realidad de la empresa, posicionarla de manera más competitiva en el mercado y obtener mayores beneficios.

Vinculación del trabajo con las materias de la carrera

El trabajo se relaciona directamente con la materia de 5to nivel de Ingeniería Mecánica, Metrología e Ingeniería en calidad, dado que es el eje principal que atraviesa el plan de actuación en estas 220hs de práctica.

Por otro lado, se relaciona con varias asignaturas de la carrera en mayor o menor escala. Por ejemplo, Diseño mecánico, sistema de representación y Sistema CAD CAM a la hora del desarrollo del porotito con diseño 3D, Organización industrial debido a que el trabajo se realiza en una industria metalúrgica donde se analizan los procesos de producción con técnicas vistas en esa materia (diagramas de flujos de procesos, diagrama de red CPM, etc), entre otras.

Si bien se mencionan asignaturas específicas, se debe tener en cuenta el criterio profesional aplicado en la actividad desarrollada, esta herramienta es adquirida en la formación del ingeniero, por el paso en cada y una de las materias del plan de estudio.

Lecciones aprendidas y recomendadas

En esta experiencia, se resalta el aprendizaje adquirido a lo largo de los años de estudio en la Universidad pública, correlacionado con las técnicas aplicadas en una empresa para el desarrollo de productos y servicios. En los cuales se forjaron conceptos sobre la importancia

de trabajar bajo un sistema de gestión de calidad, las oportunidades de mejoras que se presentan, y sobre todo, la satisfacción personal de ser competente en la activada desarrollada en dicha experiencia laboral.

De esta manera se puede apreciar que la formación del profesional en el sistema de educación actual, apunta a la incorporación de conceptos teóricos de carácter genéricos, sumado al desarrollo de un criterio profesional propio con bases en buenos valores y ética profesional, logran los resultados presentados en este trabajo.

Proyecto de siderurgia

Alumno: Juan I. Guillet

Docente tutor: Ing. Juan J. Muriel

Introducción

En el presente informe se desarrollará un seguimiento de la fabricación de piezas, específicamente ganchos, realizando todos los controles y ensayos necesarios para garantizar la calidad del producto una vez terminado.

Las tareas se llevan a cabo en “Acerías Berisso fundición de hierros y aleaciones especiales” ubicada en Berisso calle 128 n° 1428 e/ 61 Y 62. La empresa que demanda la fabricación de dichas piezas está dedicada a la construcción de maquinaria agraria.

El acuerdo de fabricación entre cliente y empresa consiste en determinar la cantidad, material y propiedades mecánicas que debe tener la pieza una vez lista, pautas a cumplir que proporcionan el sustento necesario para la toma de decisiones en cuanto al plan de producción que se adoptará. La cantidad será de 100 ganchos fabricados en fundición nodular, con una dureza no menor a 160 HB.

La estructura del informe será tal que estará compuesto por un marco teórico en donde se explicara a grandes rasgos cuales son las propiedades y características de los materiales de los que van a estar construidas las piezas, entendiendo que el lector ya cuenta con una base lo suficientemente sólida de conocimientos sobre materiales metálicos como para lograr una correcta interpretación sin mayores problemas, un cuerpo central, en el que se hará la descripción de cada una de las tareas y por ultimo un apartado de lecciones aprendidas y recomendaciones.

Marco teórico

En Acerías Berisso se construyen piezas de materiales muy variados, a saber:

- Fundición blanca, maleable, de grafito compacto, nodular, además de varios aceros.

Dada la amplia variedad de materiales de fabricación con la que se trabaja en la acería, dicho informe se tratara solo sobre fundición nodular a partir de la que se fabricaran los ganchos.

Comenzaremos con las fundiciones, como es de conocimiento, las mismas son una aleación de Fe, C y Si que generalmente contienen también Mn, P, S, etc. Su contenido de C (2 a 4.5 %) es superior al contenido de C de los aceros (0.1 a 1.5%). Se caracterizan porque adquieren su forma definitiva directamente por colada, no siendo nunca las fundiciones sometidas a procesos de deformación plástica, ni en frio ni en caliente. En general no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse.

Las fundiciones se caracterizan por que la mayoría de ellas presentan grafito en su estructura. Esto es debido a que la cementita (Fe_3C), que es un compuesto metaestable, en presencia de un elemento formador de grafito (grafitizador), como el Si, y a velocidades de enfriamiento y solidificación lentas se disocia en sus dos componentes estables, ferrita y grafito, según la ecuación:

$$Fe_3C \leftrightarrow 3Fe\alpha + C\ (grafito)$$

De esta forma, en el enfriamiento el verdadero diagrama Fe-C queda ligeramente modificado, donde el grafito sustituye a la cementita.

Debido a la existencia de elementos de aleación, como el Si o P, se suele hablar, no del contenido en C sino del contenido en carbono equivalente (CE), ya que van a ejercer efectos similares a los del C. El CE se calcula como:

$$\%CE = \%C + \%\frac{Si}{3} + \%\frac{P}{3}$$

El cálculo del CE permite evaluar el efecto de los distintos elementos en las fundiciones. Permite estimar si una determinada fundición será hipo o hipereutéctica durante la solidificación.

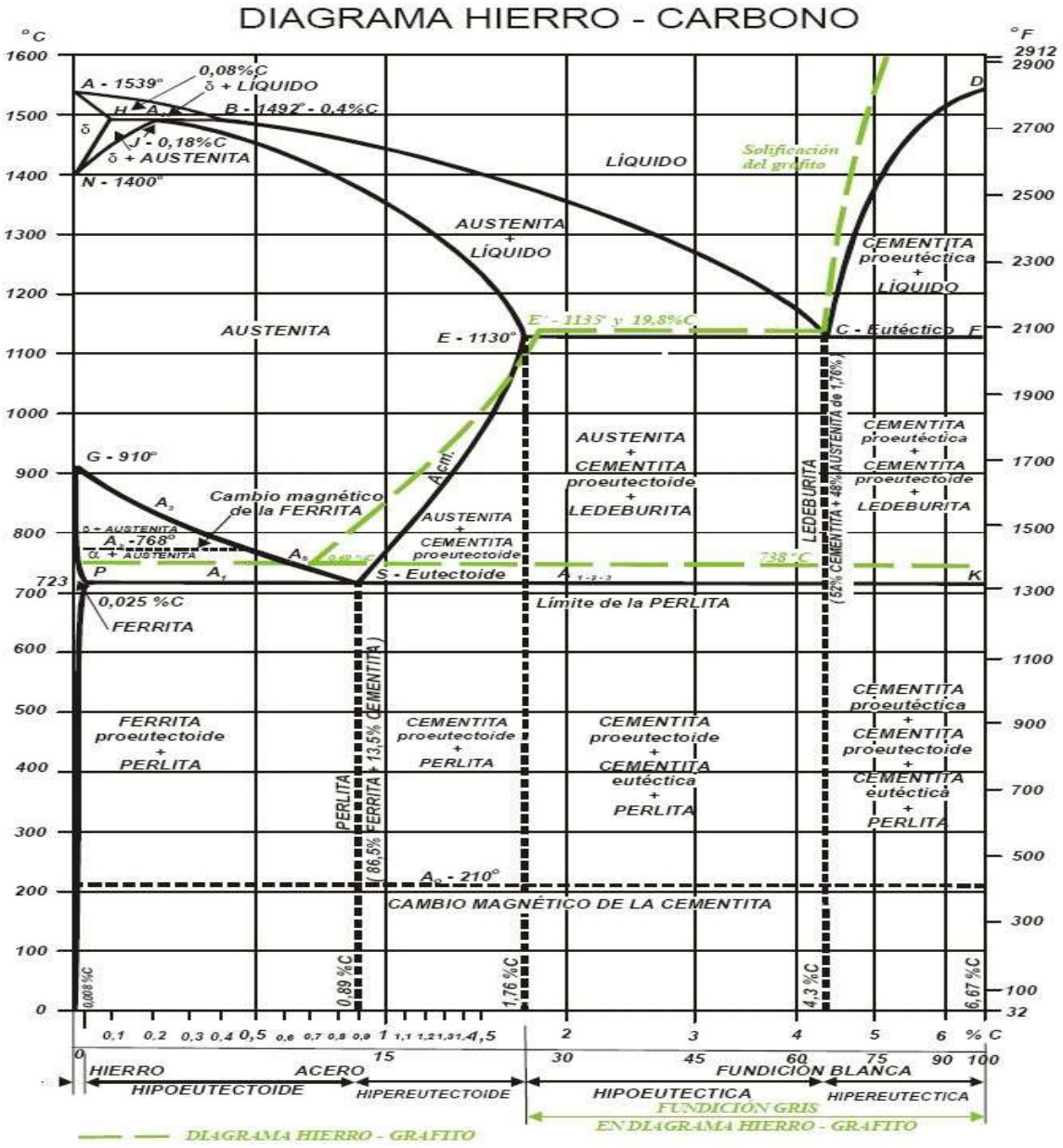


Imagen.1 - Diagrama de fases Fe-C que muestra la relación entre equilibrios estables de Fe – Grafito (líneas discontinuas) y las reacciones metaestables de Fe –Cementita (líneas continuas).

El C se puede encontrar en las aleaciones Fe-C, tanto en estado ligado (Fe_3C), como en estado libre (C, es decir, grafito), por eso, el diagrama comprende dos sistemas:

1. Fe- Fe_3C **(metaestable)**: Este sistema está representado en el diagrama con líneas llenas gruesas y comprende aceros y fundiciones blancas, o sea, las aleaciones con el C ligado, sin C libre (grafito).

2. Fe-C **(estable)**: En el diagrama se representa con líneas punteadas; este sistema expone el esquema de formación de las estructuras en las fundiciones grises y atruchadas donde el C se encuentra total o parcialmente en estado libre (grafito).

En las fundiciones grises, que en la práctica son las más importantes, aparecen durante la solidificación y posterior enfriamiento, láminas de grafito que al originar discontinuidades en la matriz son la causa de que las propiedades mecánicas de las fundiciones grises sean inferiores a las de los aceros.

En teoría, las fundiciones pueden contener según el diagrama Fe-C de 1.7 a 6.67% de C, sin embargo, en la práctica estos porcentajes varían entre 2.75 a 3.8%. El contenido en Si oscila entre 0.5 a 3.5%, Mn de 0.4 a 2%, el S varía entre 0.01 a 0.2% y el P de 0.04 a 0.8%. Las fundiciones aleadas, además del elemento citado contienen también porcentajes variable de Cu, Ni, Cr, Mo, etc.

Algunas de las propiedades principales de las fundiciones son:

- Generalmente son más baratas que el acero y su fabricación es también más sencilla por emplearse en instalaciones menos costosas y realizarse la fusión a temperaturas relativamente poco elevadas y más bajas que el acero.
- Son más fáciles de mecanizar que los aceros.
- Con relativa sencillez se pueden realizar piezas de gran tamaño, así como también piezas pequeñas lográndose una precisión de formas y medidas aceptables.
- Tienen buena resistencia al desgaste y absorben muy bien (mucho mejor que los aceros) las vibraciones de máquinas, motores, etc. a las que a veces son sometidas.

La fundición gris contiene altos contenidos de Si (1.5 a 3.5%), el color oscuro que presentan las mismas se debe a la presencia de grandes cantidades de láminas de grafito. El contenido de Si y la velocidad de enfriamiento tienen gran influencia en la formación de una u otra clase de fundición. La velocidad de enfriamiento lento favorece la formación de fundición gris, una velocidad de enfriamiento rápida, en cambio, favorece la formación de fundición blanca. También, los aleantes tienen influencia, siendo el S y Mn elementos que actúan en forma contraria al Si (a mayor porcentaje del mismo, se favorece la formación de fundición gris), sin embargo, cuando el S y Mn están presentes formando inclusiones no metálicas

como por ej. Sulfuro de manganeso, no ejercen influencia alguna en cuanto a la formación de un tipo u otra de fundición.

Cuando el Si se encuentra en bajas concentraciones (0.1 a 0.6%) no ejerce influencia notoria, no siendo así cuando está presente en porcentajes que van de 0.6 a 3.5%, en donde tiene una acción muy destacada y contribuye a la formación de grafito. El contenido de C también tiene una influencia similar a la del Si en cuanto a la formación de grafito, o sea, a mayor porcentaje de C más fácil es la formación de grafito.

Debido a que en función de la velocidad de enfriamiento podemos obtener uno u otro tipo de fundición, es aquí donde entra en juego otras cuestiones relacionadas a las características dimensionales de las piezas, donde piezas pequeñas enfrían más rápido que piezas grandes, y también la naturaleza de los moldes (un molde metálico enfría más rápido que un molde de arena). En nuestro trabajo utilizaremos moldes de arena porque justamente lo que queremos es la formación de fundiciones grises, por lo tanto, necesitamos enfriamientos más lentos.

Como se estableció anteriormente, el material de fabricación es fundición nodular, lo que la diferencia de la fundición gris es la forma en la que se encuentra presente el grafito, en la fundición nodular, como su nombre lo dice, el grafito aparece en forma de nódulos, mientras que, en la fundición gris, se encuentra en forma de láminas, estas características son las que le darán a cada una propiedades mecánicas diferentes.

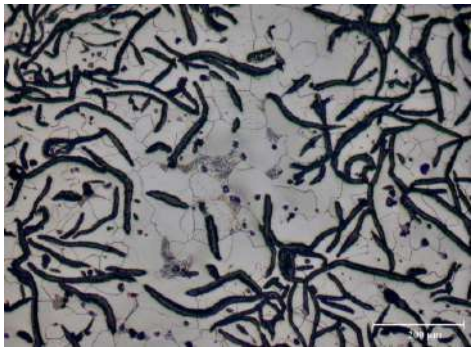


Imagen.2 - Microestructura de una fundición gris con grafito en forma de láminas en una matriz ferrítica.

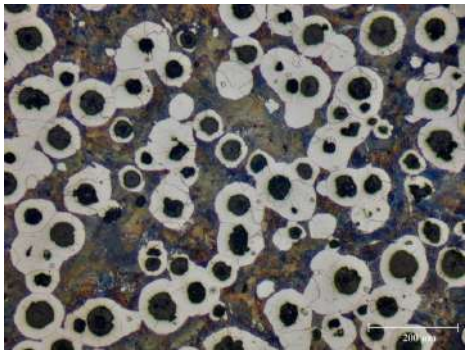


Imagen.3 - Microestructura de fundición nodular. Se observa al grafito en forma de nódulos embebidos en una matriz de ferrita y perlita.

La matriz presente en ambas fundiciones dependerá de la composición y velocidad de enfriamiento de cada una, si estas son tales que permiten la grafitización de la cementita eutectoide entonces presentara una estructura totalmente ferrítica, si por el contrario, se impide la grafitización de la cementita eutectoide, la estructura será totalmente perlítica.

La mayor parte del contenido de C en el hierro nodular, tiene forma de esferoides. Para producir la estructura nodular el metal fundido que sale del horno se inocula con una pequeña cantidad de materiales como Mg, Ce, o ambos. La adición a la fundición liquida del Mg o de otros elementos alcalinos, que por sus propiedades actúan como enérgicos desoxidantes, desulfurantes y estabilizadores de carburos, alteran el normal mecanismo de solidificación de la fundición, provocando la separación del grafito en forma nodular.

En la práctica normal para obtener grafito esferoidal no solo se utiliza el agregado de Mg, sino que también se agrega un inoculante. Si el Mg se agregara solo ejercería cierta influencia para la formación de fundición blanca, por lo que se comprende que su acción combinada con la de un inoculante es la que verdaderamente produce la esferodizacion.

Esta microestructura produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buen maquinado, buena fluidez para la colada, buena endurecibilidad y tenacidad.

No puede ser tan dura como la fundición blanca, salvo que la sometan a un tratamiento térmico superficial especial. Este tipo de fundición se caracteriza porque en ella el grafito aparece en forma de esferas minúsculas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. La fundición nodular se diferencia de la fundición maleable en que normalmente se obtiene directamente en bruto de colada sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación debido a la presencia de los agregados mencionados anteriormente (pequeñas cantidades de Mg o Ce), los cuales se adicionan en la cuchara antes de colar el metal a los moldes, la cantidad de ferrita presente en la matriz depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Descripción de equipos empleados

Espectrómetro de masas

El analizador de metales estacionario Spectromaxx se utiliza principalmente para pruebas de materiales en fundiciones e inspecciones de entrada y salida en la industria metalúrgica. Incluye el análisis de C, P, S y N.

Está integrado por las siguientes partes:

- Fuente de ionización o de excitación: en esta parte del equipo se genera la llama, plasma, arco o chispa encargados de llevar la muestra desde un estado basal a un estado excitado.
- Sistema dispersivo, para dispersar la radiación.
- Sistema de detección y análisis, encargado de medir la radiación emitida por los átomos.

La espectroscopía de chispa o arco eléctrico se utiliza para el análisis de elementos metálicos en muestras sólidas. En los métodos de espectroscopía de arco tradicionales, una muestra del sólido comúnmente se pulveriza y destruye durante el análisis. Un arco eléctrico o chispa se pasa a través de la muestra, calentándola hasta una alta temperatura para excitar los electrones dentro de ella. Los electrones excitados emiten luz en longitudes de onda características que se pueden dispersar con un monocromador y se detectan.

En el pasado, las condiciones de chispa o de arco no estaban bien controladas, y el análisis de los elementos de la muestra era cualitativo. Sin embargo, las modernas fuentes de chispas con descargas controladas pueden ser consideradas como análisis cuantitativos. Tanto el análisis cualitativo como el cuantitativo de chispa son ampliamente utilizados para el control de calidad de la producción en las fundiciones y acerías.

Un esquema de cómo está compuesto el mismo se puede apreciar en la siguiente imagen.

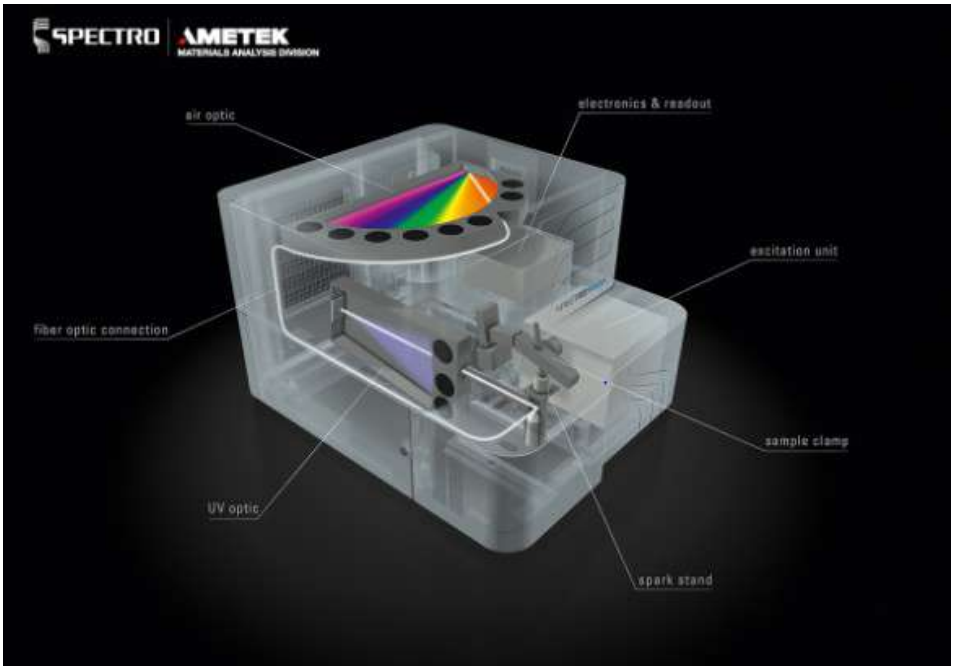


Imagen.4 - Esquema del espectrómetro.

Para su utilización se deben tener una serie de recaudos que contribuyen a la correcta preservación del equipo, así como también a la obtención de resultados certeros. Consisten básicamente en un cuidado del ambiente en el que funciona el equipo, el mismo debe estar a una temperatura no mayor de 20°c y lo más limpia posible (cuestión a tener en cuenta en una industria donde el polvo abunda). Antes de realizar el análisis de cada muestra se debe realizar una limpieza de la superficie donde la misma va apoyada con un instrumento especial propio del espectrómetro a fin de eliminar posibles restos de análisis anteriores.

En cuanto al material a ensayar, el mismo se encuentra en forma de medallas obtenidas directamente del horno con un molde destinado a ello, las cuales se deben preparar para su análisis.

Imagen.5 - Espectrómetro y software de lectura.

Lijadora de bandas

Aunque existen diversos tipos y tamaños, todas las lijadoras de banda funcionan de la misma manera y es la razón por la cual reciben su nombre: se trata, simplemente, de una banda de papel de lija que gira de forma continua sobre dos rodillos para nivelar superficies mediante la remoción de grandes cantidades de material en un corto tiempo. Los materiales que se emplean son maderas duras y blandas, plástico, metal (acero inoxidable, aluminio. etc.), cemento, yeso, pintura vieja, superficies barnizadas.

La tasa de remoción del material y la calidad de la superficie que produce una lijadora de banda están determinadas, principalmente, por el grado y el tipo de la banda de lija, así como de la velocidad preseleccionada de la banda. Cuanto mayor sea la velocidad, más material se extrae y más fina queda la superficie lijada.

Imagen.6 - Lijadora de bandas

Rectificadora plana

El mecanizado de piezas por abrasión es uno de los procesos que eliminan material de una pieza a fin de darle forma y modelarla de acuerdo a su aplicación posterior. Se diferencia de los otros procesos de mecanizado porque la remoción de material es relativamente pequeña, por lo que se trata más bien de un proceso de acabado de piezas y la herramienta que se emplea para ello es una muela abrasiva, constituida por granos de cuarzo, carburo de silicio y un aglutinante.

Imagen.7 - Rectificadora plana

Proceso de fabricación

Como se aclaró anteriormente, las piezas a fabricar son ganchos destinados a la construcción de máquinas agrarias, el modelo de los mismos es provisto por el cliente y los moldeadores de la empresa son quienes estar a cargo de la construcción de los moldes.

Dentro de todas las variantes existentes en la fundición de arena la más común de ellas es la fundición de arena en verde. La arena de sílice concede la refractariedad necesaria para resistir las altas temperaturas de trabajo a la hora del vaciado de la colada. La cohesión la brinda el contenido de agua e impurezas aportado a la mezcla la cual permite la durabilidad y resistencia necesaria para la conservación del molde sin agrietarse ni romperse.

El proceso se divide en etapas, las cuales son:

Preparación de la arena

La arena utilizada para la realización de los moldes y noyos consiste en una mezcla de distintos materiales, estos son:

- Arena reciclada: Recuperada luego de una fundición y que esté en condiciones de ser reutilizada. Proporción 80-90 %
- Arena nueva: es Arena de sílice (SiO_2) que puede ser traída de rio, mar o canteras. Se agrega a la reciclada.
- Carbonilla: Mineral extraído de minas que se utiliza en forma pulverizada o granulada. Su función principal es la de mejorar el acabado superficial a la pieza y además ayuda a reducir la ocurrencia de penetración del metal y proporciona permeabilidad.
- Bentonita: es un componente indispensable para aglutinar la mezcla de la arena verde. Proporciona resistencia, moldeabilidad y plasticidad a la mezcla. Proporción 4-9 %.
- Agua: componente fundamental para la activación de la bentonita, además permite cohesionar a todos los elementos en la mezcla. El contenido de agua debe ser cuidadosamente controlado ya que escases de la misma no otorgaría resistencia, plasticidad ni cohesión de los demás componentes, y un exceso de la misma pueden hacer una arena demasiado plástica y húmeda afectando la resistencia. Proporción 9%.

Cuando la mezcla se encuentra lista, la misma debe contar con una serie de propiedades:

- Plasticidad para reproducir con fidelidad los detalles de la superficie del modelo o de la caja de machos.
- Cohesión para que el moldeo o macho conserven su forma cuando se retire el modelo o se abra la caja de machos, se maniobren las cajas y se cuele la aleación líquida.
- Refractariedad o capacidad para resistir la elevada temperatura del metal colado en el molde sin que éste funda y se vitrifique en la superficie de la pieza.
- Permeabilidad o capacidad para dejar pasar por su interior los gases que se originan durante la colada.
- Conductividad calorífica que regula la velocidad de enfriamiento del metal en el molde y con ello, su estructura. La arena seca posee menor conductividad calorífica que la

húmeda. También se puede disminuir la conductividad de la arena acondicionándola con carbón mineral molido.

• Flexibilidad o capacidad de deformarse para permitir la contracción de la pieza durante su enfriamiento.

• Desmoldeabilidad: capacidad de la mezcla de disgregarse con facilidad para permitir que se desaloje la pieza después de enfriada y que le comunique buen aspecto superficial.

• Fluidez: capacidad para fluir en el molde hacia todas sus partes en función de los esfuerzos del apisonado.

Confección del molde y de los noyos

Se trata de un procedimiento puramente artesanal en el que la habilidad del moldeador es fundamental en el resultado final de la pieza, requiere de gran especialización para un óptimo resultado.

El modelo reproduce fielmente la forma exterior de la pieza a fabricar y tiene en cuenta aspectos tales como la disposición en el molde y la necesidad de la colocación de noyos para dar forma a los interiores.

El molde se divide en dos partes, una superior y una inferior, las cuales se unen en forma tal de entre ambas lograr la forma de la pieza a fabricar.

El recubrimiento de su superficie con una fina capa de pintura facilita su extracción ya que evita su adhesión con la arena en verde, confiriendo además impermeabilidad. Las superficies del modelo deben diseñarse de forma que en su extracción no se produzcan desprendimientos de las paredes del molde. Por ello, se respetan ángulos mínimos en la dirección de desmoldeo así como áreas óptimas de los canales de alimentación que provoquen velocidades razonables del fluido metálico en el interior del molde.

La unión entre molde superior e inferior puede conferir a la pieza rebaba por su contorno si esta unión no es totalmente perfecta. Se conseguirá su perfecta unión tras una buena compactación de ambas partes del molde y un buen cierre entre ambas cajas.

Al verter el material fundido en el interior del molde, comienza el proceso de solidificación, el cual viene acompañado por la contracción del metal, teniendo dimensiones finales algo

menores a las deseadas, esta es la razón por la cual los moldes se fabrican con dimensiones algo mayores para contrarrestar este efecto (del orden del 0.3% al 2%).

Imagen.8 - Cajas con moldes ya listos

Proceso de fundición

Es en esta etapa en donde se funde el metal. La maquinaria utilizada para dicho proceso es un horno inductivo de 1200 kg de capacidad, al que se lo llena con chatarra comprada, la cual es previamente analizada en el espectrómetro a fin de constatar su calidad y aptitud para su uso (es importante verificar que la misma no esté saturada de P, en dicho caso no será útil), además de restos de otras fundiciones (en su mayoría son canales de alimentación y piezas con defectos tales como malos acabados superficiales o excesiva presencia de poros).

Una vez que el horno está cargado comienza a fundirse el metal. Cabe aclarar que el horno necesita de un cierto tiempo de preparación antes de ser utilizado, razón por la cual el hornero acude al taller a las 2 am con la finalidad de comenzar a calentarlo y ponerlo en condiciones para a las 6 am comenzar con la jornada laboral y el proceso de fundición.

Con el metal fundido a la temperatura correspondiente se retira del horno una pequeña muestra de metal y se la deja solidificar en un molde destinado a ello, a dicha muestra se la

llama medalla. Tras la solidificación de esta, se la coloca en una rectificadora plana a fin de lograr un acabado superficial lo más plano posible.

Para el proceso de rectificado se debe sujetar a la medalla mediante una morsa a fin de restringir la totalidad de su movimiento, ya que el mismo provocaría una superficie no plana (un ángulo mínimo de inclinación que pueda llegar a ocurrir durante el proceso conduce a que la reflexión de la luz ocurra en distinta dirección según la zona de la medalla, condición que contribuye en forma negativa al funcionamiento del espectrómetro).

Debido a la gran temperatura que adquiere la medalla mientras se realiza el rectificado, esta debe ser refrigerada a través del agregado de agua directamente sobre su superficie tras las sucesivas pasadas de la piedra.

La razón de ser de esta preparación de la medalla radica en los requisitos para el correcto funcionamiento del espectrómetro, a través del cual se obtiene la composición química del metal, y en base a este se hacen las correcciones de los elementos que hagan falta (agregando distintas cantidades en Kg de elementos al horno) a fin de obtener un metal fundido con la composición correcta para lograr luego en la pieza a fabricar las características deseadas.

Ya hecha la corrección de la composición y lograda la temperatura indicada (1450 °C) estamos en condiciones de realizar la colada. En este momento tiene lugar nuevamente la extracción de una medalla final, la cual se utiliza para guardar un registro de la colada y para la confección de los certificados de calidad posteriores, luego de dicha extracción, del horno se vuelca el metal fundido a una cuchara (recipiente cilíndrico de metal el cual se acondiciona a temperaturas cercanas al del metal fundido a fin de interferir lo menos posible en su enfriamiento), es en ese momento en el que se agrega el nodulizante, que consiste en una determinada cantidad de Mg, a fin de lograr que el grafito se encuentre en la pieza solidificada en forma de nódulos.

Un último agregado es el del atrapa escoria. Las escorias son residuos o subproductos que se generan durante el proceso de fundición y están formadas mayormente por fusiones homogéneas compuestas por óxidos libres o ligados. El atrapa escoria es un compuesto destinado a extraer el oxígeno del metal, es decir, las impurezas del mismo que se

encuentran formando óxidos, con la finalidad de dejar al mismo lo más puro posible. En caso de no agregarse, desde el momento de la colada tendríamos problemas provocados por estas impurezas.

Con el metal fundido en la cuchara y todos los agregados listos se procede al colado, el movimiento de la cuchara es asistido por un aparejo, y con maniobras de los operarios se realiza el proceso de colado. Son éstos quienes regulan la velocidad de ingreso del metal a los moldes a través de la mayor o menor inclinación de la cuchara.

Debido a que la cuchara tiene una capacidad reducida y sumado a que tras el llenado de varios moldes el metal comenzamos a tener valores de temperatura más bajos, es que el proceso de llenado de la cuchara con el horno se realiza varias veces para completar la colada de la totalidad de los moldes.

Colada del metal

El vaciado del metal fundido dentro de la cavidad del molde se realiza por gravedad. La velocidad de vaciado debe ser la justa para que llene la totalidad del molde sin producir turbulencias, la cual debe evitarse debido a que puede producir la degradación del molde y el desprendimiento local del mismo afectando directamente a la forma final de la pieza. Además, la turbulencia tiende a la generación de óxidos metálicos que dificultan la solidificación y degradan la calidad de la fundición.

Durante el vaciado y la solidificación se produce la evacuación de gas hacia la atmósfera. Este gas proviene la propia evaporación de la humedad, aditivos, CO y CO2 del molde o por la expansión del aire presente en la cavidad del molde y entre los huecos de arena, el gas es evacuado por la propia permeabilidad del material del molde.

Imagen-9 - Proceso de colada.

Desmolde y limpieza

La etapa de desmolde y limpieza es en donde se retira al material fundido de sus respectivos moldes. En cada caja, como se pudo apreciar anteriormente, entran cuatro ganchos, los cuales al romper la arena quedan conectados entre sí a través de los canales de llenado necesarios para que el metal llegue a cada rincón del molde.

Las piezas son retiradas de las cajas colocando a estas sobre una superficie vibratoria elevada (llevadas allí mediante la ayuda de aparejos) de manera tal que la arena se desprende de las paredes de la caja y de la pieza, permitiendo su remoción y posterior reutilización. La pieza ya separada se despacha a través de un tobogán metálico, quedando a disposición de los operarios para llevarlas a los hornos de tratamiento térmico o, como en nuestro caso, cuando no hace falta tratar las piezas térmicamente pasan a la etapa de limpieza de la misma.

Imagen.10 - Ganchos recién retirados de las cajas. Aún con canales de alimentación.

El proceso inmediato luego de obtener los 4 ganchos juntos es el de corte, a través del mismo se separan los ganchos entre sí y de los canales de alimentación, se realiza manualmente en 3 estaciones de trabajo (box) a través de amoladoras neumáticas. Como resultado se obtienen todos los ganchos en forma individual.

Debido a que por la naturaleza de los moldes todas las piezas presentan en mayor o menor medida rebabas sobre su superficie, es necesario tratar a las mismas para su eliminación. El camino que siguen los ganchos entonces es el de remoción de rebaba exterior a través de piedras fijas y el operario manipulando la pieza de manera tal de eliminar todo el sobrante de material para pasar luego al rebabado interior, donde se eliminan todas las rebabas a las que no se pude acceder con la piedra, se lleva a cabo mediante tornos neumáticos con diferentes tipos de puntas para llegar a cada uno de los intersticios. A diferencia del rebabado exterior, en este ultimo la pieza se encuentra fija y el operario manipula el torno.

Llegados a este punto tenemos a los ganchos en forma individual y libre de rebabas, pero presentan aun las marcas de las piedras, razón por la cual se la somete a un último proceso que es el de granallado con esferas cerámicas, a través del cual se eliminan las marcas de todos los procesos anteriores, dando a la pieza un aspecto que denota mayor calidad.

Imagen.11 - De izquierda a derecha se muestra la pieza bruta recien salida del molde, rebabado exterior, rebabado más granallado.

Verificaciones

Dentro de las actividades comprendidas en esta etapa se encuentran dos ensayos indispensables para asegurar que el material haya adquirido las características deseadas, estos son: Ensayo de dureza Brinell y metalografía de una muestra extraída de una de las piezas (considerada representativa del lote)

En cuanto al ensayo de dureza Brinell en la mayoría de los casos es necesario preparar la superficie para poder efectuarlo, los ganchos no son la excepción, por lo que se procede a realizar un plano en la pieza a través de una amoladora neumática (la fuerza motriz del taller es neumática) utilizando un disco de desbaste.

Una vez realizado el plano se lleva la pieza hacia el durómetro en el cual se coloca a la misma sobre un plato y se la ajusta contra la bolilla a la que se le aplicara la carga en forma lenta y gradual. El ensayo se realiza con un diámetro de bolilla de 10 mm, duración de 30 segundos y carga de 3000 kg. Pasado el tiempo necesario se quita la carga y se mide el diámetro de la impronta provocada en la pieza. En nuestro caso fue de 4mm lo que equivale a 180 HB.

Imagen.12 - Realización de ensayo de dureza Brinell.

La metalografía se realiza con la finalidad de verificar el estado en que se encuentra el carbono en la pieza, precisamente la forma, tamaño y distribución de los mismos, así como también constatar que la matriz en la que se encuentra el carbono sea la correcta.

Para poder hacer estas evaluaciones es necesario contar con una muestra de la pieza, el tamaño de la misma no interesa demasiado siempre y cuando sea lo suficientemente grande como para poder manipularla. El proceso entonces comienza tomando una muestra de la pieza a través de una cierra manual, no pudiéndose utilizar herramientas de corte tal como una amoladora ya que el aporte de calor en la zona de corte modificaría la estructura del metal que es justamente lo que queremos evaluar.

La preparación de la muestra consiste en realizar un pulido de la misma tan perfecto como sea posible, pero dado el tamaño de la misma (en la mayoría de las veces del orden de 5mm) es necesario colocarla en algún tipo de soporte para su manipulación, es por ello que se procede a realizar este soporte en acrílico auto curable, esto consiste en colocar en un recipiente vacío la muestra y sobre la misma derramar una mezcla de polvo y líquido bien

mezclados de manera tal que tenga buena fluidez y la muestra quede embebida en la misma, tras una reacción exotérmica de unos 10 minutos aproximadamente el acrílico ya se encuentra en estado sólido.

Contando con el acrílico listo que contiene a nuestra muestra procedemos a realizar el pulido, el cual consta de 3 etapas:

En primera instancia haciendo uso de una lijadora de bandas con granulometrías distintas, específicamente 80 y 60, pasando de una a otra cuando la muestra de nuestro metal acuse en su superficie rayas en la dirección de movimiento de la banda. Es a través de esta primera etapa en donde conseguimos que la superficie de la muestra se encuentre totalmente plana y libre de impurezas, pero aun presenta una terminación muy basta.

La segunda etapa consiste en utilizar sobre la muestra lijas al agua con una granulometría mayor en forma manual, particularmente de 600, 1000 y 1200. El cambio de una granulometría a otra se hace cuando desaparecen las líneas provocadas por la medida anterior. Cabe destacar que al cambiar de granulometría a la muestra se la gira un ángulo de 90°.

La tercer y última etapa es la que le brinda a la muestra un pulido de calidad, consiste en colocar a la pieza con su respectivo soporte sobre un plato giratorio. Este plato está compuesto por una alfombra que contiene en su matriz una pasta de diamante, la cual se libera cuando a la misma se le coloca alcohol en abundancia de forma tal que toda su superficie se encuentre mojada.

El procedimiento de acción consiste en realizar movimientos en forma de círculos en sentido contrario al del giro del plato, esto es porque si nos quedamos en un único lugar sin movimiento, se genera en la muestra un efecto denominado “cola de cometa” que va generar inconvenientes en etapas posteriores. El proceso dura hasta que podamos ver una imagen lo suficientemente nítida como para distinguir claramente los objetos a nuestro alrededor a través del reflejo en la muestra metálica.

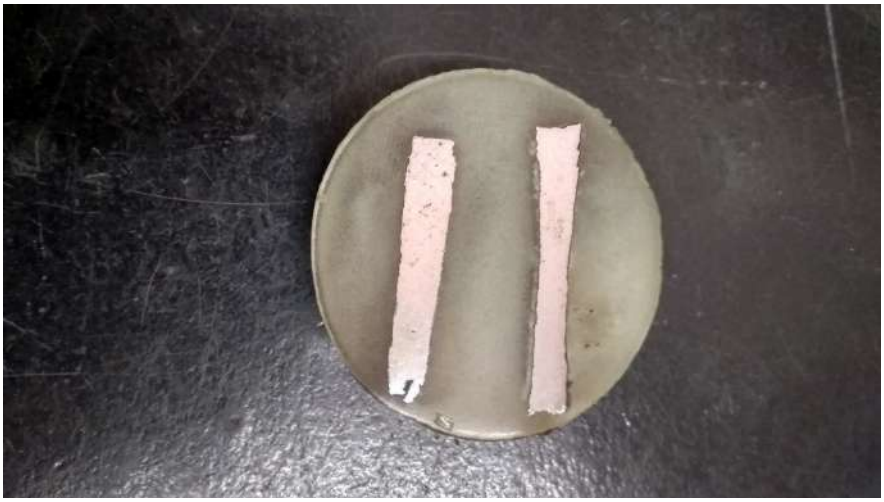


Imagen.13 - Soporte y muestra pulida.

Con las 3 etapas completadas estamos en condiciones de evaluar la forma, tamaño y distribución del carbono en nuestro material, que al ser fundición nodular deberíamos encontrar al mismo en forma de nódulos lo más esféricos posible y distribuidos uniformemente. El resultado fue el esperado y se puede ver en la imagen 14.

Si bien cómo se puede apreciar en la imagen 14, los nódulos no son perfectamente esféricos, presentan una geometría aproximada a esta además de una distribución aceptable, condiciones que indican que el material adquirió las propiedades mecánicas esperadas gracias a su poca interrupción en la matriz como se mencionó en el marco teórico.

Ya constatada la condición de los nódulos queda como última observación, para asegurar que la pieza cuenta con las condiciones aptas para su funcionamiento, el estado de la matriz. Para poder observar la estructura es necesario atacar la muestra con Nital, que es una solución de alcohol y ácido nítrico usada para ataque químico de metales, su composición es de alcohol en concentración del 97 % y ácido nítrico al 3 %.

Como se aprecia en la imagen 15, la estructura es la adecuada presentando a los nódulos embebidos en una matriz de ferrita y un fondo de perlita.

Al verificar las características de los nódulos y la matriz, así como también la dureza, estamos en condiciones de asegurar que la pieza cuenta con las propiedades mecánicas requeridas y comienza el proceso de embalaje para su despacho al mismo tiempo que se generan los

certificados.

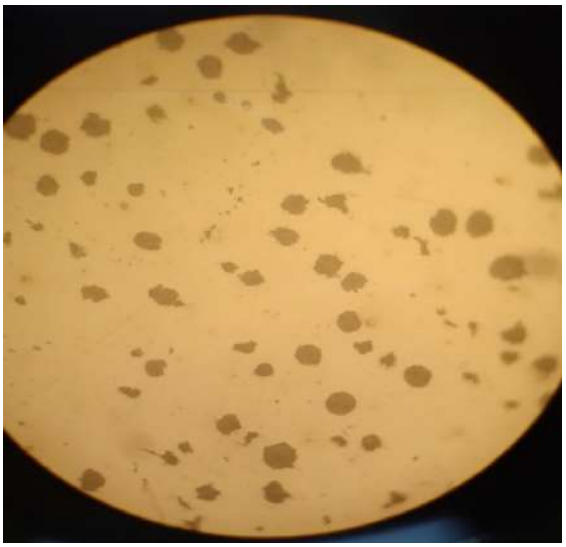


Imagen 14. Foto tomada del microscopio. Distribución y forma de nódulos.

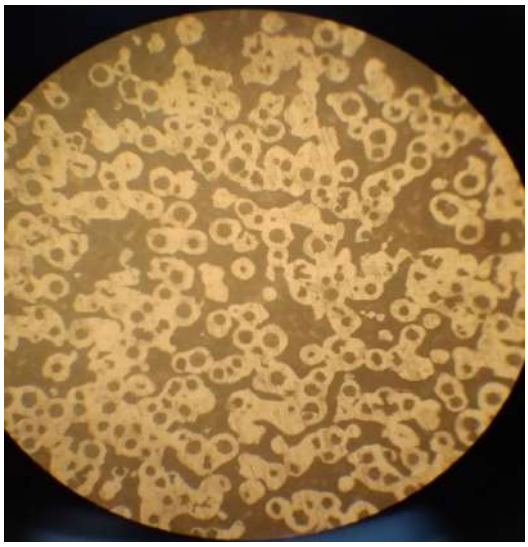


Imagen 15. Foto tomada del microscopio. Estructura de la fundición nodular.

Confección de certificados de calidad

Es el último paso, a través de estos certificados comunicamos a nuestros clientes las características de las piezas entregadas, las cuales son: Material de fabricación, Dureza, composición química (análisis espectrometrico), examen metalográfico, pieza fabricada con su correspondiente identificación, número y fecha de colada.

La finalidad de los mismos es garantizar a nuestros clientes la calidad del producto entregado. De no realizarse un registro de la composición química de cada colada (tarea descripta anteriormente a través de las medallas), sería imposible atribuirle la misma a la pieza que corresponde, imposibilitando garantizar a través de estos certificados la calidad de la pieza entregada.

Cabe destacar la importancia del examen metalográfico en aquellas piezas que sean sometidas a maquinado, ya que el mismo da información sobre las profundidades o limites sobre los que se podrá maquinar, límites establecidos por las características de los granos en cuanto a tipo y tamaño de los mismos. La información sobre el tipo y tamaño de los granos se obtiene mediante la realización de la metalografía y posterior comparación de la misma con diferentes patrones.

También se plasma en los mismos algunas características comerciales, estas son: Remito, orden de compra y numero de factura.

Vinculación del proyecto con las materias de la carrera

Dada la naturaleza de las actividades llevadas a cabo en esta industria, son muchas las cátedras en las que su contenido está ligado en mayor o menor medida a éstas.

Las mismas son:

- Materiales metálicos: Materia más importante en relación al área en donde desempeñe mis actividades, su contenido es útil en todo momento ya que cada etapa de fabricación del producto está planificada en base la conformación, colado y posterior tratado del metal. La interpretación de metalografías es contenido directo de la materia.
- Mediciones y ensayos: Entre otros el ensayo utilizado más conocido es el de dureza Brinell, el cual se le realiza a cada lote de piezas despachadas.
- Organización industrial: reflejada en la disposición de las distintas áreas de trabajo y su continua modificación en función de la pieza y el material en que se fabricara la misma.
- Mecánica de fluidos: Utilizada para entender la razón de ser de la forma que tienen los moldes, la cual contribuye al correcto llenado del mismo para distintos tipos de geometría y tamaños.
- Termodinámica: A través de la misma es que se explica el porqué de las diferentes propiedades de una pieza cuando la misma está construida en su totalidad con el mismo material, propiedades que varían en función de las distintas velocidades de enfriamiento.
- Tecnología del calor: Ídem anterior.
- Metrología e Ing. De calidad: Reflejada en el control dimensional de las piezas y en el sistema de gestión utilizado en la oficina de calidad.
- Tecnología de fabricación: Involucrada en los procesos de maquinado de las piezas a fin de remover bordes e imperfecciones propias de la colada, así como también en la preparación de medallas para su análisis y confección de metalografías
- Sistemas de representación: Interpretación de planos.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

Durante el desarrollo de mi PS logre verificar varios aspectos vinculados a como es la vida laboral del ingeniero, los cuales fueron anticipados en diversas cátedras durante mi paso por la casa de altos estudios, entre ellos:

- La importancia de la buena relación con los obreros, al fin y al cabo, son ellos quienes prestan la fuerza de trabajo para hacer posible cualquier objetivo planteado por la empresa. En los dos meses y medio que estuve allí presencié dos paradas de producción total debidas discrepancias entre la gerencia y los obreros.
- Lograr una correcta y fluida comunicación entre los diversos sectores de la empresa a fin de evitar malos entendidos que puedan llegar a parar la producción (incluso por detalles que no hacen a la esencia del proceso). A raíz de no lograr este aspecto la producción se paralizo durante 24hs, provocando problemas con la fecha de entrega del producto, además de tener que modificar gran parte del plan de acción estipulado.

Un aspecto a rescatar es la importancia que tiene la gestión de la información, llevar un registro de absolutamente todo, lo que nos permite ejecutar el plan de acción acordado de una manera mas ordenada, así como también ante la ocurrencia de algún problema, poder identificar de una forma mucho más rápida y sencilla cual es la causa del mismo.

Desde lo personal me llevo algunas lecciones por parte de los supervisores sobre el manejo de personal, cuestión que es tan importante como compleja.

El comportamiento proactivo y responsable me permitió caer en gracia a los supervisores y gerente, por lo que mi estadía en la empresa se hizo muy confortable.

La humildad, responsabilidad y compañerismo creo que son pilares fundamentales para trabajar en un ambiente optimo, que contribuya al buen funcionamiento de cada sector y que permita una idónea articulación con los demás, en pos de lograr los objetivos empresariales.

Dispositivo para medir la velocidad de un chorro

Alumno: Miguel Ángel Mangué Obama

Docente tutor: Ing. Juan J. Muriel

Introducción

El presente estudio trata sobre la posibilidad de medir indirectamente la velocidad de un chorro de fluido, aplicando el concepto de impulso y cantidad de movimiento.

La mayoría de los problemas de ingeniería, en particular los relacionados con el flujo de fluidos, pueden analizarse con la aplicación de uno de tres procedimientos básicos: los diferenciales, los experimentales y los de volumen de control.

En los procedimientos diferenciales, el problema se formula con exactitud con el uso de cantidades diferenciales, pero la resolución de las ecuaciones diferenciales resultantes es difícil, por lo general se necesita usar métodos numéricos con extensos programas de computadora.

Los procedimientos experimentales complementados con análisis dimensional son sumamente exactos, pero demasiado complicados y tediosos.

El procedimiento del volumen finito de control descrito en este informe es notablemente rápido y sencillo y suele dar respuestas bastante exactas para la mayoría de los propósitos de ingeniería. Pese a las aproximaciones con las que se relaciona, el análisis básico del volumen finito de control siempre ha sido un recurso indispensable para los ingenieros.

Objetivo general

Analizar la posibilidad de uso de un dispositivo de Impacto de chorro (Jet Impingement) construido en el laboratorio de combustibles a cargo del ing. Juan J. Muriel, para realizar ensayos de laboratorio relacionado con Impulso y cantidad de movimiento en chorro de fluidos.

Objetivo particular

Se pretende verificar la posibilidad de medir indirectamente la velocidad del chorro y redactar una guía de trabajos prácticos para su aplicación con fines académicos.

Marco de referencia

El marco de referencia sobre el que basamos el análisis considera la segunda ley de Newton, el Principio de Conservación de la cantidad del movimiento, la ecuación de Continuidad y el Teorema del transporte de Reynolds.

La segunda Ley de Newton

Expresa que la aceleración que experimenta un cuerpo es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él y es inversamente proporcional a su masa.

Para un cuerpo rígido de masa m, la segunda Ley de Newton se expresa como:

$$F = ma = m\frac{dV}{dt} = \frac{d(mV)}{dt}$$

Donde “F” es la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo y “a” es la aceleración de ese cuerpo bajo la influencia de “F”.

El producto de la masa y de la velocidad de un cuerpo “mV” se llama momento lineal o cantidad de movimiento de ese cuerpo.

El enunciado original de la segunda Ley de Newton establece que: La razón de cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta que actúa sobre él.

Este enunciado es más apropiado para usarse en la mecánica de fluidos cuando se estudian las fuerzas generadas como resultado de los cambios de velocidad de los flujos de fluidos.

Por lo tanto, suele hacerse referencia a la segunda Ley de Newton como la ecuación del momento lineal.

El principio de conservación de la cantidad de movimiento

Establece que su valor para un sistema se mantiene constante cuando la fuerza neta que actúa sobre él es cero.

Este principio es muy útil cuando se analizan distintos casos que involucren colisiones como las que se tienen entre pelotas y raquetas, entre moléculas. etc.;
Recordemos que al igual que la fuerza y la velocidad, la cantidad de movimiento es una magnitud vectorial y como tal tiene magnitud, dirección sentido y punto de aplicación.

La ecuación de continuidad

Aplicada a mecánica de los fluidos establece la relación existente entre la velocidad de circulación, la sección de flujo y el caudal del fluido.

El teorema del transporte de Reynolds

Nos proporciona la relación existente entre las razones de cambio respecto del tiempo de una propiedad extensiva para un sistema cerrado y un sistema abierto respectivamente.

Sistemas cerrados y sistemas abiertos

Con frecuencia, en Termodinámica y en Mecánica del Sólido, se trabaja con Sistemas cerrados, el cual se define y caracteriza por contener una cantidad de materia de masa fija.
En Mecánica de Fluidos es más común que se trabaje con un volumen de control (también conocido como un sistema abierto), el cual se define como una región en el espacio elegida para su estudio.
El tamaño y la forma de un sistema cerrado pueden cambiar durante un proceso, pero nada de masa cruza sus límites. Por el contrario, en un volumen de control (sistema abierto) se permite que la masa, entre o salga a través de sus límites, los cuales se conocen como superficies de control. Un volumen de control también puede moverse y deformarse durante un proceso, pero numerosas aplicaciones del mundo real se relacionan con volúmenes de control, fijos e indeformables.
En la figura 1 se ilustra un sistema cerrado y un volumen de control para un aerosol que se rocía desde un recipiente. El sistema cerrado representado en la figura “a” considera toda la masa de fluido y el volumen de control representado en “b” al volumen limitado por las superficies interiores de la lata.

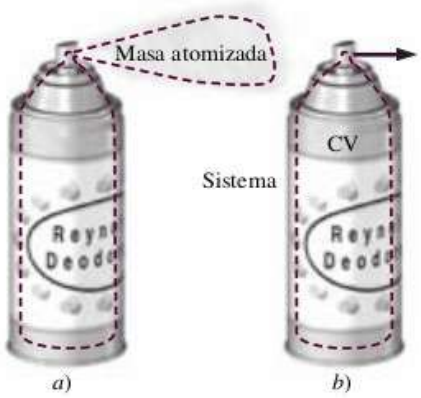


Fig.1 – Representación a)- sistema cerrado. b)- volumen de control.

Estas dos selecciones son idénticas antes de atomizar el desodorante. Pero cuando se descarga algo del contenido del recipiente, en el enfoque de sistema cerrado, se considera la masa descargada como parte de ese sistema y se le sigue el rastro (la masa del sistema permanece constante).

Desde el punto de vista conceptual, esto equivale a sujetar un globo sin inflar a la boquilla de la lata y dejar que el fluido atomizado lo infle. La superficie interior del globo ahora se convierte en parte del límite del sistema.

En el enfoque de volumen de control (sistema abierto) no se tiene interés en lo absoluto acerca del fluido que ha escapado de la lata (otro interés que no sea el de sus propiedades a la salida).

La masa encerrada en el volumen de control disminuye durante este proceso, en tanto que el volumen permanece constante.

Resumiendo, en el enfoque de sistema cerrado, se trata el proceso de atomización como una expansión del volumen del propio sistema, en tanto que en el de volumen de control se le considera como una descarga de fluido a través de la superficie de control de ese volumen que se considera fijo.

Elección del volumen de control

Un volumen de control puede seleccionarse como cualquier región arbitraria en el espacio por la cual el fluido se desplaza y su superficie limitante de control puede estar fija, en movimiento e inclusive deformándose en el curso del flujo.

La aplicación de una ley de conservación es sencillamente un procedimiento sistemático de contabilizar o tomar en cuenta la cantidad que se esté considerando y, por lo tanto, es en extremo importante que las fronteras del volumen de control estén definidas adecuadamente en el desarrollo del análisis.

Muchos sistemas de flujo incluyen accesorios en reposo, fijos a una superficie también estacionaria y la mejor manera de analizarlos es con el empleo de volúmenes fijos de control. Por ejemplo, cuando se determina la fuerza de reacción que actúa sobre un trípode que sostiene la boquilla de una manguera contra incendios (Figura 2), una selección natural del volumen de control es aquel que pasa perpendicularmente por el flujo de salida de esa boquilla y las patas del trípode.

Este es un volumen de control fijo y la velocidad del agua en relación con un punto fijo sobre el suelo es igual a la velocidad del agua en relación con el plano de salida de la boquilla.

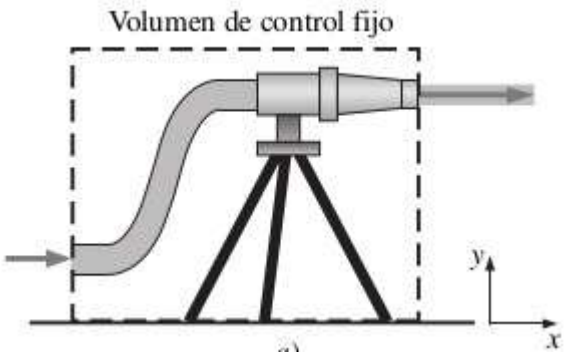


Fig.2 – Caso de Volumen fijo de control - Trípode que sostiene manguera de incendio.

Cuando se analizan sistemas de flujo que están en movimiento o deformándose, es más conveniente dejar que el volumen de control se mueva o se deforme. Por ejemplo, en la determinación del empuje producido por el motor de propulsión de un avión en vuelo de

crucero a velocidad constante, una elección adecuada del volumen de control, es uno que encierra al avión y corta pasando por el plano de salida de la tobera.

Fuerzas que actuan sobre un volumen de control

Es importante considerar todas las fuerzas que actúan sobre el volumen de control, tanto aquellas que actúan sobre todo el cuerpo encerrado en ese volumen (como la fuerza de gravedad, eléctrica y magnética), y las fuerzas superficiales, que actúan sobre la superficie de control (como la fuerza de presión, la viscosa, así como las fuerzas de reacción en los puntos de contacto).

En el análisis del volumen de control, la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el volumen de control en un instante en particular, se representa por F y se expresa como:

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_{cuerpo} + \sum \vec{F}_{superficial}$$

La ecuación del momento lineal

La segunda Ley de Newton para un sistema de masa m sometido a una fuerza neta F se expresa como:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{V})$$

Dónde “mV” es el momento lineal del sistema.

Considerando que, tanto la densidad como la velocidad pueden cambiar de punto a punto dentro del sistema, la segunda Ley de Newton se puede expresar de manera más general como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt}\int_{sist} \rho \vec{V}\, dV$$

Dónde:

- dm=ρdV es la masa del elemento diferencial de volumen dV.
- ρVdV es su cantidad de movimiento.

Por lo tanto, la segunda Ley de Newton puede enunciarse como la suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un sistema es igual a la razón de cambio respecto al tiempo del

momento lineal de ese sistema. Este enunciado es válido para un sistema de coordenadas que esté en reposo o se mueva con velocidad constante, conocido como sistema inercial de coordenadas o marco inercial de referencia.

Los sistemas en aceleración, como los aviones durante el despegue, se analizan de mejor manera con el uso de sistemas no-inerciales (o en aceleración) de coordenadas, fijos al avión.

La ecuación es para una masa dada de un sólido y es de uso limitado en la mecánica de fluidos, ya que la mayoría de los sistemas de flujo se analizan con el uso de volúmenes de control.

El teorema del transporte de Reynolds proporciona las herramientas necesarias para pasar de la formulación de sistema a la de volumen de control.

El teorema del transporte de Reynolds

La mayoría de los principios de la mecánica de fluidos se adoptan de la mecánica de los sólidos, en donde las leyes físicas que se refieren a las razones de cambio respecto del tiempo de propiedades extensivas se expresan para sistemas cerrados. En la mecánica de fluidos, con frecuencia es más conveniente trabajar con volúmenes de control y, por lo tanto, surge la necesidad de relacionar los cambios en un volumen de control con los cambios en un sistema cerrado.

La relación entre las razones de cambio respecto del tiempo de una propiedad extensiva para un sistema cerrado y para un volumen de control, se expresa por el teorema del transporte de Reynolds (RTT, Reynolds transport theorem), el cual proporciona el vínculo entre los enfoques de sistema cerrado y de volumen de control.

El teorema del transporte de Reynolds para el momento lineal en su forma general que se aplica a los volúmenes de control fijos, en movimiento o en deformación, establece:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} \, dV + \int_{SC} \rho \vec{V} \left(\vec{V}_r \cdot \vec{n} \right) dA$$

Que podemos enunciar como:

$$\begin{pmatrix} \text{La suma de todas} \\ \text{las fuerzas externas} \\ \text{que actuan sobre} \\ \text{un VC} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{La razón de cambio} \\ \text{respecto al tiempo del} \\ \text{momento lineal} \\ \text{del contenido de VC} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{El flujo neto del momento} \\ \text{lineal hacia fuera de la} \\ \text{superficie de control por} \\ \text{el flujo de masa} \end{pmatrix}$$

En aplicaciones prácticas relacionadas con fluidos circulantes, el fluido cruza las fronteras del volumen de control en una o más entradas y en una o más salidas, y lleva con él algo de cantidad de movimiento hacia dentro o hacia fuera de ese volumen.

Caso particular: En el caso de flujo estacionario en reposo, la magnitud de la cantidad de movimiento dentro del volumen de control permanece constante y, por lo tanto, la razón de cambio del momento lineal del contenido de ese volumen (el primer término de la parte derecha de la ecuación general) es cero. Esto da:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} \left(\vec{V}_r \cdot \vec{n} \right) dA$$

Factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento

La velocidad a través de la mayoría de las entradas y salidas de interés para la ingeniería práctica no es uniforme. Sin embargo, puede convertirse la integral de la superficie de control de la ecuación anterior en una forma algebraica, introduciendo un factor adimensional de corrección β, llamado factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento. Entonces, la ecuación para un volumen fijo de control se escribe como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{VC} \rho \vec{V} \, dV + \sum_{sal} \beta \acute{m} \vec{V}_{prom} - \sum_{ent} \beta \acute{m} \vec{V}_{prom}$$

Donde se aplica un valor único del factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento a cada entrada y cada salida en la superficie de control.

Para el caso de flujo uniforme sobre una entrada o salida será β=1

Para el caso general, se define β de tal manera que la forma integral del flujo de la cantidad de movimiento hacia adentro o hacia afuera de la superficie de control, en una entrada o

salida con área AC de la sección transversal, se pueda expresar en términos del flujo de masa ṁ a través de esa entrada o salida, y la velocidad promedio V prom a través de éstas:

El factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento, se calcula mediante:

$$\beta = \frac{1}{A_c} \int_A \left(\frac{V}{V_{prom}} \right)^2 d A_c$$

Analizando la expresión anterior resulta que, para cualquier perfil de velocidad que pueda imaginarse, β siempre es mayor que la unidad o igual a ésta.

Si consideramos el flujo laminar a través de una sección recta muy larga de un tubo circular resulta que el perfil de velocidad es parabólico, como muestra la figura 3.

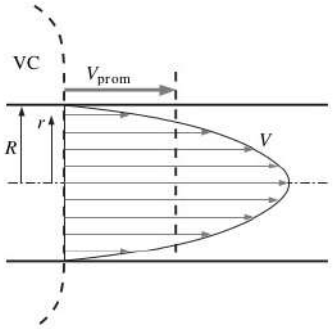


Fig.4 - Representación gráfica de flujo laminar.

En este caso resulta β=4/3 que se aparta bastante del valor unitario por lo que ignorar β en los cálculos, conduciría a un error importante.

Si se realiza el mismo tipo de integración para el flujo turbulento totalmente desarrollado, en vez de laminar, en un tubo se encontraría que ↑ va desde 1,01 hasta 1,04.

Dado que estos valores están tan cercanos a la unidad, normalmente se descarta el factor de corrección del flujo de la cantidad de movimiento en casos de flujo turbulento.

Es importante indicar que aun cuando se desprecie el valor de β en los cálculos del flujo turbulento por tener un efecto insignificante sobre los resultados finales, es conveniente mantenerlo en las ecuaciones correspondientes.

Hacerlo así no sólo mejora la exactitud de los cálculos, sino también sirve de recordatorio para incluir este factor cuando se resuelven problemas de flujo laminar en el volumen de control.

Flujos laminar y turbulento

Cuando un fluido está circulando, las características de las líneas de flujo permiten distinguir régimen laminar, de transición y turbulento.

Una sencilla experiencia de inyección de unas líneas de colorante en el flujo en una tubería de vidrio, como hizo el ingeniero Osborne Reynolds, se muestra en las figuras 5 y 6.

La experiencia permite verificar la presencia de dichos regímenes. Las líneas de colorante

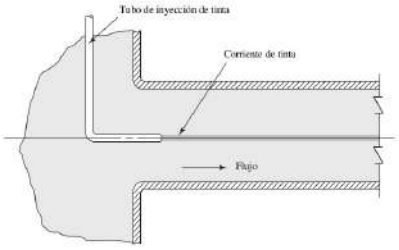


Fig.5 - Flujo laminar.

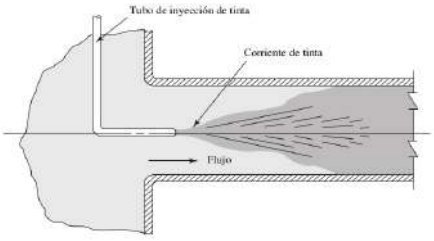


Fig.6 - Flujo turbulento.

forman líneas rectas y suaves a bajas velocidades cuando el flujo es laminar (es posible verlas un poco borrosas debido a la difusión molecular), presentan estallidos de fluctuaciones en el régimen de transición y zigzaguean rápida y aleatoriamente cuando el flujo se vuelve turbulento. Dichos zigzagueos y la dispersión del colorante son indicadores de las fluctuaciones en el flujo principal y la rápida mezcla de las partículas de fluido de capas adyacentes.

La intensa mezcla del fluido en el flujo turbulento como resultado de las rápidas fluctuaciones mejora la transferencia de cantidad de movimiento entre las partículas del fluido, lo que aumenta la fuerza de fricción sobre la superficie.

El flujo laminar es característico de fluidos muy viscosos, como los aceites.

Número de Reynolds

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos se descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como.

$$R_e = \frac{V_{prom} D}{v} \frac{Fuerza\, de\, inercia}{Fuerza\, viscosa}$$

Debido a que todas las unidades se cancelan, el Re es adimensional, donde Vprom=velocidad de flujo promedio (m/s), D=longitud característica de la geometría (diámetro en este caso, en m), $v = \mu/\rho$ =viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

Para flujo a través de tuberías, el número de Reynolds se basa en el diámetro hidráulico Dh, que se define como:

$$Dh = \frac{4A}{p}$$

Donde A es el área de sección transversal de la tubería y p es su perímetro húmedo. El diámetro hidráulico se define de modo que se reduce a diámetro común D para tuberías circulares:

$$Dh = \frac{4A}{p} = \frac{4(\pi \frac{D^2}{4})}{\pi D} = D$$

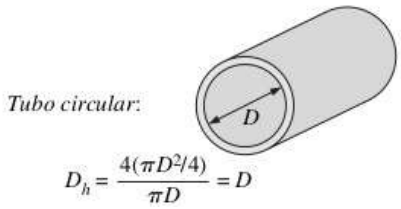


Fig.7 - Diámetro hidráulico para sección circular.

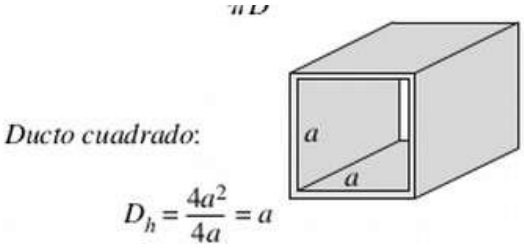


Fig.8 - Diámetro hidráulico para sección cuadrada.

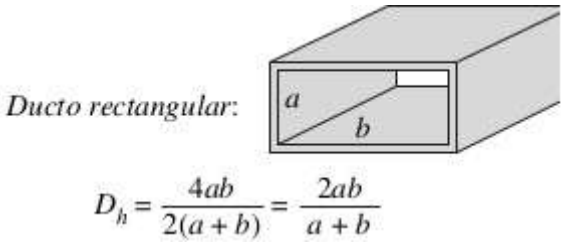


Fig.9 - Diámetro hidráulico para sección rectangular.

En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para Re menores o iguales a 2000, turbulento para Re mayores o iguales 4 000. Es decir:

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar.

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

Flujo estacionario

Si el flujo es estacionario en reposo, el término de la derivada respecto al tiempo se anula y queda:

Ecuación del momento lineal en flujo estacionario en reposo:

$$\sum \vec{F} = \sum_{sal} \beta \acute{m} \vec{V}_{prom} - \sum_{ent} \beta \acute{m} \vec{V}_{prom}$$

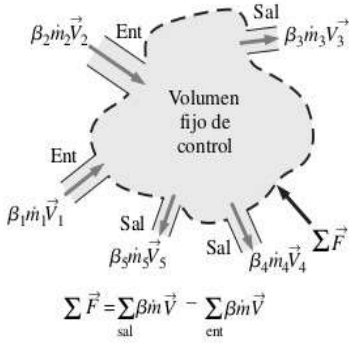


Fig.10 - Flujo estacionario caso general.

Donde se ha eliminado el subíndice “prom” de la velocidad promedio. Se puede expresar que la fuerza neta que actúa sobre el volumen de control en el curso del flujo estacionario

en reposo es igual a la diferencia entre las razones de los flujos entrantes y salientes de la cantidad de movimiento.

Flujo estacionario con una entrada y una salida

En muchos problemas prácticos intervienen sólo una entrada y una salida. El flujo de masa para esos sistemas de una sola corriente se mantiene constante entonces:

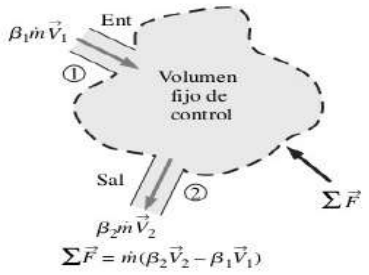


Fig.11 - Flujo estacionario con una entrada y una salida.

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1)$$

Como todas las relaciones antes dadas son ecuaciones vectoriales y, donde, todas las adiciones y sustracciones son vectoriales, recordando que al restar un vector equivale a sumarlo después de invertir su dirección. Asimismo, cuando se escribe la ecuación de la cantidad de movimiento a lo largo de una coordenada especificada (como el eje x), se usan las proyecciones de los vectores sobre ese eje. Se puede escribirse a lo largo de la coordenada x como:

A lo largo de la coordenada x

$$\sum F_x = \dot{m}(\beta_2 V_{2,x} - \beta_1 V_{1,x})$$

Donde ∑Fx es la suma vectorial de las componentes x de las fuerzas, y V2,x y V1,x son las

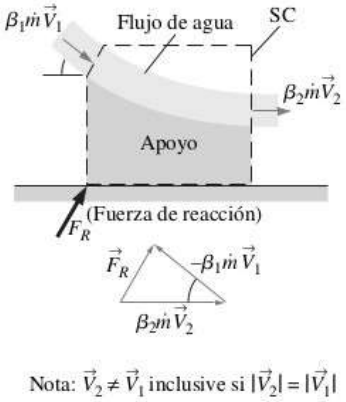


Fig.12 - Flujo estacionario bidireccional.

componentes x de las velocidades de entrada y de salida del flujo de fluido, respectivamente. Las componentes de la fuerza o de la velocidad en la dirección x positiva son cantidades positivas y aquéllas en la dirección x negativa son cantidades negativas. También, es una práctica adecuada tomar la dirección de las fuerzas desconocidas en las direcciones positivas (a menos que el problema sea muy directo). Un valor negativo que se obtenga para una fuerza desconocida indica que la dirección supuesta no es la correcta y debe invertirse.

Chorro fluido que choca contra una placa en reposo

Si se proyecta un chorro de fluido con una velocidad determinada mediante una boquilla y si se lo hace chocar contra una placa vertical en reposo, después del choque el chorro fluido se dispersa en todas direcciones en el plano de la placa.

Podemos determinar la fuerza del chorro de agua eligiendo un volumen de control que contenga la placa completa y corte normalmente el chorro de agua y la barra de soporte.

La ecuación general de la cantidad de movimiento para el caso planteado de flujo unidimensional resulta:

A lo largo de la coordenada x

$$\sum F_x = \acute{m}\left(\beta_2 V_{2,x} - \beta_1 V_{1,x}\right) F = \beta \acute{m} \vec{V}_1$$

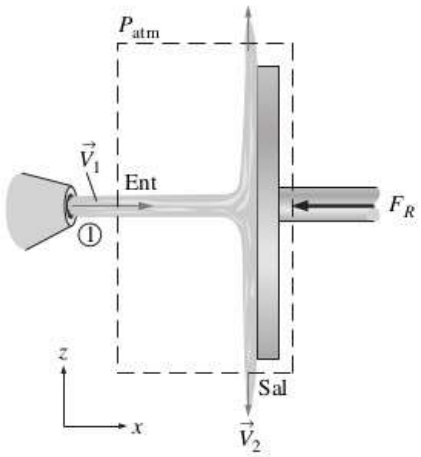


Fig.13 - Impacto de chorro de flujo unidireccional.

Considerando el signo negativo para la fuerza y considerando que V 1x =V 1 y V 2x=0 resulta:

Expresión que relaciona la fuerza ejercida por el chorro contra la pared con el caudal másico y la velocidad del chorro.

Dispositivo experimental

Se construyó un dispositivo en forma de cámara donde se puede proyectar un chorro de fluido sobre una probeta. El pico de proyección responde al diseño de "Solid Stream" o Chorro sólido, que garantiza alta coherencia y uniformidad del mismo.

El cuerpo principal de la cámara tiene una forma de prisma rectangular con una de sus caras vidriadas y una tolva inferior para colectar el fluido líquido proyectado.

Un recipiente cerrado externo, oficia de contenedor del fluido y está provisto de conexiones superiores para carga y presurizado del domo y una conexión tipo sifón para la salida del fluido a presión. Además, el citado recipiente está equipado con un instrumento para medir presión y una válvula de seguridad. Como fuente de presión se utiliza un tubo de Nitrógeno y una válvula reguladora de presión con rango 0-10Kg/cm^2.

Imagen.1 - Dispositivo experimental.

El fluido que sale del recipiente es filtrado y proyectado mediante una lanza contra la probeta a través de un pico de diámetro 300 a 500 micrones.

Imagen.2 - Interior de la cámara y las posiciones relativas del interior de la placa plana donde choca el fluido.

A los efectos de comprobar en la práctica la posibilidad de medir la velocidad del chorro a partir del Impulso generado por el mismo, se diseñó y construyó un mecanismo de balanza, solidario al eje del soporte de la probeta.

El mecanismo de balanza permite medir la fuerza del chorro, para luego, aplicando conceptos de Impulso y cantidad de movimiento, cuantificar la velocidad media del mismo.

El estudio teórico previo, permite predecir la fuerza de impacto sobre el blanco en función del diámetro del inyector y para distintas velocidades de proyección, como se muestra en el gráfico 1.

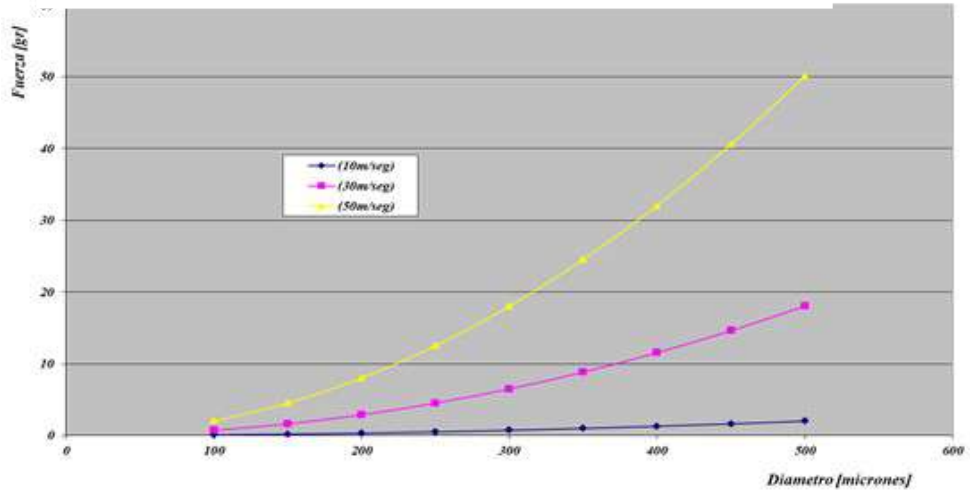


Gráfico.1 - Fuerza del impacto en función del diámetro del inyector para distintas valocidades del chorro.

Más aún las ecuaciones muestran que la fuerza de impacto aumenta con el cuadrado de la velocidad, esto también puede verse en el gráfico.

La implementación de la mencionada balanza, permite equilibrar el par generado por la acción del chorro (que actúa a una distancia “L1” del eje) mediante el desplazamiento de un peso “P” que se sitúa a una cierta distancia “L2” del eje de rotación.

Esquema simplificado, ver figura 14.

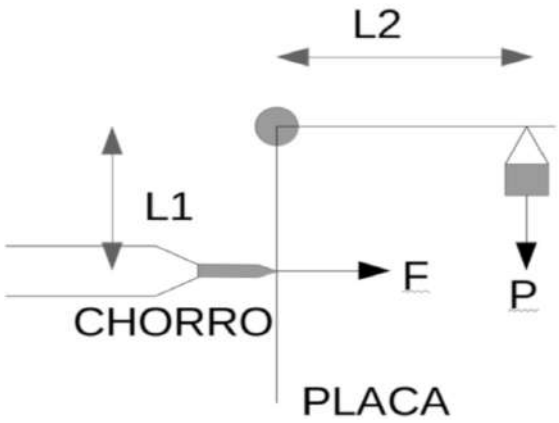


Fig.14 - Modelo esquemático del sistema en equilibrio.

Inicialmente se realizaron una serie de ensayos con el objetivo de verificar la sensibilidad y la repetitividad de la indicación de la balanza.

Luego de verificada esa condición se realizaron ensayos para medir la velocidad del chorro.

Simbología y unidades

- F= Fuerza
- m= masa
- v=velocidad
- t= tiempo
- V=Volumen
- ρ= Densidad
- A=Sección de flujo
- Q= Caudal volumétrico
- p= Presión
- P= Peso
- T= Temperatura absoluta
- R= Constante particular del gas
- L= Longitud

Condicionados por el instrumental disponible en el laboratorio trabajamos con unidades del sistema técnico.

Ensayo de la balanza

Datos del ensayo:

Fluido: agua

Diámetro del inyector ø = 300 micrones

Peso del elemento equilibrante P = 3gr

Distancia del inyector al eje L1 = 61mm

PRESION	**LONG DEL BRAZO L2 [mm]**		
[Kg/cm^2]	**Ensayo 1**	**Ensayo 2**	**Ensayo 3**
1	21	23	22
2	43	46	42
3	63,5	69	64
4	88	87	86
5	105	109	102
6	130	132	128
7	154	152	149
8	177	175	172
9	198	197	195
10	220	218	217

Tabla.1 - Datos

Veamos gráficamente (siguiente página)

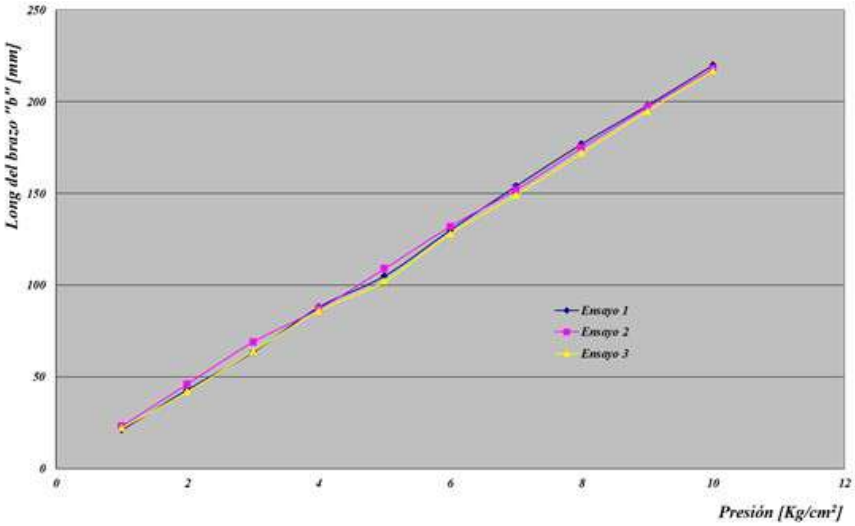


Gráfico.2 - Ensayo de repetitividad de la balanza.

Los ensayos realizados confirman una muy buena sensibilidad de la balanza que permite distinguir valores de 1/10 de gramo y una más que aceptable repetitividad de las medidas (sensibilidad y precisión) dos atributos para calificar un instrumento.

Determinación de la velocidad del chorro

A efectos de hacer una comparación experimental del método se procede a medir simultáneamente el caudal de fluido proyectado para finalmente calcular la velocidad del chorro según el impulso del mismo y mediante la aplicación de la ecuación de continuidad a la vena fluida, como se muestra en las imagen 3.

Imagen.3 - Dispositivo en funcionamiento de dos puntos de vista diferentes.

El dispositivo contiene al inyector y a la placa plana donde choca el corro de agua, esta placa está conectada con una regla que se coloca a nivel con un peso determinado para variar el momento que ejerce. En la imagen 3 a la derecha se puede ver la escala graduada donde se coloca el peso deslizante.

Se realizaron una serie de ensayos de caracterización del nuevo dispositivo utilizando agua coloreada como fluido proyectado, los cuales confirmaron la predicción teórica, mostrando una muy buena correspondencia con las medidas realizadas a partir de mediciones volumétricas, empleando conceptos de caudalimetría.

Importante: Todas las determinaciones se realizaron utilizando el equipo en régimen permanente.

Ecuaciones empleadas

Aplicando el concepto de impulso:

$$F = \beta \dot{m} V_x \qquad (1)$$

Por condición de flujo turbulento:

$$\beta = 1$$

Considerando régimen permanente:

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

Por flujo unidireccional:

$$V_x = v$$

Reemplazando en (1)

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} v \qquad (2)$$

Por definición de densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \Rightarrow \quad m = \rho V$$

Reemplazando nos queda:

$$F = \frac{\Delta(\rho V)}{\Delta t} v = \rho \frac{\Delta V}{\Delta t} v = \rho Q\, v$$

De acuerdo con la ecuación de continuidad:

$$Q = vA \qquad \Rightarrow \quad v = \frac{Q}{A}$$

Resulta;

$$F = \rho Q\, v = \rho A v^2$$

De donde:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

Aplicando la condición de equilibrio de momentos en la balanza

$$FL1 = PL2 \Rightarrow F = P\frac{L2}{L1}$$

Igualando las anteriores:

$$v = \sqrt{P\frac{L2}{L1}\frac{1}{\rho A}} \qquad (3)$$

Según la ecuación de estado para gases ideales:

$$pV = mRT \qquad \Rightarrow \quad \frac{m}{V} = \rho = \frac{p}{RT}$$

Esta última expresión permite hacer determinaciones de velocidad en chorros de un fluido gaseoso.

Datos del ensayo

- Ensayo realizado con agua coloreada.
- El diámetro del inyector es de ϕ=300 µm
- El volumen de control es de 200 cm^3
- El peso es de 10 gr
- L1=60,9 mm
- La sección de flujo es de 0,707mm^2

DATOS EXPERIMENTALES			
Presión	**Brazo "L2"**	**Tiempo**	
[Kg/cm^2]	**[mm]**	**[Min]**	**[Seg]**
0	0,0	0	0,00
1	21,0	4	3,93
2	43,0	2	50,22
3	63,5	2	16,20
4	88,0	1	57,89
5	105,0	1	46,31
6	130,0	1	38,33
7	154,0	1	30,75
8	177,0	1	24,50

Tabla.2 - Datos obtenidos experimentalmente.

El instrumento empleado en el laboratorio para medir la presión relativa de presurización del domo del depósito contenedor de fluido está graduado en Kg/cm^2

A partir de estos datos se pueden realizar cálculos de velocidad según los criterios anteriormente indicados.

La tabla 3 y los gráficos 3 y 4 muestran los resultados obtenidos.

VALORES CALCULADOS				
x CAUDALIMETRIA		x IMPULSO		
Caudal	Velocidad	Fuerza	Velocidad	Diferencia
[lt/h]	[m/seg]	[gr]	[m/seg]	[%]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,95	11,60	1,03	11,97	3,2
4,23	16,62	2,11	17,12	3,0
5,29	20,77	3,12	20,81	0,2
6,11	24,00	4,33	24,50	2,1
6,77	26,62	5,16	26,76	0,5
7,32	28,77	6,39	29,77	3,5
7,93	31,18	7,57	32,40	3,9
8,52	33,48	8,70	34,74	3,8

Tabla.3 – Valores calculados.

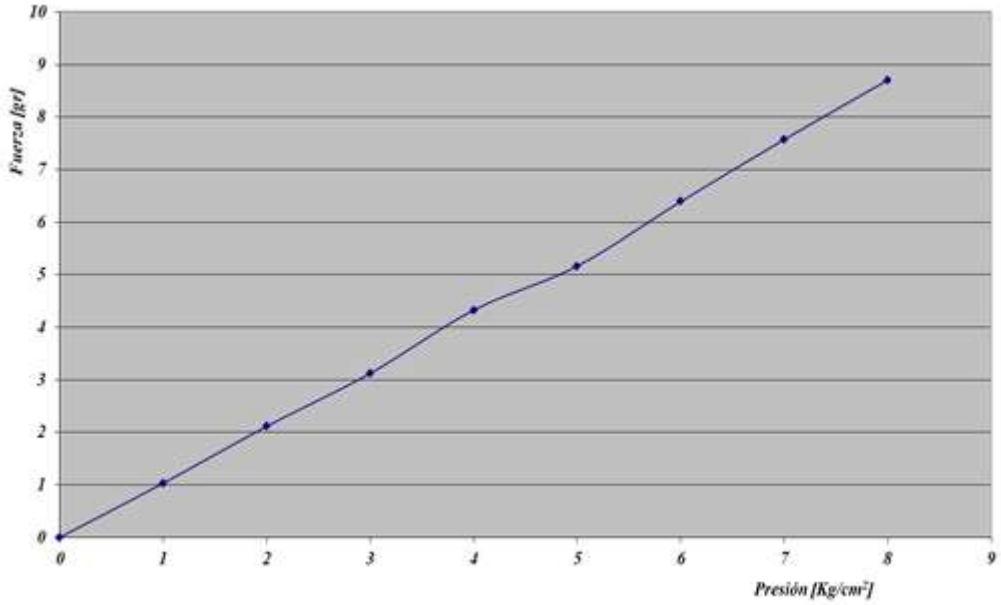


Grafico.3 - Fuerza vs presión.

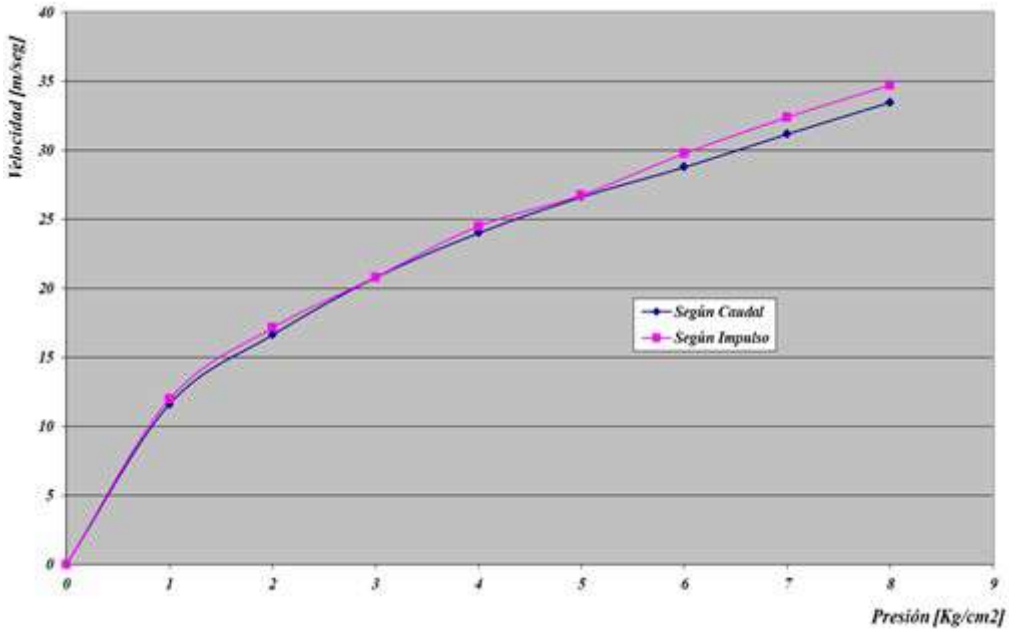


Grafico.4 - Velocidad del chorro vs presión.

Conclusiones

Los resultados obtenidos nos muestran una muy buena correspondencia entre las dos formas de medir la velocidad, observándose para estos ensayos una diferencia porcentual menor al 4%, lo cual permite indicar que son resultados coherentes, con el fin perseguido y que se encuadran dentro del error aceptado para un equipo de medición indirecta sujeto a una serie de errores operativos.

Proceso de control y medición de vehículos de competición

Alumno: Alexis E. Ribot

Docente tutor: Ing. Domingo A. Vergalito

Introducción

El presente proyecto se basa en el desarrollo de un proceso de control y verificación que determina un seguimiento de los vehículos de competición en el marco de un reglamento técnico preestablecido por una categoría y el ente fiscalizador. En este caso en particular, será la F.R.A.D (Federación Metropolitana de Automovilismo Deportivo), la encargada de intervenir en todas las competiciones de automovilismo a nivel regional.

Dentro de lo establecido, el objetivo es diseñar un plan de mantenimiento con un desarrollo de procedimiento estandarizado, para lograr emplear un mejor accionar donde especifique la tarea a realizar por los técnicos.

Se realizará un armado del plan de mantenimiento, contando con elementos de medición y calibración y llevando a cabo el plan mencionado inspeccionando y verificando que los vehículos estén determinados según normativa F.I.A (Federación Internacional de Automovilismo). Dicha normativa es la que rige la F.R.A.D y es homologada por dicha institución.

Se adjuntaran imágenes de los distintos equipos de medición que estarán establecidos en dicha planificación como así también los elementos y partes del vehículo. Todas con sus respectivas normativas que establece la F.I.A con respecto a la seguridad de los mismos.

Para lograr comprender mejor el tema en cuestión se abordará con más detalle en el marco teórico donde se centra la base de la investigación y desarrollo.

Marco teórico

En las competencias de automovilismo, cuando se desea que los competidores sean lo más parejos posibles, se los adecua a un reglamento técnico común para todos en el cual los preparadores de dichos autos no pueden vulnerar este documento.

Aquí se encuentran detalladas tanto las normas de seguridad que deben tener los competidores como así también las que deberá contener su estructura.

Por dicho motivo existe un departamento técnico que se encarga de inspeccionar y verificar que los mismos se encuentren dentro del reglamento vigente.

En los reglamentos se adjuntan:

- Planos de la estructura del vehículo con sus cotas y tolerancias.
- Planos y medidas tanto del motor como de su transmisión.
- Medidas, cantidades y tipos de fluidos que se deben utilizar.
- Materiales que pueden utilizarse, tanto en la estructura como en el motor y la carrocería.
- Tipos de vehículos permitidos.
- Sistemas de seguridad.

Plan de mantenimiento

Seguridad

Se realiza un control e inspección de las medidas de seguridad de la estructura según lo establece la norma F.I.A.

Canalizaciones y bombas

Las canalizaciones de aceite, agua y frenos, deben estar protegidas contra cualquier tipo de riesgo de deterioro (piedras, corrosión, roturas mecánicas, etc.) e internamente contra todo riesgo de incendio y peligro. Si las canalizaciones pasan por dentro del vehículo no podrán tener uniones salvo en los tabiques delantero y trasero donde se utilizaran conectores apropiados para dicho paso.

En caso de cañerías de combustible, las partes metálicas que están aisladas de la carrocería

por piezas o elementos no conductores, deben conectarse eléctricamente a ella.

Las mismas deberán soportar una presión mínima medida a una temperatura de trabajo establecida de:

- **70 bares (1000psi) y 135 ° C** para canalizaciones de combustibles (salvo las conexiones a los inyectores y el radiador de refrigeración en el circuito de retorno al depósito).
- **70 bar (1000psi) 232ºC** para canalizaciones de aceite lubricante.
- **280 bares (4000psi) 232 ° C** para fluidos hidráulicos sometidos a presión.

Corte automático de combustible

Todas las conducciones que alimentan el motor deben estar provistas con válvulas de corte automático situadas en el depósito de combustible con el fin de que cierre todas las canalizaciones en el caso de rotura o fuga. Las bombas de suministro del mismo debe funcionar cuando el motor está en marcha, salvo en el arranque.

Ventilación del depósito del tanque de combustible

Tanto el conducto de ventilación del depósito como las válvulas que enunciaremos a continuación, deben tener las mismas especificaciones que las conducciones de la gasolina y deben estar equipadas con un sistema que cumpla con las siguientes especificaciones.

- Válvula antivuelco activada por la gravedad.
- Válvula de ventilación del flotador.
- Válvula de sobrepresión de 200 mbar.

Tanque de combustible

Debe ser aprobado y homologado por la F.I.A.

Debe estar sujeto a la estructura del automóvil de forma segura. Debe contener un sistema de despresurización de gases y debe contar además con un cable de puesta a tierra a la estructura.

Sistema de frenado

Debe contar con doble circuito de freno accionado por el mismo pedal. Esto nos permite que en caso de tener una rotura en el conducto de frenado el vehículo, al menos, pueda frenar con dos ruedas y así lograr evitar un accidente mayor.

La sujeción del capot y de la tapa de baúl

En caso de tener vehículos carrozados, debe estar fijada de tal manera que no se logre desprender en medio de la competencia.

Fig.1 - Toyota Etios Turismo Nacional Clase 3

Arnés de seguridad

Es obligatorio el uso de arnés de seguridad en conformidad con la norma F.I.A 8853/98.

No se debe anclar el arnés de seguridad en las sujeciones del asiento o soportes del mismo.

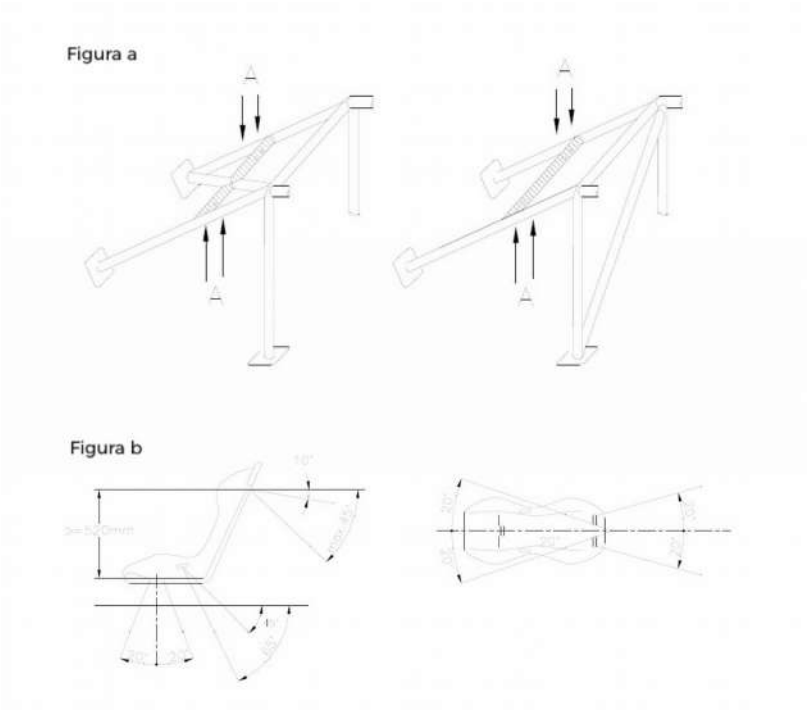


Fig.2a, 2b - Soporte trasero para arnés y posición de seguridad.

La banda de los hombros deben estar dirigidas hacia atrás y hacia abajo conformando un ángulo de 45° con la horizontal. Los ángulos máximos con relación al eje del asiento son 20° divergentes o convergentes. Las bandas abdominales y pélvicas, no deben pasar sobre los lados del asiento ni a través de los mismos, con el fin de envolver y sujetar la región inferior de la cadera con el mayor área posible.

Debe evitarse que las bandas se dañen al rozarse por el uso contra aristas vivas.

Las bandas de los hombros pueden fijarse a la estructura de seguridad o a una barra de refuerzo por medio de un lazo, o bien fijarse a los anclajes superiores de los cinturones traseros.

En este caso el uso del refuerzo transversal está sujeto a las siguientes condiciones:

El mismo debe ser un tubo de al menos (38mm x 2,5mm) o (40mm x 2mm) de acero al carbono estirado en frio sin soldadura, con una resistencia mínima a la tracción de 350 N/mm2. La altura de este refuerzo será tal que las bandas de los hombros estarán dirigidas hacia abajo y hacia atrás con un ángulo de entre 10° y 45° con la horizontal.

Desde el borde del respaldo, se recomienda un ángulo de 10°. Se debe sujetar las bandas

por medio de un lazo o por tornillos.

Estructura antivuelco de seguridad

Debe ser una estructura multitubular instalada dentro del habitáculo cerca de la carrocería con el fin de evitar una deformación importante del automóvil.

La estructura básica debe estar realizada de acuerdo a uno de los siguientes diseños:

1 arco principal + 1 arco delantero + 2 miembros longitudinales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclajes (Figura253-1); o 2 arcos laterales + 2 miembros transversales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclajes (Figura 253-2); o 1 arco principal + 2 semiarcos laterales + 1 miembro transversal + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje (Figura 253-3).

Fig.3 - Configuraciones de estructuras.

Las mismas deben estar fijadas a la carrocería por medio de bulones.

Las estructuras cuentan además con miembros y refuerzos obligatorios que serán agregados para mayor seguridad.

Especificaciones de los tubos utilizados

Se utilizaran caños de acero al carbono no aleado conformado en frio.

Su resistencia máxima a la tracción deberá ser de 350 N/mm2 y las dimensiones serán de 45mm de diámetro por 2,5mm de espesor. Otra medida aconsejable que podría utilizarse es 50 mm de diámetro por 2mm de espesor.

Sistema de extinción

Todos los participantes deben contar en su automóvil con un sistema de extinción manual y

uno automático con sus respectivas señalizaciones. Debe estar sujeto con dos abrazaderas metálicas y abulonado a la estructura del vehículo. Debe indicarse con una señalización desde afuera del habitáculo.

Se requiere el uso de matafuego con espuma sintética tipo AFFF (Aqueous Film Forming Foam). El sistema de extinción automático debe poder accionarse desde el exterior y debe contar con 2 (dos) cañerías:

Una que se encuentre dirigida hacia el depósito de combustible y otra dirigida hacia el sistema de alimentación del mismo.

Cinta para remolque

El vehículo debe contar con una cinta sujeta a la estructura, con el fin de poder auxiliarlo en caso de una avería durante la competencia.

Ventanillas y redes

Sera de uso obligatorio el uso de parabrisas tipo triplex (Laminado) y una red interna sujeta a la estructura tubular, con el fin de evitar lesiones en los competidores.

Vestimenta

Sera importante que el participante cuente con buzo anti flama, capucha, guantes, remera, medias y ropa interior). Toda esta indumentaria debe ser de carácter ignifugo, y debe estar homologados por la F.I.A. Además de estos elementos, el piloto deberá contar con casco de competición con su respectivo protector cervical. Estos últimos regidos bajo las normas dichas anteriormente.

Cortacorriente de seguridad

El mismo deberá estar tanto dentro, como fuera del habitáculo, y debe poder anular el suministro eléctrico en caso de incendio. Debe contar con la señalización en el exterior del vehículo.

Butacas, puntos de anclaje y soportes

Las butacas deben estar homologadas según FIA (norma 8855/1999 o 8862/2009). El soporte de los asientos debe estar fijado:

1. Sobre los anclajes de los asientos utilizados en el vehículo de origen.
2. Sobre los anclajes homologados por el constructor.

Los soportes de los asientos deben fijarse por medio de 4 bulones de 8 mm de diámetro como mínimo.

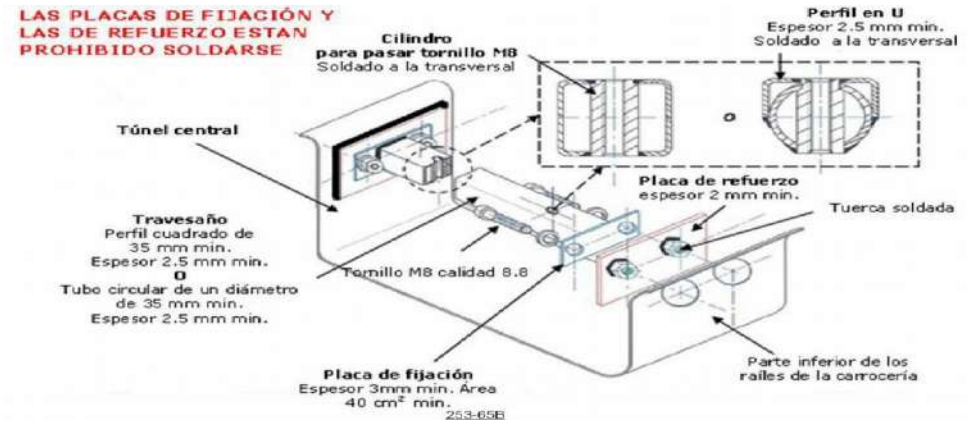


Fig.4 - Fijación del asiento.

Elementos de medición

- Máquina de compresión (Lisso)
- Calibre Digital de 150mm y calibre de profundidad de 150mm.
- Rugosimetro, medidor de espesores, Tintas penetrantes.
- Fuente elevador de tensión 12V-220V
- Cinta métrica.
- Plantillas homologadas (Patrones)
- Galgas y medidores de interior.
- Balanza electrónica de medida de tara (500 kg a 10 Tn).
- Reloj comparador de 15 mm de rango.
- Reloj medidor angular.
- Termómetro digital y/o manual.

- Balanza electrónica de 40kg de tara.
- Balanza electrónica de 10kg de tara.
- Calibre de trocha y distancia entre ejes.

Procedimiento técnico de control previo

Una vez realizada la inspección de todos estos ítems pasamos a realizar la práctica de Tintas penetrantes sobre las uniones soldadas. En caso de un accidente, debe repetirse este procedimiento para verificar que la estructura no haya sufrido graves averías.

Este procedimiento consta en aplicar, en las zonas donde se encuentran las intersecciones de los caños, aerosoles especiales que se encargan de revelar las imperfecciones. Esto nos determinará si la estructura esta apta para su función y así poder habilitarse para la competición.

El siguiente procedimiento a controlar será la pared de la jaula antivuelco mediante un medidor de espesores. Por medio de este método podemos determinar el espesor de pared de la estructura y garantizar su viabilidad.

Procedimiento técnico de control final (tareas a realizar)

Una vez finalizado el evento se lleva a cabo el desarme total del vehículo, tanto del motor, como de las partes constructivas para controlar sus medidas. Según sea el evento, se realiza el siguiente procedimiento de control

PARAMETROS	CLASIFICACION	SERIE	FINAL
Control de los parámetros de seguridad	ídem	ídem	ídem
Peso del vehículo	SI	SI	SI
Control de las dimensiones del mismo	SI	SI	SI
Control de la compresión del motor	NO	NO	SI
Control de la suspensión y frenos	SI	SI	SI
Medición del motor y transmisión	NO	NO	SI
Análisis del combustible	SI	SI	SI
Control de los neumáticos	SI	SI	SI

Motor

1. **Compresión**

La verificación será realizada con la máquina (LISSO) y los datos serán cargados por el comisario técnico. Se le realiza una declaración jurada al participante acerca de la ficha técnica del motor (Cilindrada unitaria), para proceder a cargar los datos y realizar la medición. Una vez realizada la misma, se prosigue con el análisis de control.

2. **Tapa de cilindros, válvulas y conductos**

Las partes del motor deben ser las originales del auto o las que presente el reglamento. Debe tener definido el tipo de material, el número de serie de la pieza y debe conservar tanto la geometría como la originalidad superficial. Para determinar este elemento utilizaremos el rugosímetro que nos será de utilidad para analizar los parámetros de la pieza (siempre y cuando la misma tenga que ser la original y no pueda modificarse).

Por otro lado, las válvulas deben ser del material y geometría propuestos por el reglamento. Deben contener tanto las medidas como las tolerancias para poder ser analizados por el personal técnico.

Para medirlas utilizaremos un calibre digital de 150mm y tomaremos las medidas de la parte superior de la válvula (Diámetro de cabeza) y de la longitud total de la misma. También analizaremos las dimensiones del diámetro del vástago.

3. **Block de cilindros**

Para la verificación del block del motor vamos a realizar tanto las medidas del diámetro del cilindro, como de la longitud recorrida por la carrera del mismo. Para ello vamos a necesitar de un calibre digital, medidores de interior y un calibre de profundidad. Las medidas deben ser las declaradas por el participante antes de realizar la medición de la compresión.

Con el medidor de interiores, se toma la medida del diámetro del cilindro y luego con el calibre digital de 150mm., se toma la lectura del mismo. Para determinar la carrera del motor, utilizaremos el calibre de profundidad y para llevar a cabo el procedimiento debemos posicionar al motor en punto muerto inferior (P.M.S) colocando la herramienta en el plano del block de cilindros. Se ubica el calibre en la parte superior del pistón y se toma la medida. Estos parámetros nos permitirán calcular el valor de la cilindrada unitaria.

4. **Árbol de levas**

Si el presente reglamento cuenta con medidas estándares, las mismas deben ser calculadas como estipula dicho documento. El árbol de levas es un elemento que permite accionar la apertura y cierre de las válvulas, para determinar el completo funcionamiento.

Para realizar la medición, utilizamos un soporte diseñado y homologado por el ente fiscalizador, el cual nos garantiza que la dirección longitudinal no nos afecte a la hora de medir. En dicho soporte se encuentra un alojamiento para colocar el reloj comparador, con el cual se medirá la ¨alzada de leva¨ que es la medida que se encuentra dada desde donde comienza el círculo base, hasta donde se encuentra la cresta de la misma.

5. **Pistón, biela, pernos y aros**

El pistón, según sea el reglamento técnico, puede llegar a tener distintas configuraciones que pueden influir en el rendimiento del motor. Como primera medida se debe tener en cuenta la posición y la geometría del mismo. Además debe especificar la cantidad de alojamientos para los aros, tanto como así, el peso neto del mismo. La medida del alojamiento del perno y del pistón, también deben tener medidas y deben ser tenidas en cuenta al momento de la medición.

Para ello basta con utilizar el calibre digital de 150mm y la balanza electrónica de 10kg para determinar las características de este elemento.

Los aros deben especificar; cantidad, tipo de material y espesor máximo permitido.

Los pernos del pistón deben especificar cantidad, tipo de material y medidas tanto internas como externas. Todos los elementos mencionados deben contener tanto cotas como tolerancias admitidas.

Las bielas deben estar determinadas por las medidas, mediante un plano con cotas y tolerancias. Además debe especificar tipo de material y peso del elemento.

Las dimensiones a tener en cuenta son:

- Medida de entre centro de biela, (Tomada desde el centro de la cabeza hasta el centro del pie)
- Medida del diámetro de la cabeza.
- Medida del diámetro del pie.

- Peso de la misma.

Transmisión

Elementos de medición

- Reloj comparador.
- Medidor angular.

Generalmente para controlar la caja de velocidades, se procede a realizar un desarme del conjunto transmisor para verificar que tanto el material como el número de dientes de cada engranaje sean los estipulados por el reglamento técnico.

Podemos utilizar el medidor angular, sin necesidad de realizar un desarme del vehículo o para una verificación rápida del elemento.

El mismo nos indica la cantidad de grados que la transmisión posee, en una determinada marcha, según la relación de diferencial que tenga el mismo.

Ejemplo

- **Relación de diferencial**: 61/15= **4,066**
- **Marcha de velocidades**: Primera marcha 47/21= **2,238**
- **Angulo** = (5 / 2,238 x 4,066) x360°= **197,80°**

El valor angular será 197,80° que marcará la aguja del medidor angular.

Suspensión

Elementos de medición

- Calibre digital de 150mm
- Plantillas
- Cinta métrica.

1. **Suspensión**

Debemos verificar las características de los amortiguadores y sus respectivas medidas sujetas al reglamento que estemos fiscalizando. Dentro de los tipos de amortiguadores que podemos encontrar se encuentran:

- Bitubo (No presurizado)
- Bitubo (Presurizado)
- Monotubo

Existen en el mercado fundamentalmente dos tipos de amortiguadores hidráulicos telescópicos: los de doble tubo (o bitubo) y los de un solo tubo o monotubo.

La inevitable presencia del vástago hace que las secciones de trabajo a ambos lados del pistón sean distintas. Si el amortiguador se comprime, la presión en la cámara inferior disminuye y el volumen aumenta en la cámara superior, por lo que necesariamente, debe existir un espacio que reciba el volumen del líquido desplazado por el vástago.

En el diseño tradicional bitubo, este espacio se dispone concéntricamente con el cilindro entre el tubo externo llamado cárter (o cámara de reserva) y el cilindro de trabajo. Existen válvulas en el pistón y en la base del tubo interno llamadas (válvula de pie).

Sobre el líquido existe una cámara con gas que compensa las variaciones de volumen. Son los más comunes en la actualidad.

2. Frenos

Las líneas de frenado, además de tener las conexiones como se mencionó anteriormente en las medidas de seguridad, deben tener especificaciones con planos y cotas de medidas para garantizar la seguridad y la paridad entre los participantes. En caso de poseer un sistema con disco de freno y pastillas se deberá tener en cuenta:

- Discos: deberán especificar sus medidas y tolerancias como así también su forma y material. Además se deberá aclarar si los mismos son ventilados o no. Para estudiar si el disco de frenos está en el marco del reglamento medimos el ancho del disco y su distancia radial.
- Pastillas: estas deben especificar tamaño y tipo de compuesto permitido por la categoría.

Resultados y conclusiones

Durante el estudio y análisis de todos los factores tenidos en cuenta hasta el momento, se llegó a la conclusión de que es fundamental y de gran importancia contar con una planificación en la realización de tareas para establecer un orden adecuado y garantizar un exitoso control en el evento.

Se pretende que con lo propuesto se mejore la viabilidad del proceso de control técnico, tanto en lo que corresponde a las cuestiones de seguridad, como a las dictaminadas por el reglamento técnico.

De esta forma se consigue que, al momento del evento, el responsable técnico tenga los procedimientos determinados por dicha planificación y se procese una mejora en la viabilidad del accionamiento.

Es de gran importancia tener en cuenta las medidas de seguridad en las carreras de velocidad, por el motivo explícito del riesgo que existe en este tipo de competencias.

Esta planificación será de gran utilidad para establecer tiempos de control específicos y mejorar las condiciones de funcionamiento.

Vinculación de la práctica con materias de la carrera

Respecto a las materias vinculadas con la carrera se destacan:

- **Mantenimiento Mecánico**, evaluando y mejorando la calidad de los vehículos de competición, controlando que se encuentren en condiciones óptimas en cada evento.
- **Metrología e ingeniería de Calidad**, está determinado por el proceso de control y medición de los distintos elementos del vehículo; carrocería, estructura, motor y sus elementos.
- **Ingeniería ambiental y seguridad industrial**, está determinada por los procesos de seguridad dichos anteriormente, en este caso se encuentran los sistemas cortacorriente, los extintores, la ergonomía del conductor.
- **Elementos de máquinas**, para comprender y analizar los distintos elementos que intervienen en un conjunto de máquinas y entender su funcionamiento.
- **Maquinas alternativas y Turbo máquinas**, para comprender los distintos tipos de

motores que existen y sus principales características.

• **Automotores**, para analizar en su totalidad el comportamiento de un vehículo tanto sea en su geometría constructiva, como en el análisis de funcionamiento del mismo.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

El desempeño de un buen accionar desde el punto de vista técnico, es fundamental para garantizar un evento seguro y adecuado. El ente fiscalizador deberá sancionar y actuar de oficio en cuanto se produzca una irregularidad con alguno de los participantes. Una falta de control o una mala inspección, puede ocasionar accidentes no deseables que pueden lograr evitarse.

Diseño y construcción de un intercambiador de calor CHILLER

Alumno: Maximiliano Detena

Docente tutor: Ing. José Cordero

Introducción

En el presente trabajo comenzaremos a diseñar un intercambiador de calor (Chiller), en él se desarrollará desde el comienzo la creación de todos los componentes para la construcción realizado en la empresa COOPERTEI. Podremos observar detalladamente cada una de las partes que lo conforman con sus respectivos planos y realizando a la par un ensamblaje del intercambiador de calor de forma virtual para una óptima visualización de todas las partes que lo conforman y de allí poder evacuar dudas de su construcción.

Marco teórico

El intercambiador funcionara a una presión de 19,3 kg/cm^2 y una temperatura de servicio de -30° C.

Este intercambiador estará compuesto por dos circuitos, un caño de 8” y un caño de 6” ubicado dentro del caño de 8”. Dentro del caño de 6” circulara el fluido (en este caso parafina) y entre el caño de 6 y el de 8 circulara agua.

En un extremo se unirá el circuito mediante cabezales, en el cual pasarán un sistema de rascadores que moverán el fluido del interior del caño. Y en el otro extremo se unirá el circuito mediante codos.

Así mismo se entiende que el lector del trabajo tiene el grado de calificación necesaria de antemano para entender teóricamente un intercambiador de calor y no realizar un extensivo trabajo sumando la parte teórica correspondiente a los intercambiadores.

Hay que destacar que la construcción del intercambiador no necesariamente se terminara en las 200 horas correspondiente al periodo del convenio, de modo que, al término de la

pasantía realizada en la empresa, la construcción real del intercambiador quede sin completarse.

Desarrollo

Para orientar al lector y poder visualizar el intercambiador de calor, comenzaremos con una ilustración de un intercambiador similar que ha entrado a la empresa para realizar un mantenimiento (ver ilustración 1).

Ilustración.1 - Intercambiador de calor para mantenimiento.

Caños de 8 pulgadas

Para comenzar con la construcción de un intercambiador de calor se procede, como hemos nombrado en la introducción, a realizar los planos correspondientes a los caños de 8”. Inicialmente se croquizo el caño eligiendo el material, la cantidad y sus correspondientes tolerancias para poder introducir dentro de él de forma concéntrica el caño de 6“.

Para estos caños se utilizará un material ASTM A53/106 con tolerancia en longitud de ±1mm y en diámetro de ±0.5 con un Schedule normal (40). Se procederán a cortarlos en longitud a 12750mm y se construirán 14 caños de manera que el intercambiador quede conformado por 2 columnas y 7 filas.

Para poder entender de una manera correcta la construcción del intercambiador se procede a dividir el intercambiador nombrando cada extremo como la zona donde van las juntas de expansión y del otro extremo la zona donde irán las reducciones (ver ilustración 3). Para luego poder contar que los caños de 8”se unen de forma paralela al otro caño de 8”, esa unión se realiza a través de un caño de 4” y en la zona donde van las juntas de expansión estos caños irán unidos en posición horizontal y en la zona de las reducciones se conectaran de manera vertical.

En la ilustración 2 se puede observar a la izquierda la zona de las reducciones y del lado derecho la zona de la junta de expansión

En la ilustración 3 se puede observar la disposición de los caños de 8” como quedarían al conectarse debiendo cumplirse como condición esencial una distancia de 381mm entre centros de caños.

Ilustración.2

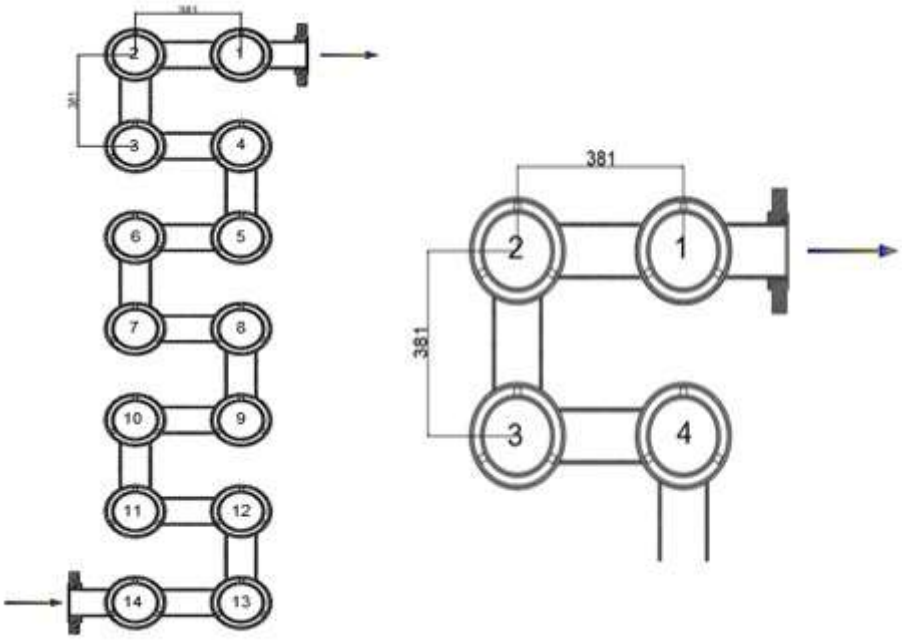


Ilustración.3

Esta disposición que se aprecia en la ilustración 4 sirve además para determinar que caños se construirán iguales para lograr un ahorro de tiempo

Para la construcción de estos caños se utilizará el mismo plano propuesto en el anexo 5.1 teniendo en cuenta la disposición del haz tubular nombrada anteriormente.

Caños de 6 pulgadas

Para la construcción de los caños de 6 pulgadas procedemos a realizar los planos. El material a utilizar será el mismo que los de 8”, estos serán ASTM A53/106 con tolerancia en longitud de ±1mm y en diámetro de ±0.5 con un Schedule normal (40).

Se procederá a cortar los caños a una longitud de 13500mm y a diferencia de los caños de 8”, estos se construirán los 14 caños iguales.

Estos caños llevaran soldados en disposición radial, unos tacos del mismo material con una longitud de 31mm y 5/8” de ancho y 5/8” de altura.

Estos tacos cumplen la función de sostener el caño cuando se introduzca de forma concéntrica dentro del caño de 8”.

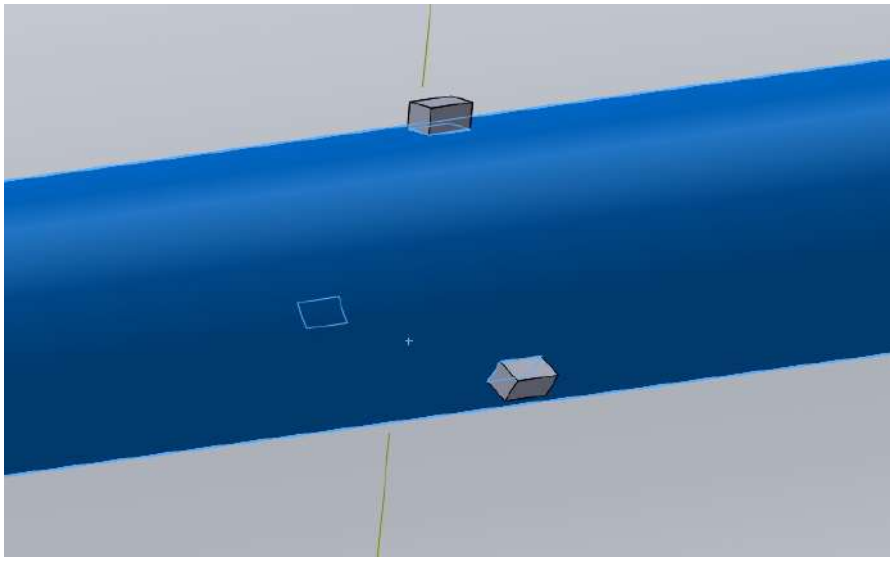


Ilustración.4 - Disposición tacos de los caños de 6 pulgadas.

En una nota aclaratoria hay que destacar que del lado de las juntas de expansión el taco se suelda a una distancia de 1000mm y luego el resto si irán a 3000mm, esto se debe a que en

construcciones anteriores del lado de las juntas de expansión ha surgido pequeñas deformaciones del caño.

En el anexo 5.2 se puede observar cómo queda el plano final para su construcción.

Caños de 4 pulgadas

Estos caños se utilizan para unir los caños de 8 pulgadas tanto verticalmente como horizontalmente, al tener que cumplirse la misma distancia de 381mm entre centros, estos se construirán 13 caños iguales.

Serán del mismo material utilizado en los caños anteriormente descriptos y las cotas del caño se sacan mediante la distancia sobrante desde el punto medio entre los caños de 8 pulgadas como se puede apreciar en la ilustración 5.

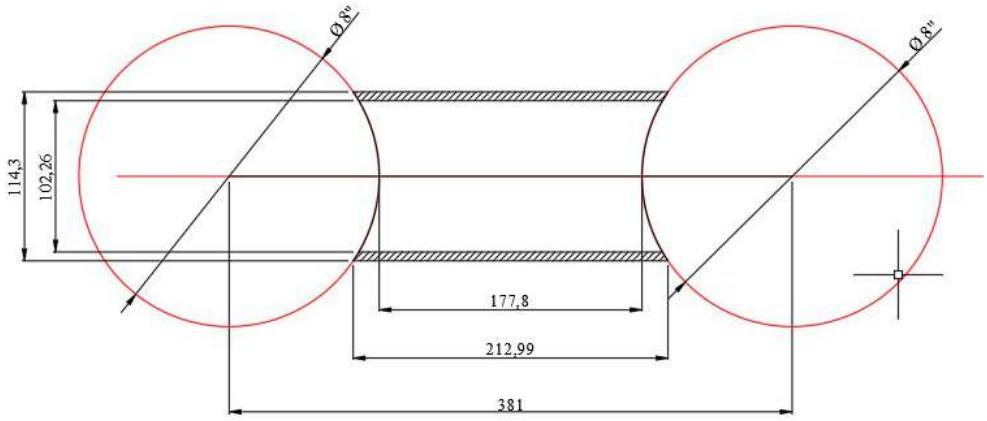


Ilustración.5

Reducciones

Las reducciones son para unir los caños de 6” con los caños de 8” mediante una soldadura.

Luego de realizarse la soldadura se debe hacer un plaqueo a toda la soldadura y corroborar una unión optima.

Podemos ver en la ilustración 6 como quedaría un modelado 3d de la reducción

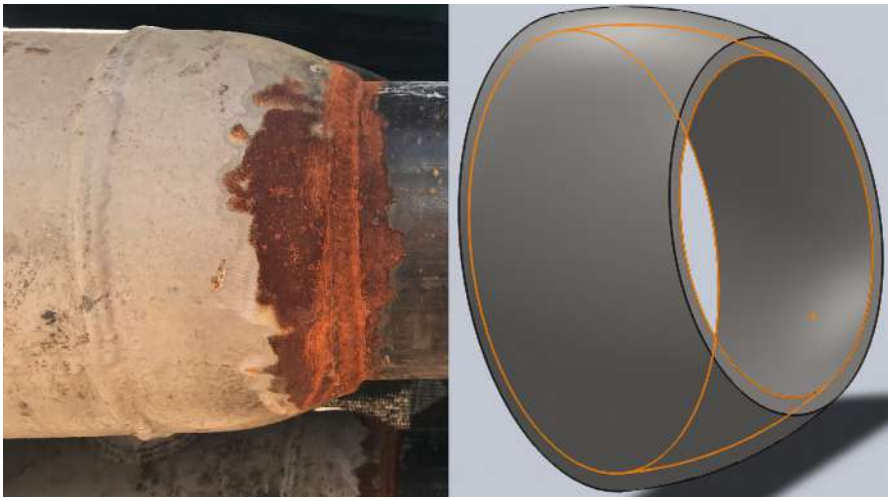


Ilustración.6

Para poder realizar un ensayo radiográfico optimo se debe realizar la soldadura entre la reducción y el caño de 8”, realizarse el ensayo y luego si, introducir el caño de 6”, soldarlo y realizarle el ensayo a dicha soldadura, esto es debido a que, si se realizaran las dos soldaduras juntas, al realizarle el ensayo radiográfico el caño de 6” entorpecería el ensayo.

En la ilustración 7 se puede observar la soldadura realizada primeramente entre la reducción y el caño de 8”.

Ilustración.7

Juntas de expansión

Del mismo modo que de un extremo llevan las reducciones, en el otro extremo llevan las juntas de expansión, estas juntas permiten absorber algún movimiento del caño generado por el propio fluido sin dañarse la estructura.

En la ilustración 8 del lado izquierdo se puede observar una junta real de un intercambiador y del lado derecho la misma modelada en 3d.

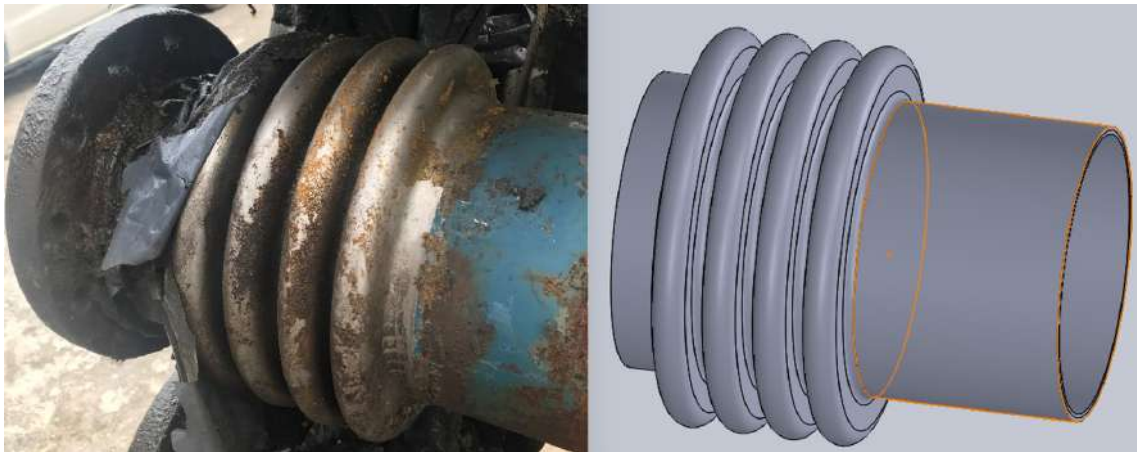


Ilustración.8

Bridas de 6 pulgadas

Las bridas se colocan en los extremos de los caños de 6”, tanto del lado de la junta de expansión como del lado de las reducciones. Estas se utilizan para poder introducir los cabezales y los codos. Las bridas utilizadas son bridas slip on standard 6”#300RF.

Podemos observar en la ilustración 9 como quedaría la brida en un modelado 3d.

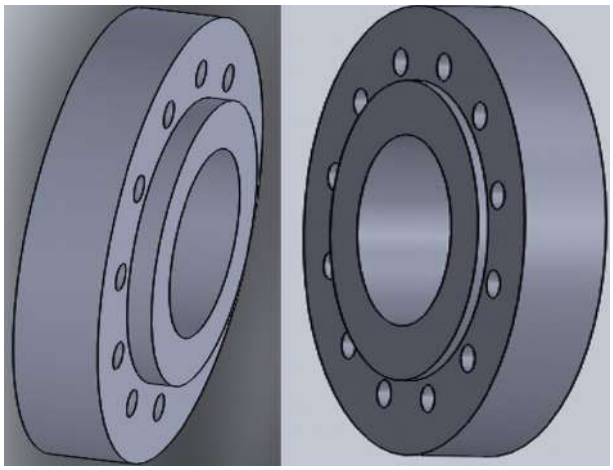


Ilustración.9

Una vez nombrado todas estas partes se procede al ensamblaje entre caños mediante el caño de 4”, manteniendo siempre la distancia entre centros de 381mm.

Una ilustración 10 puede verse como quedaría un ensamblaje de dos caños de 8” mediante el caño de 4” y en ellos se puede observar además las reducciones de un lado, las juntas de expansión y en ambos las bridas para poder colocar los cabezales más adelante.

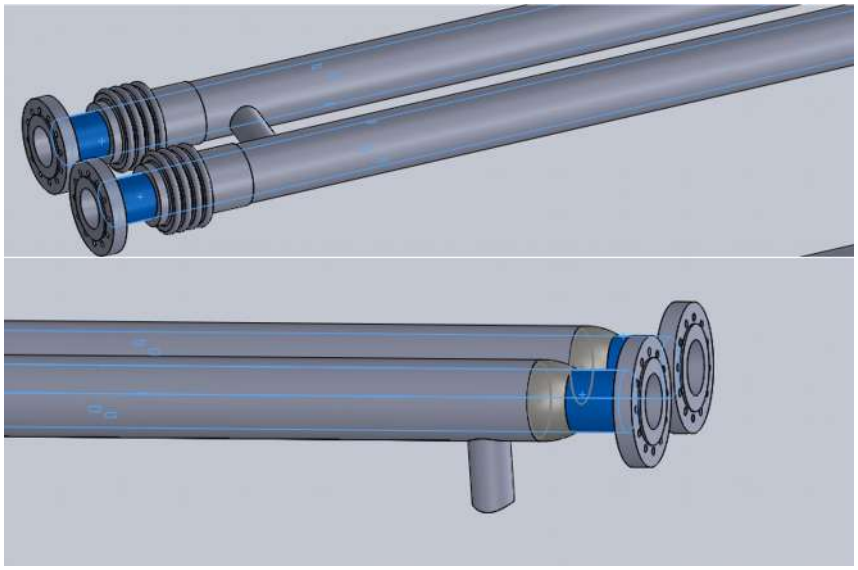


Ilustración.10

En el anexo 5.4 se podrá observar el plano para construir las bridas de 6 pulgadas.

Base

Para seguir con el ensamblaje se debe comenzar a realizar las bases, de manera de sostener la estructura tubular.

Estas bases se construyen con perfiles UPN 160, se construirán 4 columnas de perfiles y cada columna se colocarán dos perfiles del lado interior y dos perfiles externos. Entre el perfil externo y el interno pasara el caño de 8”, es decir, deberá tener una distancia de 219,1 mm (diámetro exterior) y cruzara un caño de 3/8” para apoyar el caño de 8”.

Para poder observar estas distancias se realizó un plano el cual se muestra en la siguiente ilustración 11.

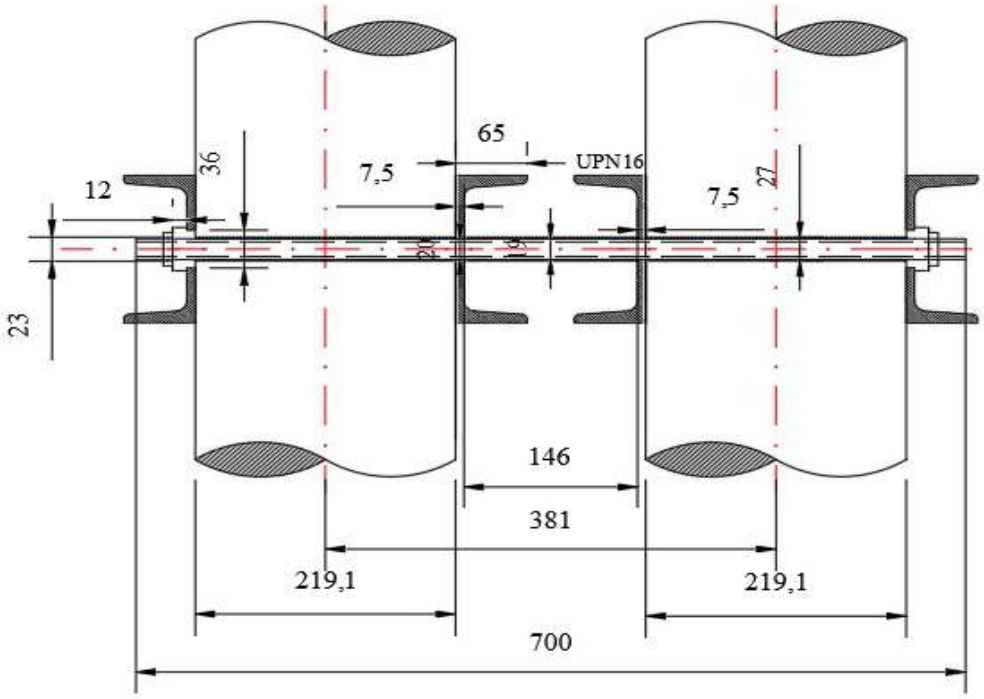


Ilustración.11

En la ilustración 12 podemos observar la disposición de los perfiles de una columna

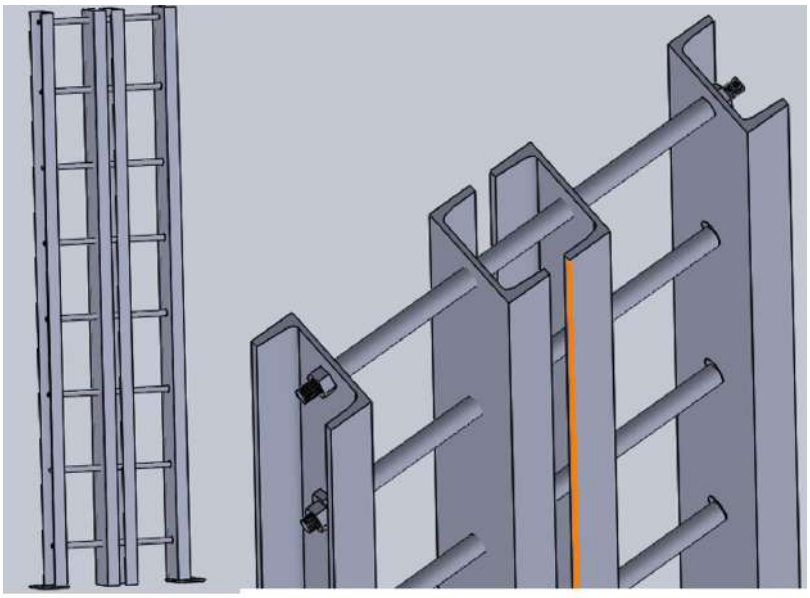


Ilustración.12

Para introducir los caños de 8” y que queden nivelados, en los apoyos de ¾” se colocan una excéntrica, de manera que al ajustar la tuerca el apoyo se mueva verticalmente y podamos nivelar cada uno de los pares de caños.

En el anexo 5.5 podemos observar los planos de los perfiles de las bases para su construcción.

En la ilustración 13 podemos observar cómo quedaría la excéntrica individualmente y, del lado derecho, ya colocada en los apoyos.

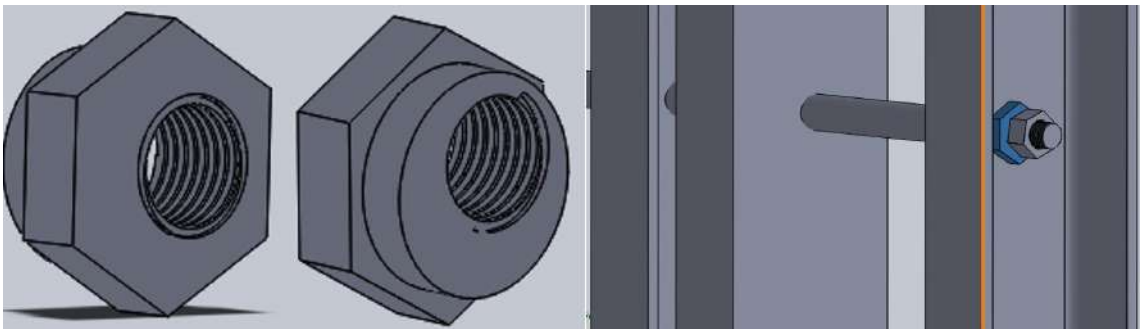


Ilustración.13

Una vez construidas se fijan a la base del piso mediante unas placas colocadas en los perfiles exteriores, una vez con toda la base terminada y amurada al piso se procede a colocar los caños.

En la ilustración 14 se muestra como quedaría en su totalidad con las bases terminadas y las 2 columnas con sus correspondientes 14 filas de caños conectadas con los caños de 4” de manera horizontal y vertical respectivamente.

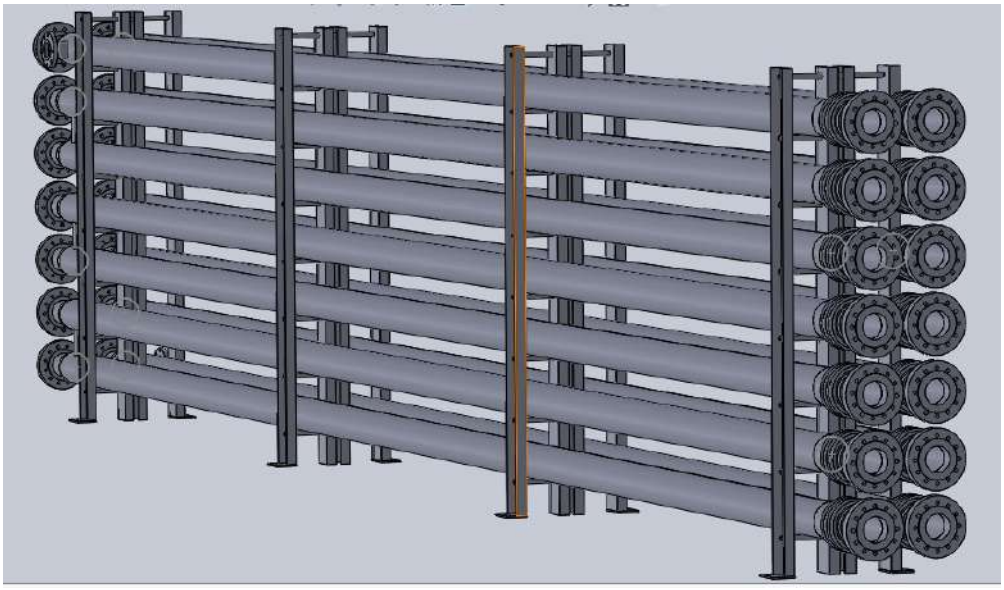


Ilustración.14

Lanzas

Las lanzas están equipadas por un sistema de botadores el cual tiene la función de rascar el fluido introducido con un rascador que debe ir rozando el diámetro interior del tubo de 6”.

Estas lanzas cubren en longitud la totalidad de los caños de 6” y están compuestas por dos lanzas distintas.

I) Las lanzas primarias (las de las puntas)

II) Las lanzas secundarias (intermedias)

Estas dos lanzas se unen mediante un eje y buje dejando entre medio una rueda de modo que sirva para que las lanzas queden concéntricas en el diámetro interior del tubo de 6”.

Lanzas primarias

Primero se realiza la parte central, donde se podrá ver los agujeros de 31mm de diámetro en el cual pasarán los botadores y agujeros de 14mm de diámetro el cual se utilizarán pasantes que unirán la lanza con el eje comando a través de un soporte.

En la ilustración 15 se puede observar cómo queda un modelado 3d de la lanza primaria.

Para la construcción de estas lanzas se dispone el plano en el anexo 5.6.

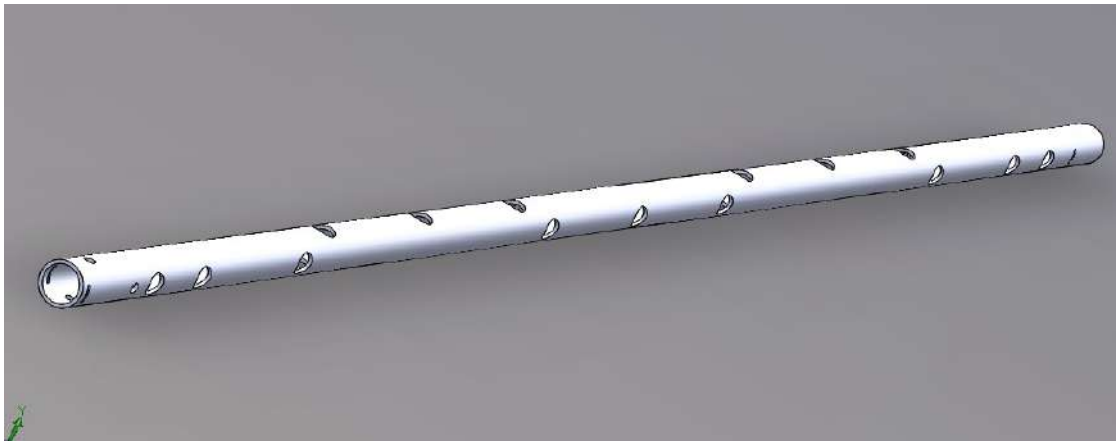


Ilustración.15

Luego con el caño de la lanza ya construido, se procede a construir los botadores.

En la ilustración 16 se puede observar todo el sistema de botadores.

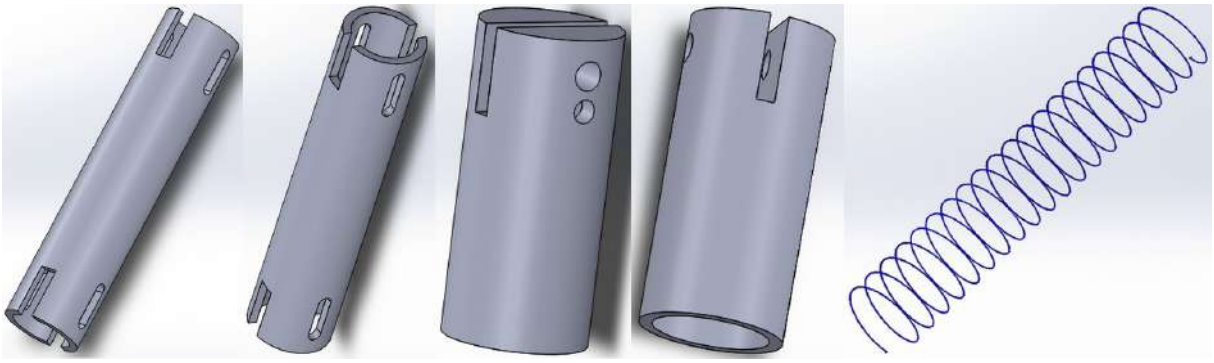


Ilustración.16

Por último, antes de proceder con el ensamblaje se fabrica un rascador, el cual se detalla en el anexo 5.6, el material con el que se fabrica es Latón ya que cumple la función de rascar el

fluido pegado en las paredes interiores del caño de 6 pulgadas siendo un material más blando que el caño.

Una vez con todas las partes, se procede al ensamblaje cumpliendo las cotas mencionadas en el plano del anexo 5.6

En la ilustración 17 y 18 se puede observar el ensamblaje de la lanza con los botadores.

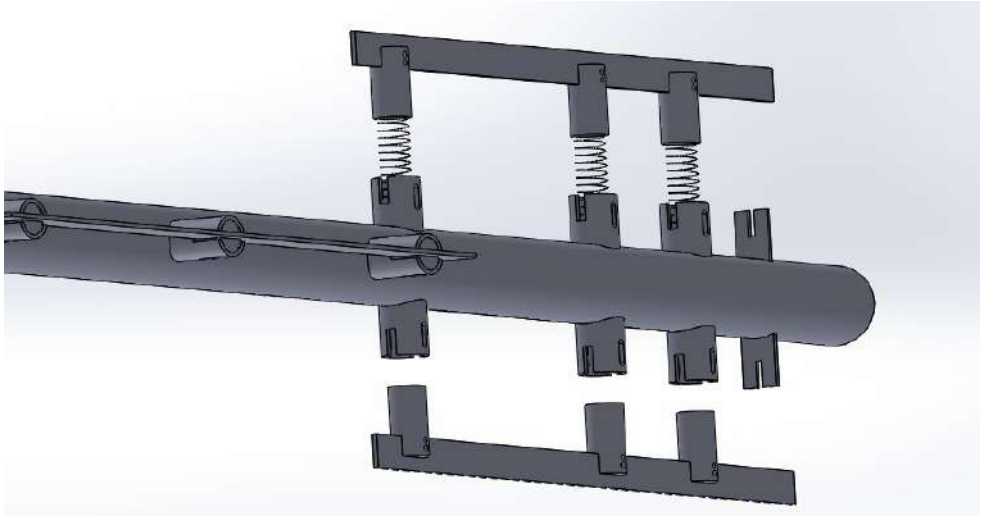


Ilustración.17

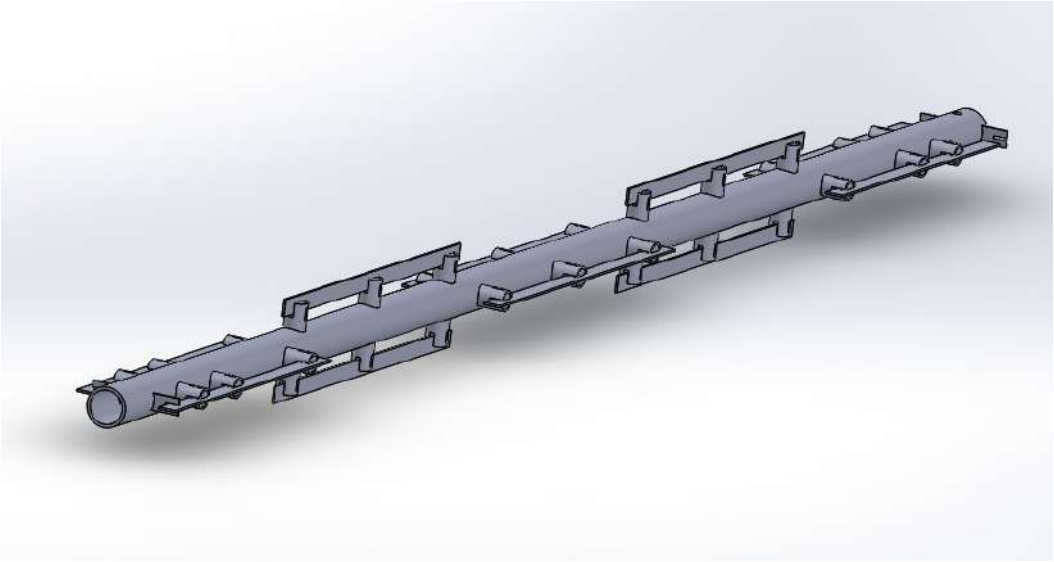


Ilustración.18

Lanzas secundarias

Una vez construidas las lanzas primarias, de manera similar se procede a construir las lanzas intermedias, la diferencia entre ambas lanzas está en que las intermedias los extremos tienen los agujeros para poder conectar lanza con lanza a través de un buje y eje.

Estos extremos se pueden ver en la ilustración 19, a la izquierda se observa el extremo de la lanza primaria el cual no lleva agujeros porque en ella se soldará el soporte con el eje comando y a la derecha el extremo de las lanzas secundarias con sus respectivos agujeros para su unión entre lanzas.

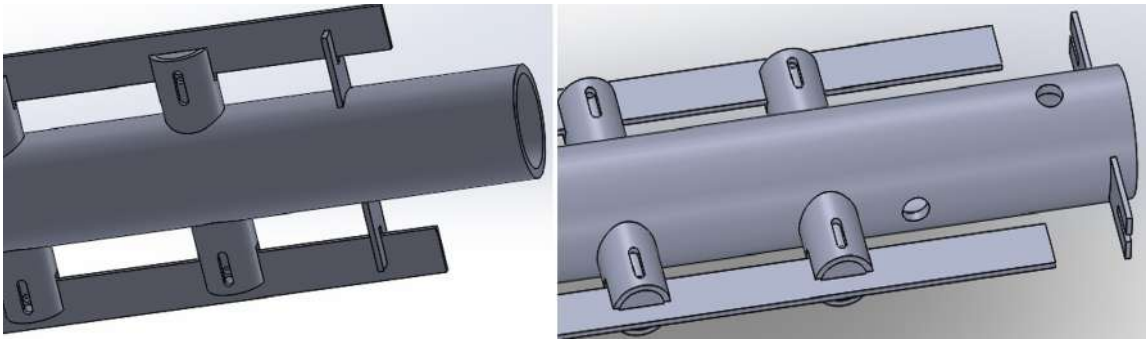


Ilustración.19

Unión entre lanzas

Como hemos nombrado anteriormente estas lanzas se conectan mediante un buje y eje, se coloca una rueda el cual se introduce concéntricamente y simétricamente en el eje, esta rueda tiene la función de nivelar las lanzas para que su movimiento rotatorio en el diámetro interior del tubo de 6” no sea desbalanceado.

Este sistema de buje, eje y rueda se puede apreciar en la ilustración 20 respectivamente.

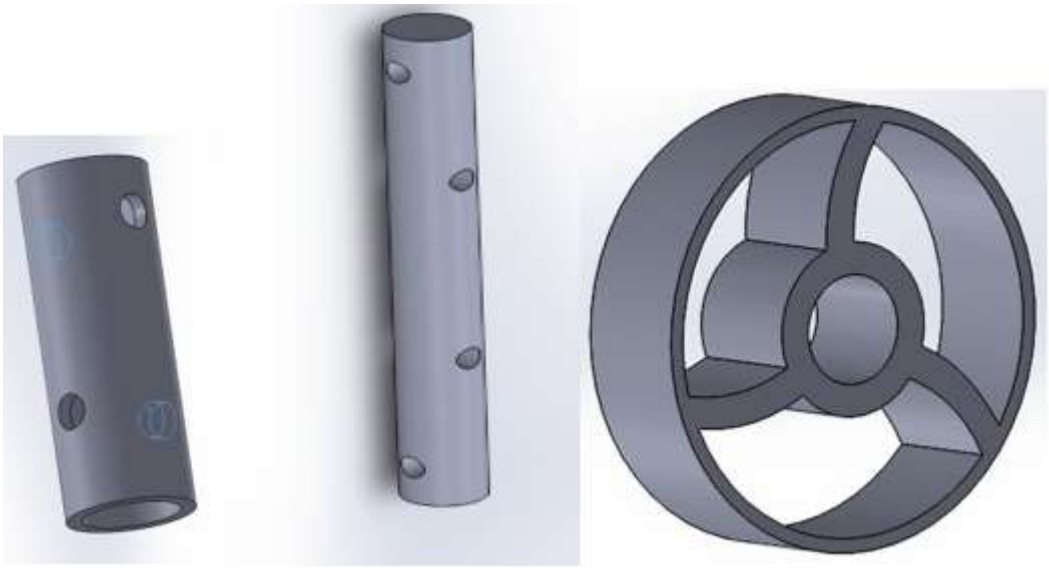


Ilustración.20

Una vez presentado todas las piezas de unión entre lanzas, se procede al ensamblaje entre ellas.

Se puede observar en la ilustración 21 un despiece concéntrico de la unión entre lanzas. Y en la ilustración 22 la unión terminada.

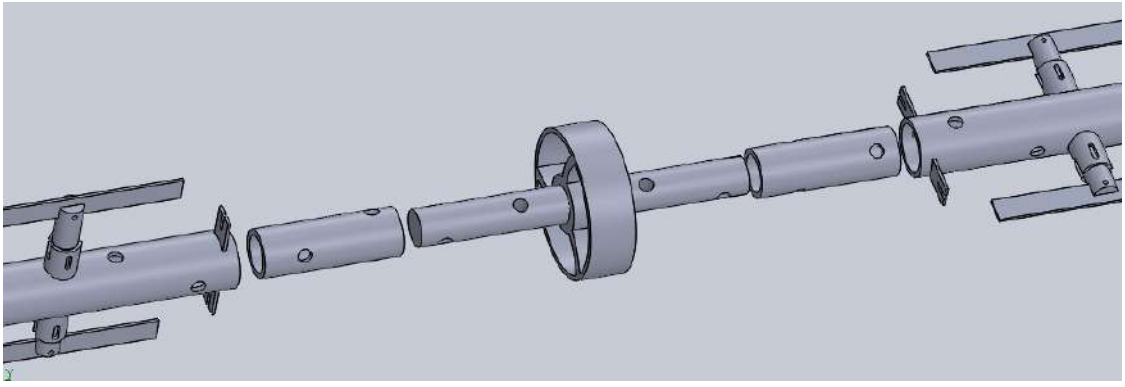


Ilustración.21

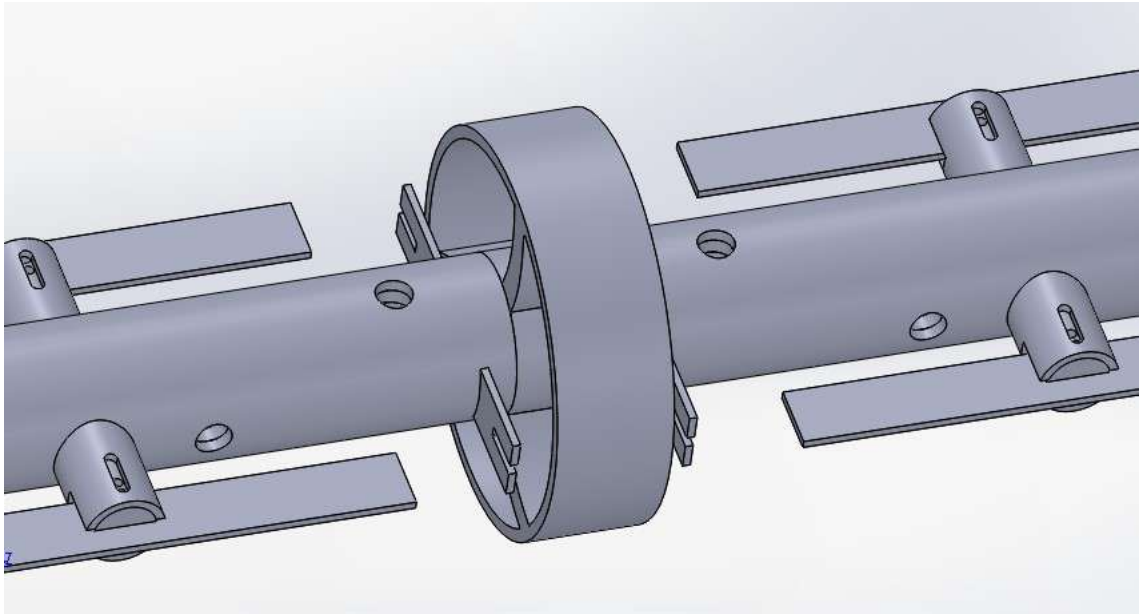


Ilustración.22

Ensamblaje entre lanzas

Una vez visto su conexión, estas lanzas se unen hasta cumplir la totalidad en longitud del caño de 6”, es decir se unirán 5 lanzas por cada caño, siendo 14 los caños tendremos un total de 70 lanzas.

En la ilustración 23 se puede observar cómo quedarían unidas las 5 lanzas.

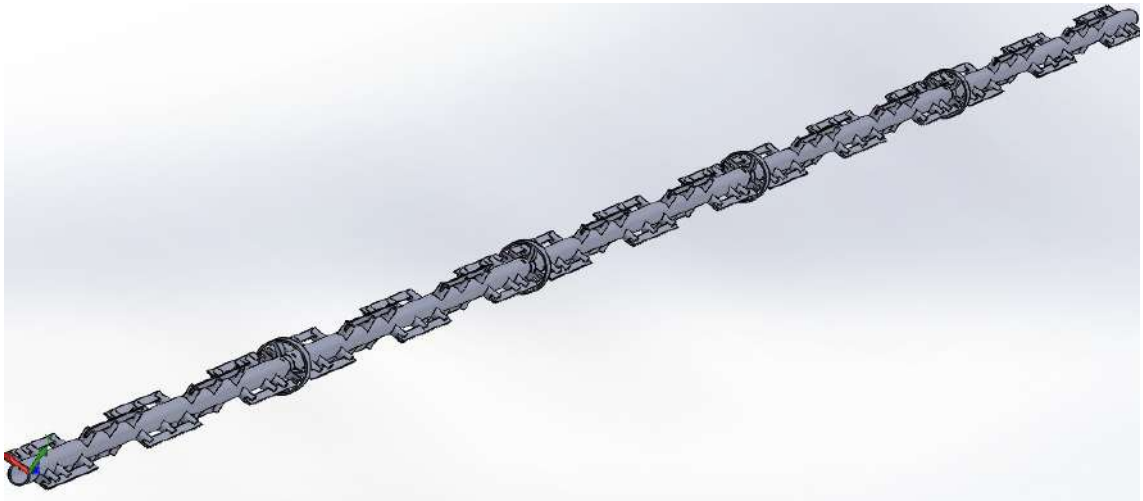


Ilustración.23

Unión entre lanza y eje comando

Es una unión muy importante ya que las 5 lanzas unidas giraran por medio de este soporte. Este soporte se unirá mediante soldadura al extremo de la lanza y en el otro extremo al eje comando.

En la ilustración 24 podemos observar cómo quedaría la construcción del soporte y el eje comando. En el anexo 5.7 se podrá ver el plano para su construcción.

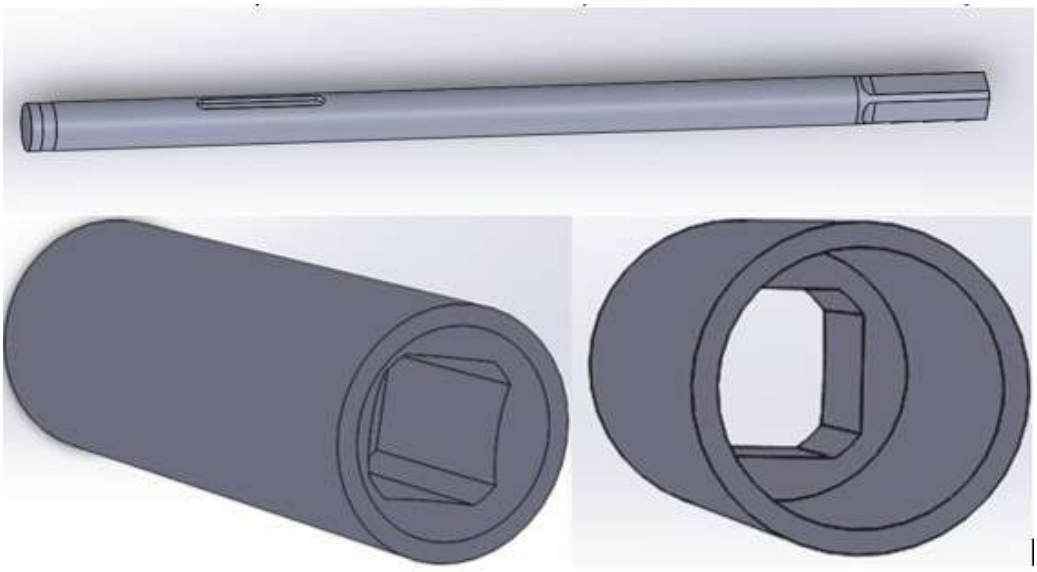


Ilustración.24

Una vez presentado, para poder realizar el ensamblaje entre el extremo de la lanza, el soporte y el eje comando, se debe presentar la totalidad de los largos en longitud que deben cumplirse y luego soldar el soporte.

Codos

Los codos irán en la zona de las juntas de expansión, se conectarán mediante las bridas de 6” y tiene la función de unir el circuito del fluido entre los caños, estos codos irán en posición horizontal cumpliendo una distancia entre centros de 381mm.

En la ilustración 25 se puede observar el codo modelado en 3d en la izquierda y en la derecha ya ensamblado en el intercambiador.

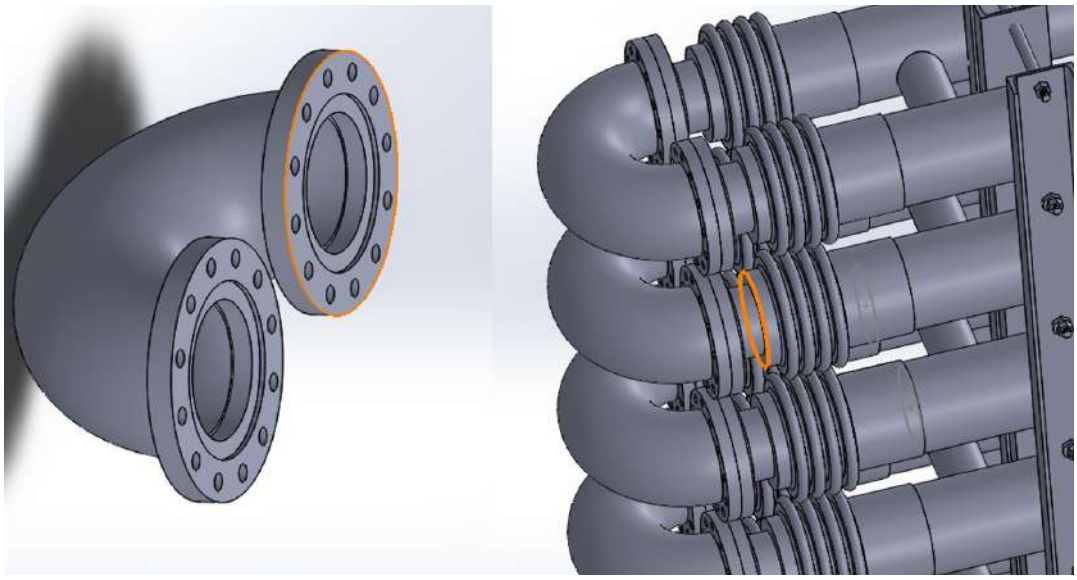


Ilustración.25

Cabezales intermedios

Los cabezales son lo más dificultoso a la hora de realizar un modelado 3d por tener una figura relativamente compleja.

Estos cabezales irán en la otra zona que denominamos la zona de las reducciones. Entre estos cabezales pasara el eje comando de cada caño para poder, mediante un sistema de poleas y una correa general, darle movimiento a todo el sistema de lanzas mediante un motor acoplado al sistema.

En la ilustración 26 se puede observar a la derecha el cabezal real y a su izquierda se observa el cabezal modelado en 3d.

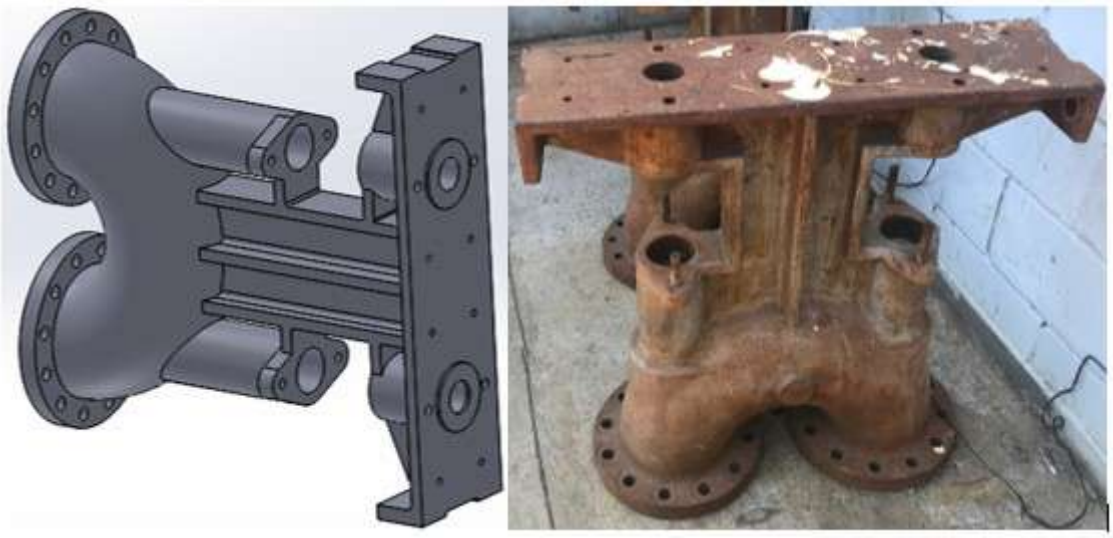


Ilustración.26

Cabezales de entrada y salida

Estos cabezales se construyen solamente 2, irán en el primer y anteúltimo caño.

En la ilustración 27 se puede observar a la derecha una imagen real del cabezal de entrada y salida y en el centro e izquierda el mismo en 3d.

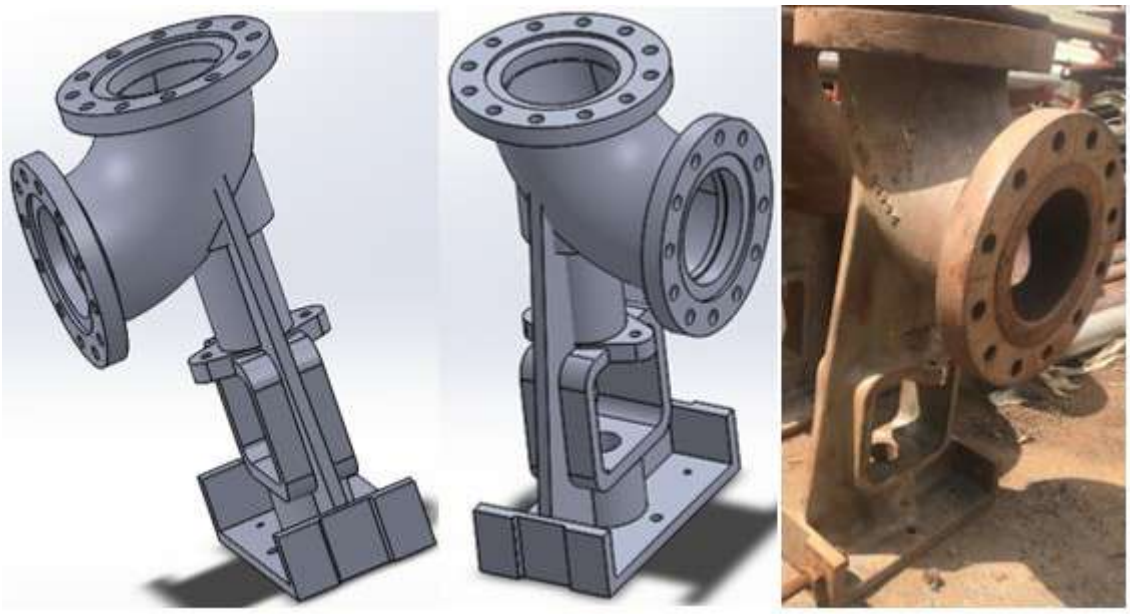


Ilustración.27

Ensamblaje final

Para poder ensamblar los cabezales, antes debemos introducir las lanzas.

En la ilustración 28 se puede observar como el sistema de lanzas se introduce concéntricamente en el diámetro interior de cada tubo de 6”.

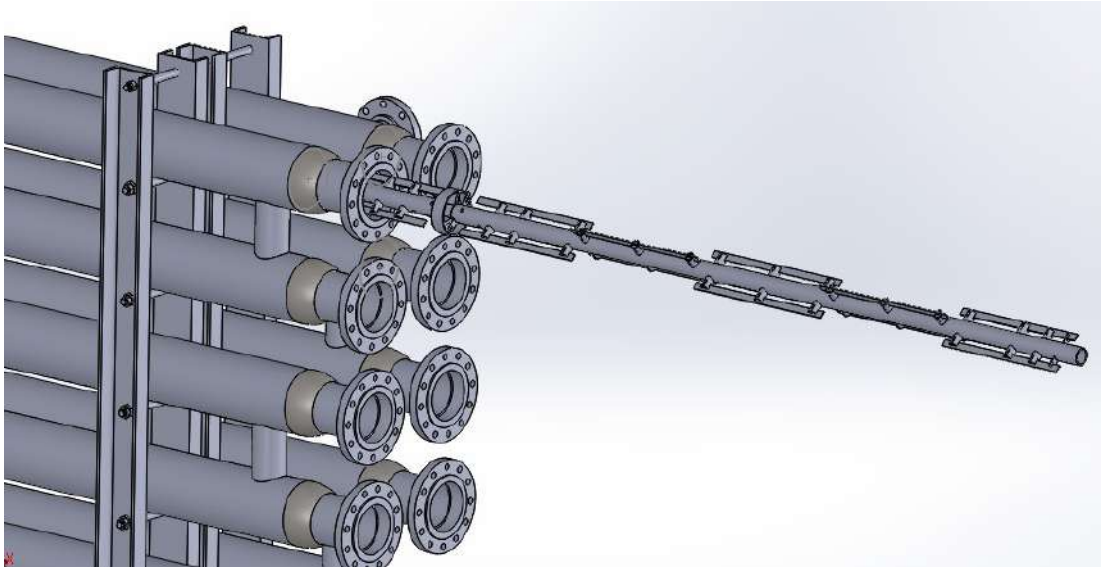


Ilustración.28

Luego de introducir las lanzas se debe colocar el soporte con el eje comando cumpliendo las cotas especificadas y soldarlo, al término de esto recién ahí se podrá presentar el cabezal.

En la ilustración 29 se puede observar en el modelado 3d presentando el soporte con el eje comando unido al sistema de lanzas.

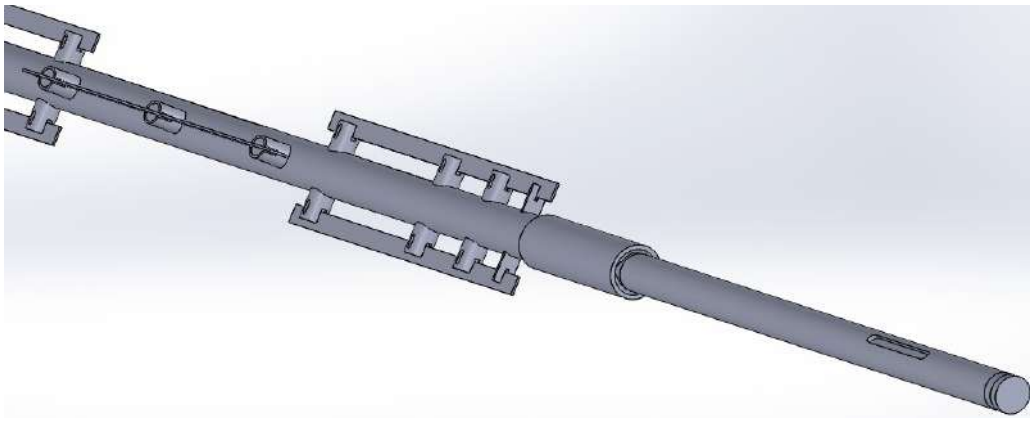


Ilustración.29 - Ensamblaje eje comando con lanza

Ahora si estamos en condiciones de presentar los cabezales.

Los cabezales de entrada y salida deben cumplir una distancia de 717 mm entre centros como se puede observar en la ilustración 30.

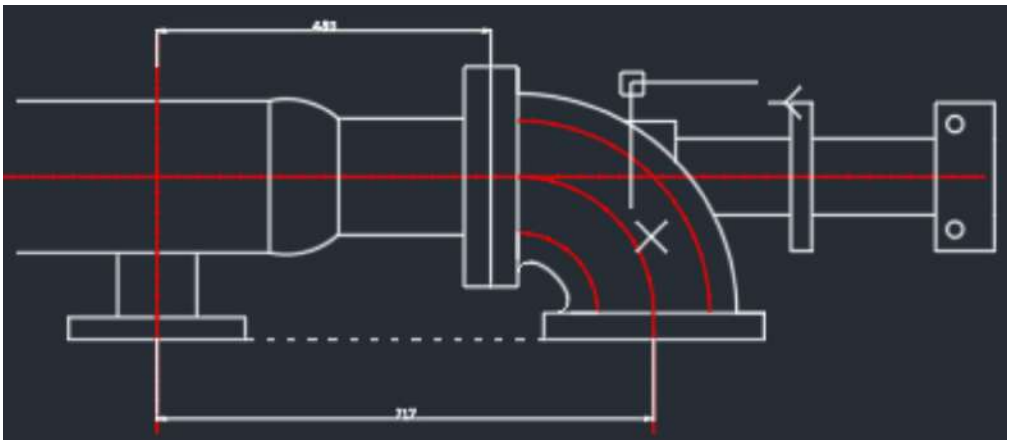


Ilustración.30

Podemos observar también el mismo en el modelado 3d referenciado como ilustración 31.

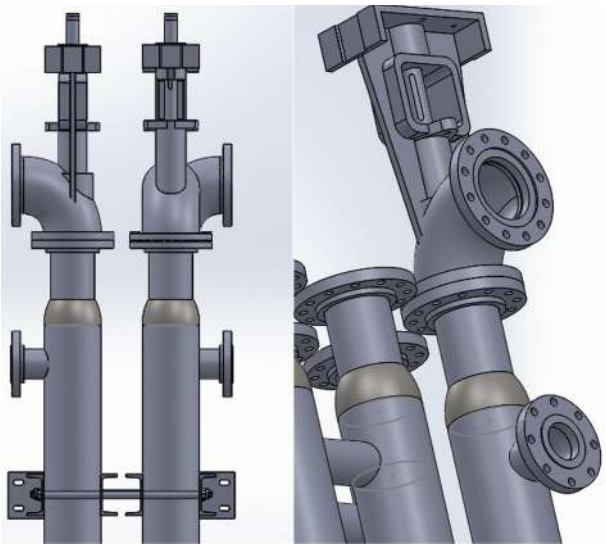


Ilustración.31

Para poder visualizar el conjunto de lanzas introducido con el soporte y eje comando, se procede a poner una trasparencia a los tubos exteriores, de manera que se observe su interior. Esto puede verse en la ilustración 32.

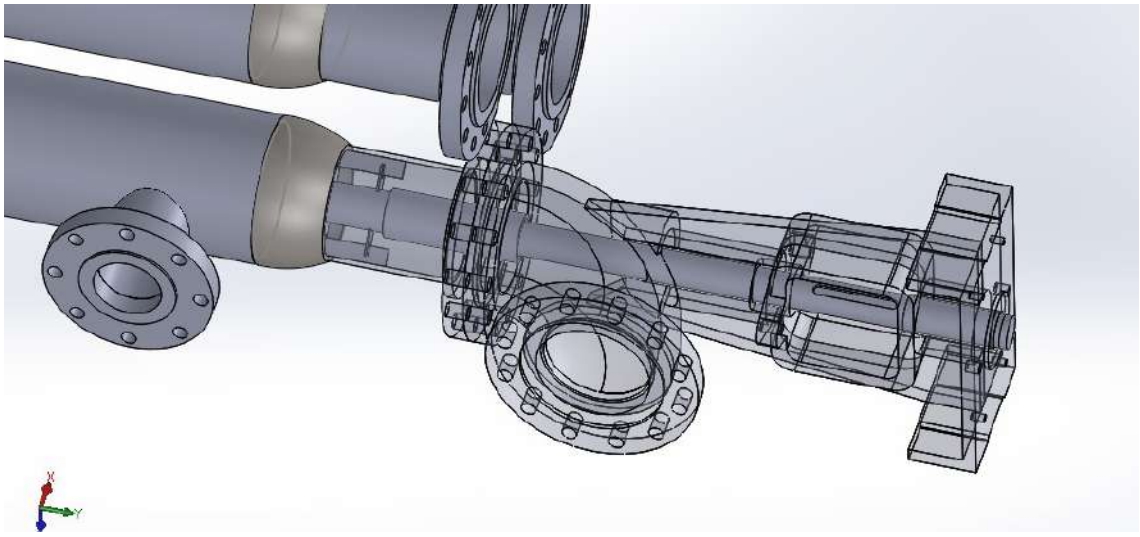


Ilustración.32

En la unión entre los cabezales y el eje comando, se puede observar que hay una abertura, este lugar está dado para colocar una empaquetadura fijándose con un prensa estopa.

Podemos observar en estas condiciones, una ilustración 33 donde se mostrará todos los cabezales conectados y la ilustración 34 el intercambiador completo y listo para comenzar externamente con todo el sistema de engranajes y poleas.

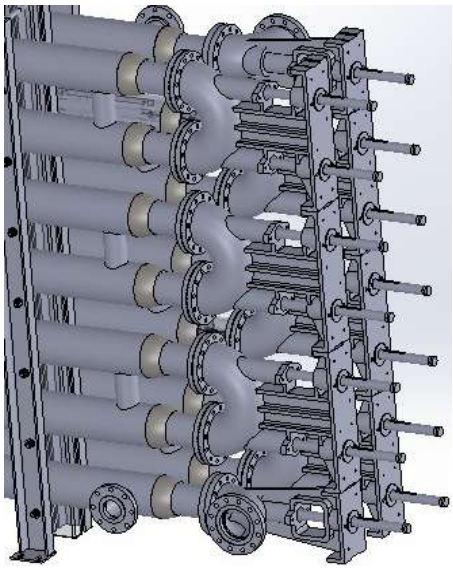


Ilustración.33

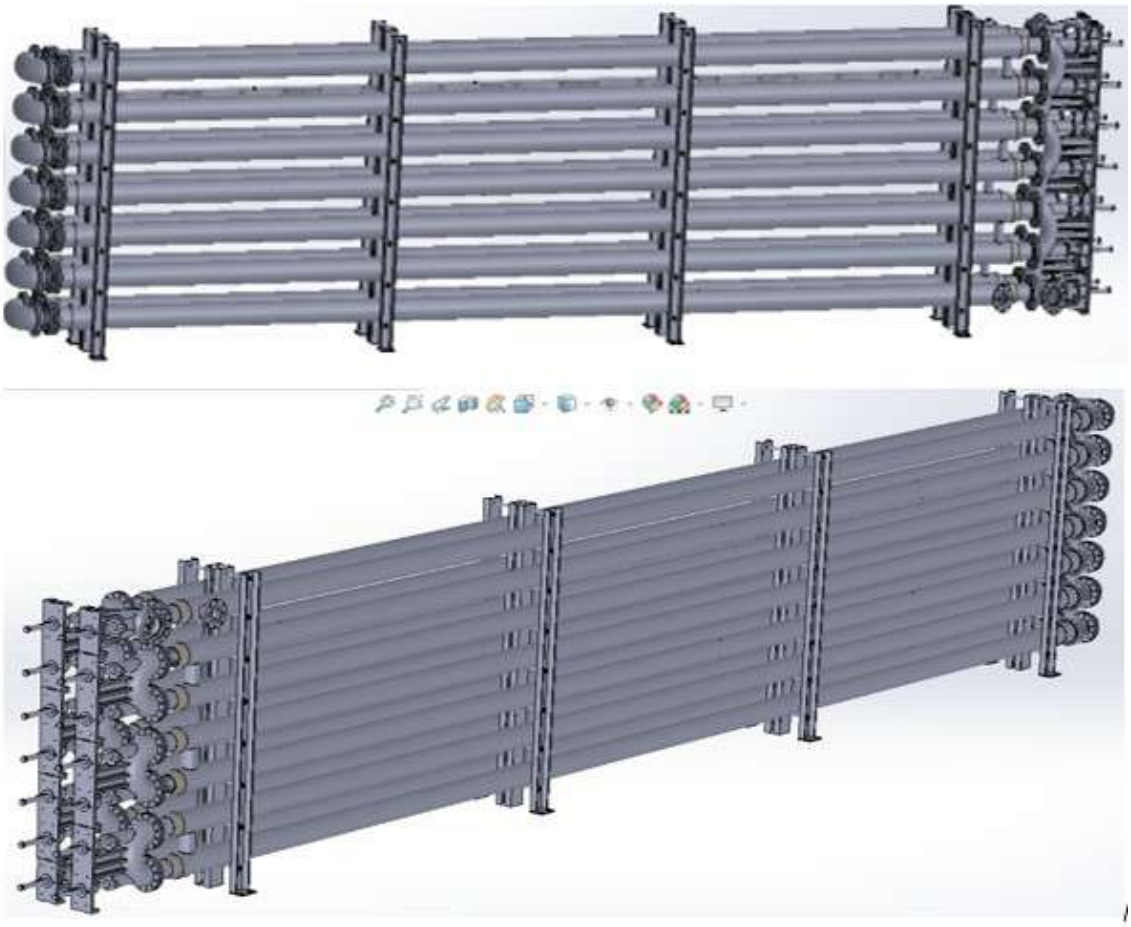
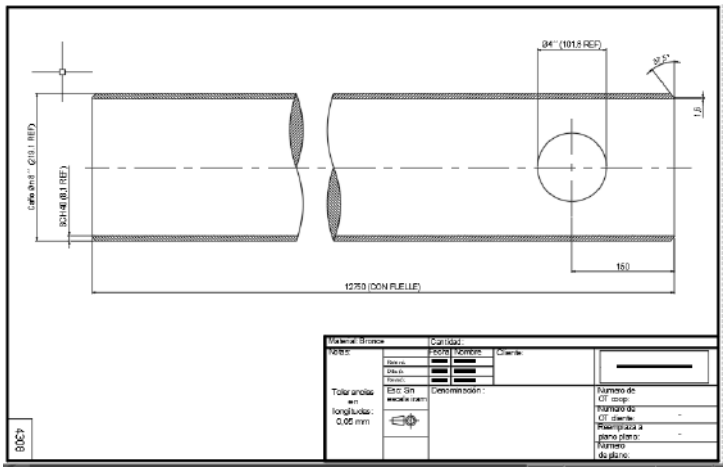


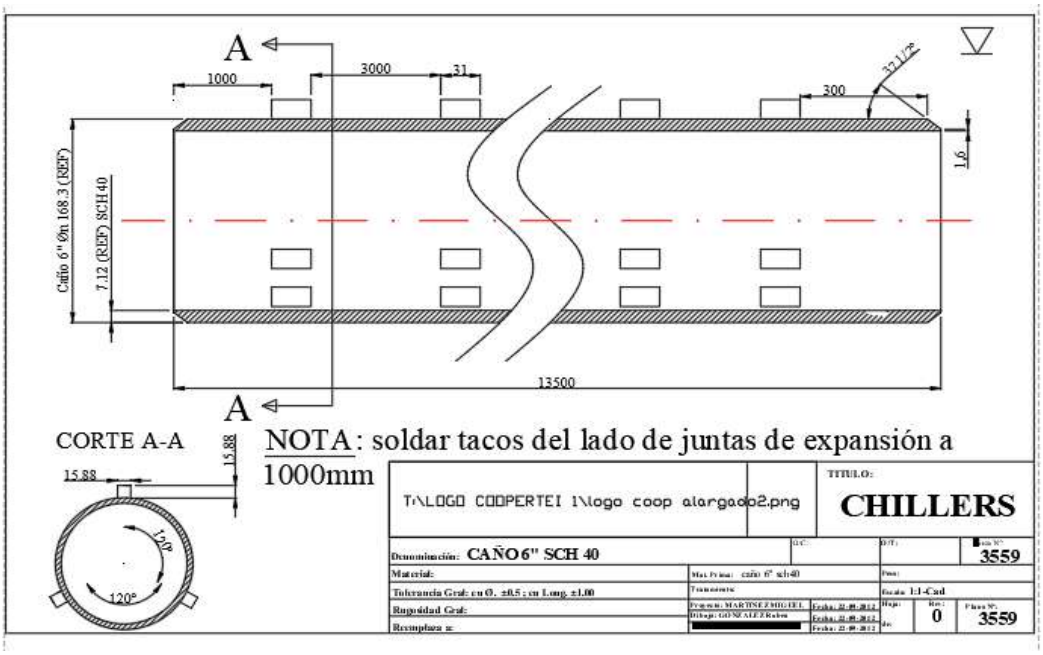
Ilustración.34

Anexos

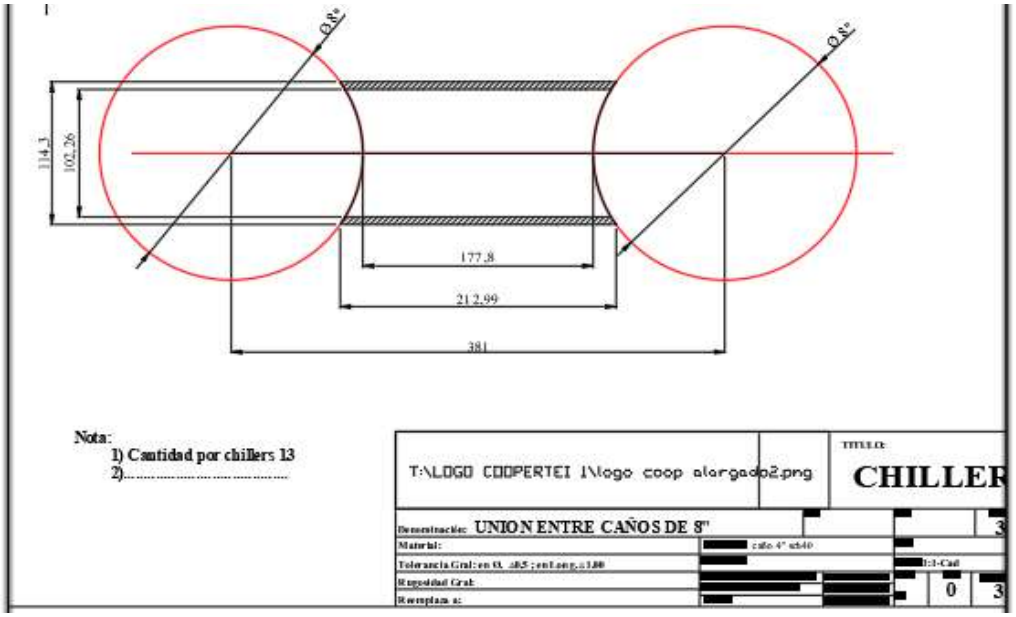
Plano caños de 8 pulgadas



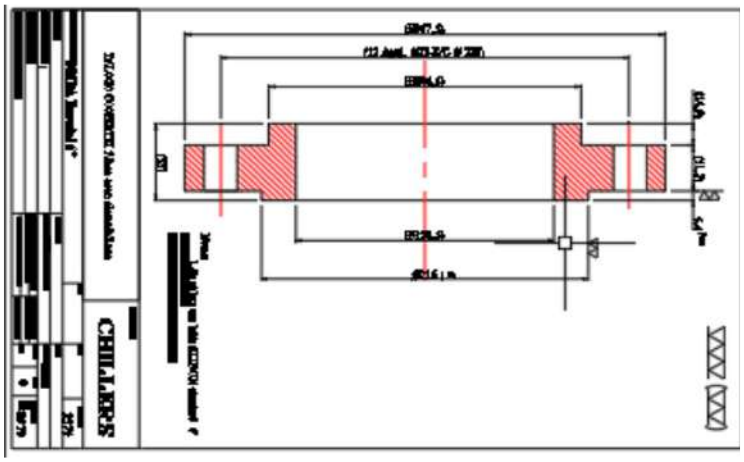
Plano caños de 6 pulgadas



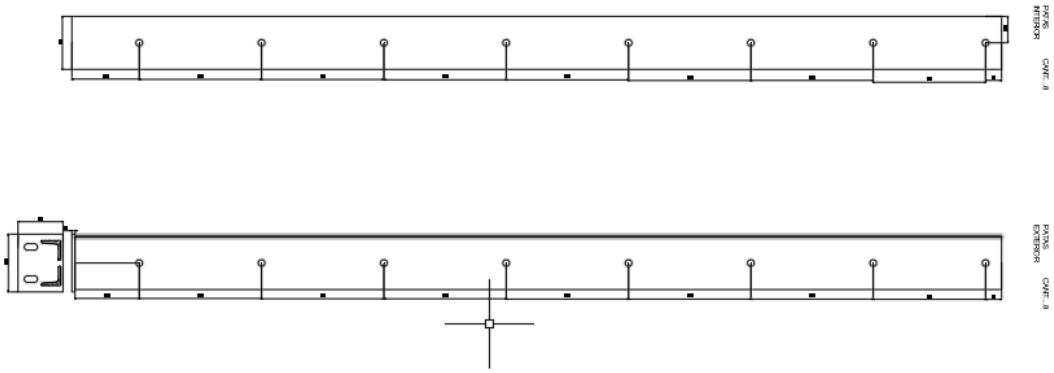
Plano caño de 4 pulgadas (unión entre caño de 8 pulgadas)



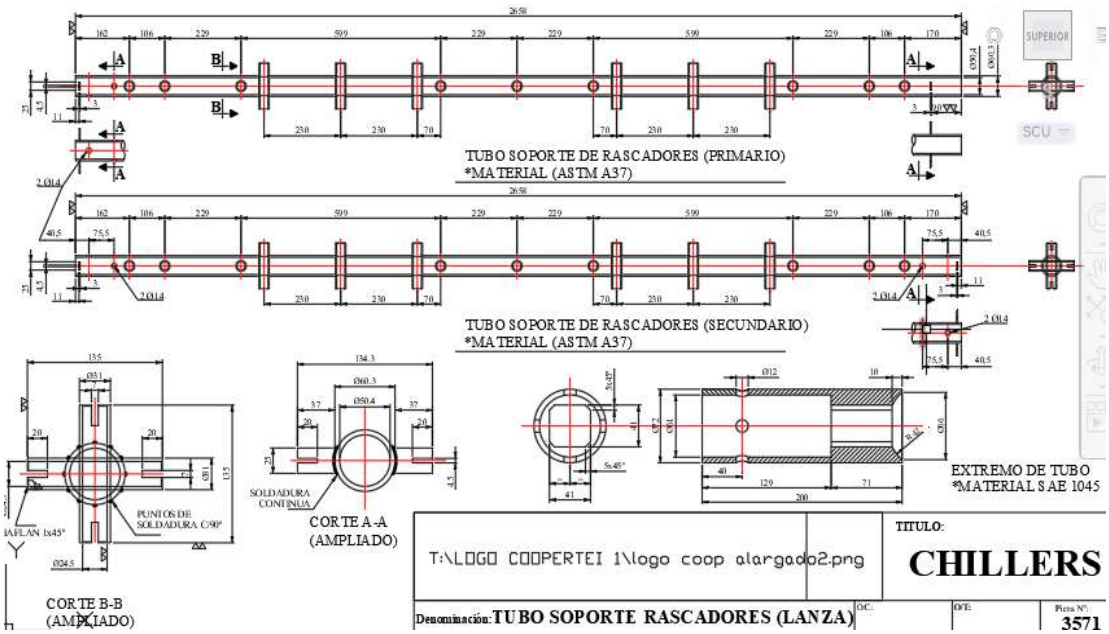
Plano brida 6 pulgadas



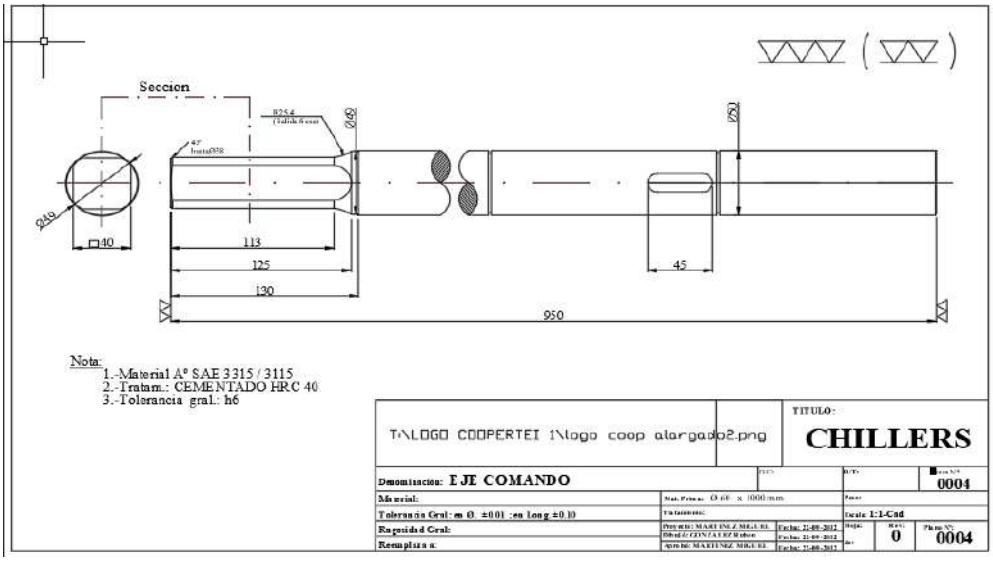
Plano perfil bases



Plano lanzas



Plano eje comando



Conclusiones

Como conclusión podemos decir que se han podido cumplir los objetivos propuestos y llegar a donde se esperaba para poder darle un objetivo al siguiente practicante de poder terminarlo.

Se ha podido corroborar cada medida de los planos realizados y verificándose en el modelado 3d para un correcto ensamblaje e incluso se han podido corregir varias medidas incorrectas en planos de la empresa.

En cuanto al modelado 3d se ha podido realizar correctamente cada pieza que compone el intercambiador realizadas con los planos reales sin problema alguno.

Vinculaciones con materias de la carrera

En cuanto a las materias vinculadas a la carrera de ingeniería mecánica tenemos las siguientes:

- **II)** Diseño mecánico.
- **III)** Sistemas de representación.
- **IV)** Tecnología del calor.
- **V)** Sistemas cad/cam.

Lecciones aprendidas y recomendaciones.

En cuanto a las lecciones aprendidas podemos decir de la importancia que tiene poder manejar un software cad/cae, este trabajo es un claro ejemplo de cómo se puede a través de un software, representar y ver gráficamente un intercambiador de calor.

Y en el podemos verificar los planos, las cotas, incluso podemos observar detenidamente cada parte que lo compone y poder realizar mejoras o cambiar el tipo de material o cambio de pieza por otra y ver su comportamiento en el mismo.

En cuanto a recomendaciones podemos decir por lo que se ha observado en el eje que une las dos lanzas, tiene un excesivo desgaste por girar la rueda. Esta rueda no debería de girar sino ser fija para que no se cometa ese desgaste.

Otra recomendación es en los botadores de las lanzas, donde se une con un perno el rascador, este rascador no llega al final del botador de modo que, cuando este se apoye sobre el diámetro interior del tubo de 6” hará fuerza sobre el perno y no sobre el piso del botador.

En la ilustración 35 se puede observar a la izquierda el botador con el rascador y en la derecha se puede observar la distancia que existe entre la pared del rascador y el piso del botador, el cual no debería de tenerlo.

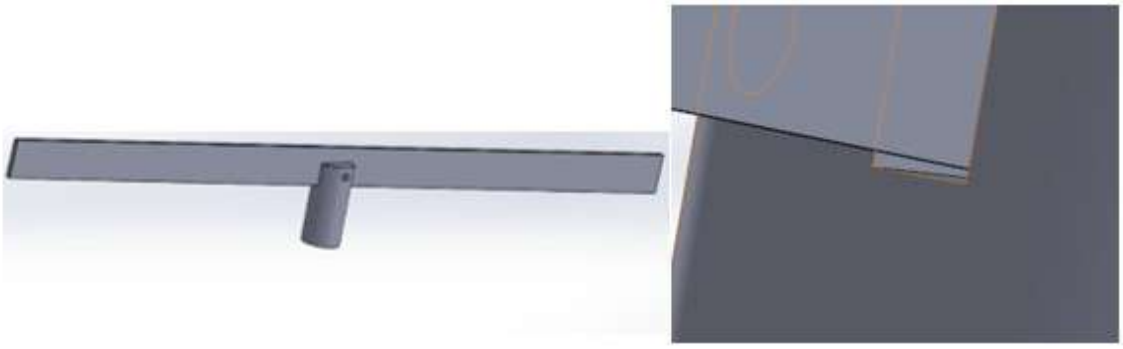


Ilustración.35

Cálculo y planificación de sistema de aire comprimido para establecimiento de desarrollo mecánico

Alumno: Gean Franco Ferrero

Docente tutor: Ing. Adalberto Comasco

Introducción

La importancia que tiene una instalación de aire comprimido sobre una industria es que el sistema alimenta tanto a herramientas manuales como a maquinas especiales en el que es esencial el consumo de AC, esto logra que no se consuma energía eléctrica para tal fin. Otra ventaja de trabajar con este sistema es que ha abierto las puertas a procesos de automatización limpios, seguros, rápidos y eficientes. Si bien tiene un costo elevado al inicio también es una inversión amortizable.

A lo largo de este trabajo desarrollaré todas las etapas a tener en cuenta para un servicio de Aire Comprimido en el establecimiento de desarrollo mecánico.

Marco de referencia

Un sistema de Aire comprimido es una instalación que cuenta con diferentes máquinas y elementos que generan y conducen A.C. con el fin de cumplir un objetivo. Estos objetivos pueden ser varios, dependiendo del usuario, entre ellos puede ser: el uso de una herramienta de mano, usar una pistola de pintura u operar una cámara arenadora, etc.

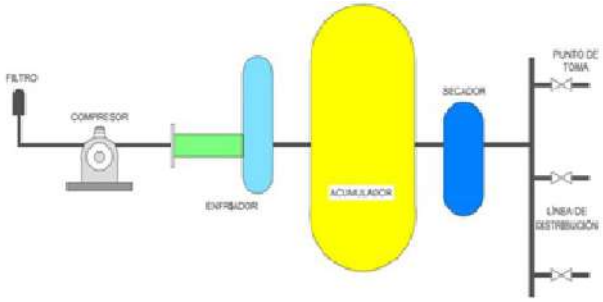


Fig.1 - Elementos de una Instalación de Aire Comprimido.

En la Figura 1 se muestra un esquema típico de una instalación de A.C.

Principales elementos

Filtro: Es un elemento de gran importancia ya que aún el aire más limpio presenta polvos en suspensión. Si los mismos no son eliminados, pueden deteriorar rápidamente los órganos internos del compresor, por ejemplo, rayando los cilindros (con el consiguiente paso de aceite de lubricación al aire comprimido) o ser causa de depósitos, obturaciones etc., dando lugar a situaciones peligrosas.

Se debe mantener el filtro en unas condiciones de limpieza óptima. También es aconsejable la instalación de un medidor de caída de presión en el filtro que permita conocer su estado de limpieza.

Compresor: Puede tratarse de un pequeño aparato portátil o de un gran equipo fijo. Todo compresor debe llevar adosada una placa de características en la cual deberá figurar la presión y temperatura de trabajo máximas. En general todos incluyen los siguientes elementos: manómetro (medición de presión de salida del compresor), protección térmica (termostato a la salida/s de la válvula/s de descarga/s) protección del elemento enfriador (para casos en que se refrigera con agua), protección contra explosiones (generadas por sobrecalentamientos y/o ignición de depósitos carbonosos) y protección contra atrapamiento (resguardos de seguridad a partes móviles).

Enfriador: Como ya sabemos el aire contiene varios gases y también H2O en fase gaseosa, entonces el enfriador tiene como objetivo enfriar el aire de modo de poder condensar estas partículas al disminuir la temperatura. Pueden ser de AIRE-AIRE o bien de AIRE-AGUA. También incluyen elementos de protección como: válvulas de seguridad e indicadores de presión y temperatura a la entrada y salida de los fluidos.

Acumulador: Constituido por el depósito del aire proporcionado por el compresor que tiene como fin asegurar al sistema la continua disposición de aire a presión constante. Como podemos ver, este necesita de elementos de seguridad como: válvula de seguridad, indicación de presión interna, tapón fusible y sistema de drenaje.

Secador: Se utiliza para eliminar la humedad restante luego del acumulador en el circuito de

distribución de aire comprimido. Es un intercambiador de calor en el que uso otro fluido para intercambiar propiedades y contiene los mismos elementos de protección que un aparato a presión.

Conjuntos F.R.L. (filtro, regulador y lubricador): Estos son proporcionados en las líneas de conducción al final de cada tramo para filtrar partículas provenientes de la red, regular la presión de entrada a la maquinaria y lubricar (lubricación de niebla) a los equipos en uso.

Líneas de conducción: Estos portan el fluido y lo trasladan, sus diámetros y espesores deben ser calculados de tal forma de asegurar la presión del fluido a cada lugar y que resistan las solicitudes mecánicas.

Análisis de la problemática

A continuación, se muestra la maquinaria empleada en el taller:

Fig.2 - Granalladora simple.

Fig.3 - Granalladora doble.

Fig.4 - Atornilladora Neumática.

Fig.5 - Taladro Neumático.

Fig.6 - Lijadora Neumática.

Fig.7 - Amoladora Neumática.

Fig.8 - Pistola de Pintura.

Fig.9 - Pistola Sopladora.

En las figuras 2-9 se encuentran las herramientas que se utilizarán en el taller, todas con consumo de A.C. en el cual cada una de ellas tiene diferente caudal y consumo que se detallará mas adelante.

En lo que este informe compete, el abastecimiento y suministro de aire comprimido para la maquinaria dada, daremos inicio al siguiente paso para su realización.

Desarrollo de tareas

1.- Se Identificará cada proceso, estación de trabajo y máquina que utiliza aire comprimido dentro del taller.

2.- Se determinará el consumo de aire que se necesita en cada uno de esos elementos, al igual que la presión. Esta es la *carga total* que va a soportar la instalación a diseñar.

3.- Se obtendrá el valor del consumo para el compresor estableciendo el porcentaje de tiempo que estará operativo cada uno de esos elementos en un periodo de tiempo específico. Esto se conoce como el tiempo de funcionamiento. Estimaré un valor permisible de fugas y también un consumo adicional por posibles futuras ampliaciones.

4.- Se realizará una esquematización en planta preliminar (*preliminar piping*) e isométrico.

5.- Se calculará los diámetros de cañería según los tramos principales, secundarios y terciarios.

6.- Se calculará el volumen del acumulador a tener en cuenta para el consumo total.

7.- Se seleccionará el tipo de compresor al igual que los equipos de acondicionamiento.

8.- Lista de materiales completa de la instalación de la cañería.

A continuación, se describirá detalladamente cada una de las tareas seleccionadas con los criterios de decisión.

Desarrollo

Estación de trabajo:

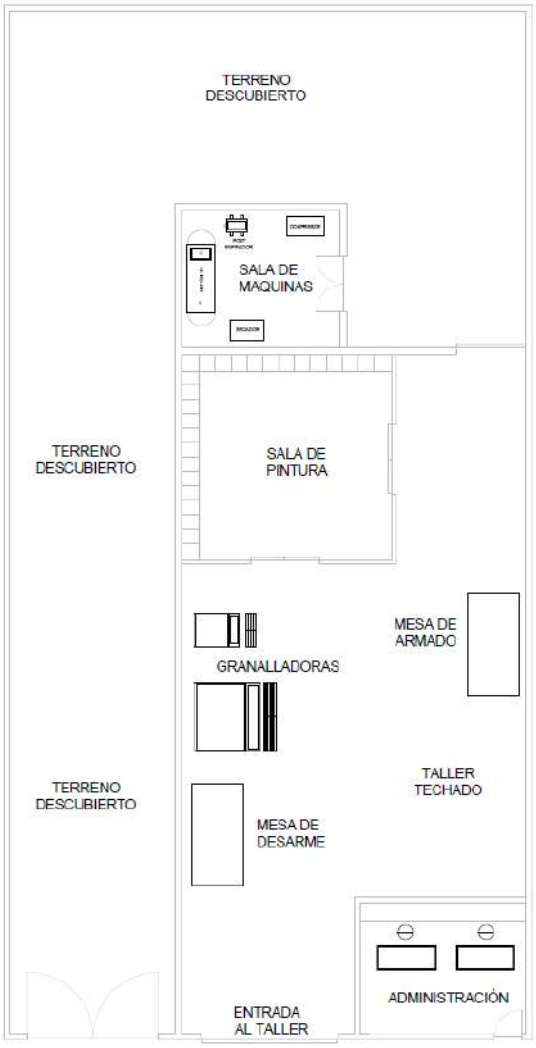


Fig.10 - Ubicación de maquinaria.

La figura 10 muestra la ubicación de las maquinas con respecto a la planta del taller. Se proyecto una sala de máquinas donde se encontrará todo el sistema de generación del aire comprimido por varias razones, como el ruido que emite el compresor en su funcionamiento, además que este necesita contar con una masa de aire fresca y pura del

exterior con mayor facilidad por cuestiones de funcionamiento del compresor y además liberar al exterior con facilidad la purga de agua de las máquinas. Por este motivo la sala de maquina será un espacio Semi Cubierto.

MAQUINA O HERRAMIENTA	CAUDAL (m3/min)	PRESION (bar)
Pistola de Pintura	1,51	3,8
Pistola de soplete	1	5,2
Granalladora de Φ: 4mm	1	7
Granalladora de Φ: 6mm	2,2	7
Atornilladora	0,013	6,3
Lijadora	0,062	6,3
Amoladora	0,098	6,3
Taladro	0,08	6,3
CAUDAL TOTAL	5,963	

Tabla 1: Consumos.

En la tabla 1 podemos apreciar los consumos de las diferencias máquinas y herramientas y podemos observar que los caudales y presiones toman diferentes valores. Por lo pronto para la presión vamos a tomar un valor estándar de 7 bares, los reguladores de presión en cada uno de los puntos de consumo proveerán a cada herramienta la presión de trabajo.

El caudal total toma en cuenta el consumo de cada máquina funcionando en su 100% sin detenerse en el ciclo de trabajo. Más adelante veremos que este valor se modifica teniendo en cuenta otras variables.

Cálculo de sonsumo del compresor

Debemos obtener el valor preliminar del consumo (Cp) para calcular el compresor:

	MAQUINA O HERRAMIENTA	CAUDAL (m3/min)
	Pistola de Pintura	1,51
	Pistola de soplete	1
	Pistola de soplete	1

	Granalladora de Φ: 4mm	1
	Granalladora de Φ: 6mm	2,2
	Atornilladora	0,013
	Lijadora	0,062
	Amoladora	0,098
	Taladro	0,08
	Pistola de soplete	1
	Atornilladora	0,013
	Taladro	0,08
SUMA		8,056

Tabla 2: Consumos de aire de cada herramienta.

Podemos ver la Tabla 2 de Excel en que se suman los consumos individuales de la maquinaria.

$$\textbf{Cp= 8, 056 } \frac{m3}{min}$$

Podemos observar que algunas herramientas se repiten y es debido a tener dos mesas de trabajo en el taller.

Teniendo en cuenta que no vamos a tener la maquinaria trabajando en todo el ciclo disponible debemos multiplicar los consumos individuales por el **coeficiente de utilización individual**, que lo obtenemos de saber cómo va a operar el taller.

Se muestra el cálculo para la atornilladora:

$$C = 0{,}013 \frac{m3}{min} \ x \ 0{,}6$$

$$C = 0{,}0078 \frac{m3}{min}$$

	MAQUINA O HERRAMIENTA	CAUDAL (m3/min)	Coef. Utilización en ciclo. *	CAUDAL (m3/min)
	Pistola de Pintura	1,51	0,8	1,208
	Pistola de soplete	1	0,5	0,5
	Pistola de soplete	1	0,3	0,3
	Granalladora de Φ:	1	0,8	0,8

	4mm			
	Granalladora de Φ: 6mm	2,2	0,8	1,76
	Atornilladora	0,013	0,6	0,0078
	Lijadora	0,062	0,3	0,0186
	Amoladora	0,098	0,5	0,049
	Taladro	0,08	0,4	0,032
	Pistola de soplete	1	0,4	0,4
	Atornilladora	0,013	0,6	0,0078
	Taladro	0,08	0,4	0,032
SUMA		8,056		5,1152

*Tabla 3: Caudales con C.U.I , *Ciclo: 8 hs/ día de trabajo.*

En la Tabla 3 se encuentran calculados todos los valores de los caudales teniendo en cuenta el **coeficiente de utilización individual**.

$$Cp: 5{,}1152 \frac{m3}{min}$$

Este valor es la suma de todos los consumos del taller teniendo en cuenta el coeficiente de utilización individual.

Si bien podemos planificar el sistema como si fuera ideal, debemos saber que podemos llegar a tener perdidas o bien a medida que transcurre el tiempo, por eso aumentaremos este valor a 10% más:

$$Cp = \left(5{,}1152 \frac{m3}{min} \ x \ 0{,}1\right) + 5{,}1152 \frac{m3}{min}$$

$$Cp: 5{,}62672 \frac{m3}{min}$$

Las posibilidades de una posible futura ampliación en el taller existen, de la cual, si el trabajo realizado sigue siendo el mismo, seguramente se amplíe el sistema de Aire Comprimido.

Optaré por sumarle al Consumo Preliminar un valor de 2 $\frac{m3}{min}$ ante esta necesidad.

De lo que el valor cambia:

$$Cp: \mathbf{7{,}62672}\ \frac{m3}{min}\ \mathbf{.}$$

Sabemos que los compresores no trabajaran el 100% del tiempo en el ciclo de trabajo por día, produciría una marcha continua. Por eso un **coeficiente de demanda** del 80% parece razonable dividirlo por el Cp, de lo cual nos queda el valor del consumo del compresor:

$$Cc = ¿¿\ \frac{Cp}{0{,}8}$$

$$Cc = 1{,}25\ x\ Cp$$

$$Cc = 1{,}25\ x\ 7{,}62672 \frac{m3}{min}$$

$$Cc = 9{,}5334 \frac{m3}{min}$$

Este es el consumo del compresor que debemos tener en cuenta para calcular lo que sigue del trabajo, de todos modos, a efectos de simplificar algunos cálculos, tomaremos el valor de **10** $\frac{m3}{min}$ **.**

Esquematización preliminar de la cañería en planta

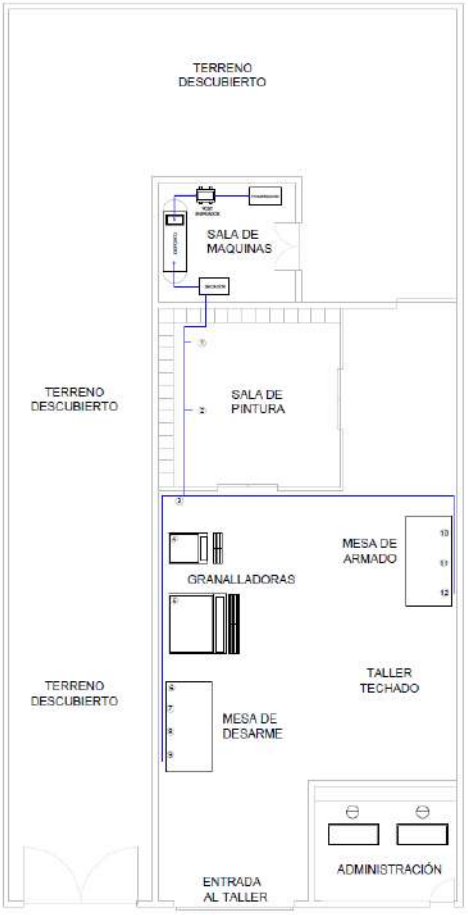


Fig.11 - Cañería en Planta.

En la Figura 11 se puede observar la distribución de la cañería que está diseñada y proyectada de forma en que pueda recorrer la instalación por pared y fijadas mediante grampas omega. Al salir de secador la cañería se mantendrá a una distancia del piso a 3 metros, con una bajada hasta 2 metros del suelo en cada punto de suministro de aire , de allí se podrá colocar las válvulas, F.R.L. y avanzar con mangueras para la conexión de herramientas.

Cálculo de cañería

Para poder obtener los diámetros de los caños de las distintas cañerías tendremos en cuenta gráficos y ábacos del manual del fabricante FESTO que a su vez se ajustan a la normativas

Internacionales (ISO).

Para empezar, identificaremos por orden alfabético para ordenar los cálculos, los tramos que son del trayecto y además acotaremos estos tramos para tener en cuenta las distancias necesarias para los cálculos, para ello la siguiente figura vemos el mismo isométrico con estos datos:

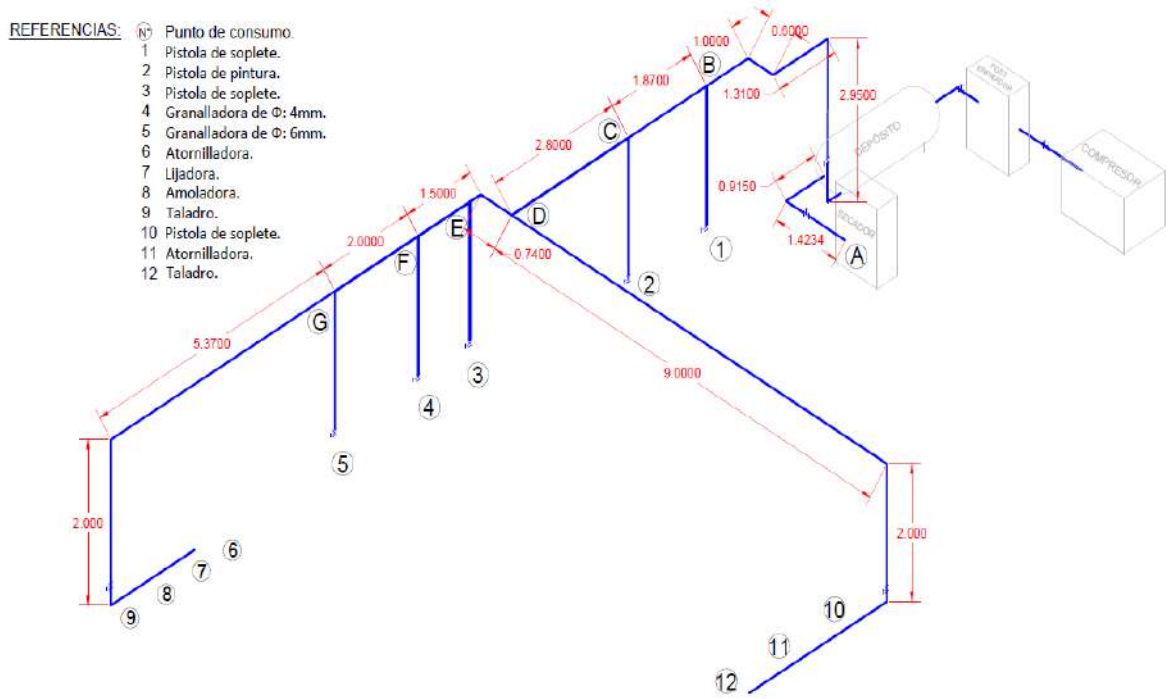


Fig.12 - Isométrico de Cañería con Cotas y Tramos.

En la figura 12 se ven las diferentes cotas y tramos que adopta la instalación. Como sabemos vamos a tener 3 tramos dentro del recorrido, el principal que recorrerá la mayor parte del trayecto, el secundario donde tendrán distancias menores y nos llevarán a tramos más pequeños, y el terciario que serán los tramos más cortos en que se conectan a los F.R.L. para seguir con los puntos de consumos.

Para empezar, analizaremos los tramos principales que contendrán la mayoría de los consumos, luego restaremos los consumos que ya están contemplados por la principal y obtendremos los secundarios. Para los terciarios sumaremos los consumos próximos y sumado a las distancias obtendremos los distintos diámetros.

Para poder calcular la cañería vamos a necesitar de la fórmula de Darcy-Weisbach. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés **Henry Darcy** que en 1845 fue refinada por Julius Weisbach :

$$\Delta P = \left(\frac{\beta}{R \ x \ T}\right) \ x \ \left(\frac{v2}{D}\right) \ x \ L \ x \ p \cdot$$

Donde:

- ΔP : caida de presión.
- p: presión de trabajo.
- R: constante del gas = 29,27 para el aire.
- T : temperatura absoluta (t+273)
- D : diámetro interior de la cañería.
- L : longitud del tramo recto.
- v : velocidad del aire
- β : índice de resistencia que depende de la regusidad del tubo y caudal circulante.

Dicha formula se encuentra resuelta en el siguiente gráfico:

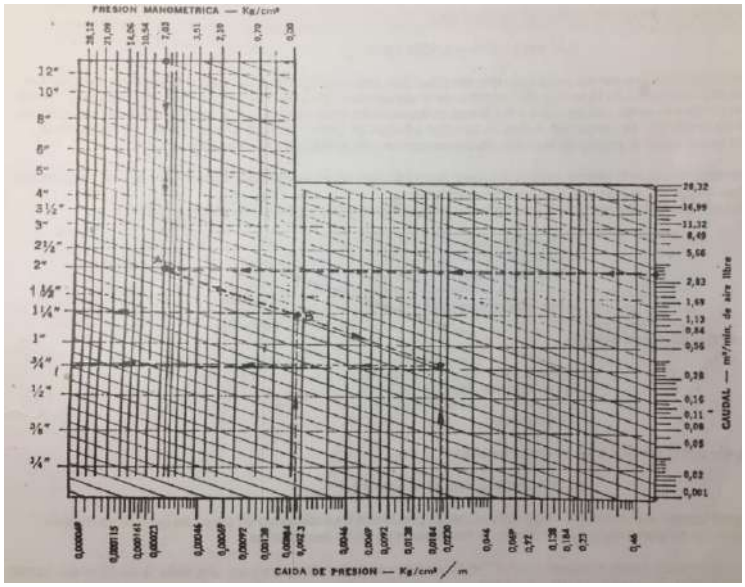


Fig.13 - Cálculo de Diámetro.

Cañería principal

Analizaremos antes un dato que necesitamos, la **perdida de carga en cañería**:

Nuestra perdida de carga Admisible es solamente admite el 3% de la presión de trabajo que es 7 bar, por lo tanto, tenemos:

$$\Delta Pad = 3\% \ x \ 7 \ bar \cdot$$

$$\Delta Pad = 0{,}03 \ x \ 7 : 0{,}21 \ bar \cdot$$

$$\Delta Pad = \ 0{,}21 \ bar \cdot$$

De lo cual la **perdida de carga por unidad de longitud** teniendo en cuenta la longitud total del tramo principal L: 15 m:

$$\Delta P = \frac{0{,}21 \ bar}{15 \ m} : 0{,}014 \ \frac{bar}{m}$$

$$\Delta P : \ 0{,}014 \ \frac{bar}{m}$$

Como sabemos, este tramo es el que comunica a todos los puntos de consumos, por lo tanto, se tendrá en cuenta el consumo total de las máquinas y herramientas.

Entonces con los siguientes datos podemos encontrar nuestro diámetro de cañería:

$$\Delta Pad : \ 0{,}014 \ \frac{bar}{m}$$

$$C_p : 8{,}056 \frac{m^3}{mín}$$

$$P = 7 \, bar$$

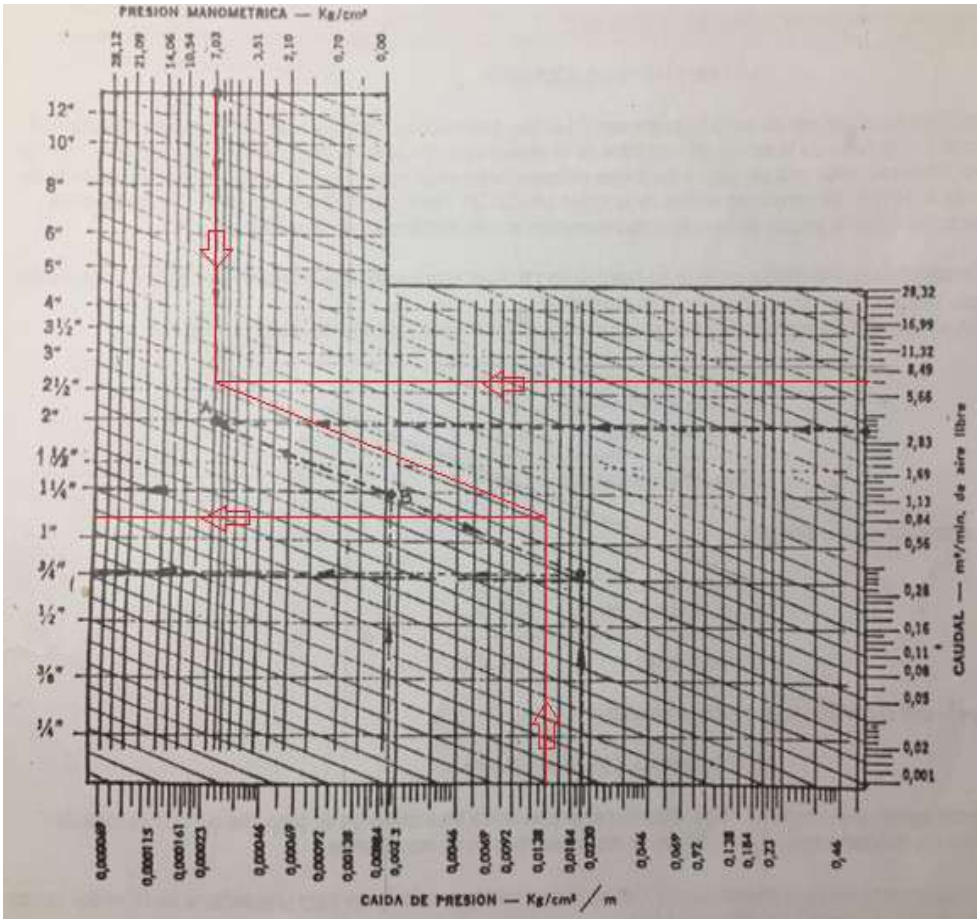


Fig.14 - Ejemplo de Cálculo de Diámetro.

En la figura 14 podemos observar que el resultado nos dio entre 1” y 1 ¼” por lo cual elegimos siempre el inmediato superior para los próximos cálculos. Tenemos el valor del diámetro primitivo:

D= 1 ¼”.

Sabemos que la cañería no es totalmente recta por lo tanto encontraremos el valor de **la longitud equivalente**, que significa la perdida de carga en accesorios en unidad de metros que se van añadir luego a nuestra longitud recta.

Para eso tenemos unos valores estipulados por diferentes accesorios con sus pérdidas de cargas equivalentes:

Perdidas de carga por fricción en accesorios de tuberías
Valores equivalentes en metros de cañería recta.

Elemento intercalado en tuberías	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	11/4"	11/2"	2
Válvula esclusa (tot. abierta)	0,09	0,09	0,1	0,13	0,17	0,22	0,26	0,33
"T" (paso recto)	0,15	0,15	0,21	0,33	0,45	0,54	0,67	0,91
"T" (paso a derivación)	0,76	0,76	1	1,28	1,61	2,13	2,46	3,16
Curva 90°	0,42	0,42	0,52	0,64	0,79	1,06	1,24	1,58
Curva 45°	0,15	0,15	0,23	0,29	0,37	0,48	0,57	0,73
Válvula globo (tot. abierta)	4,26	4,26	5,66	7,04	8,96	11,76	13,77	17,67
Válvula angular (tot. abierta)	2,43	2,43	2,83	3,50	4,48	5,88	6,88	8,83

Fig.15 - Perdida de carga en cañerias.

Tomando los valores correspondientes para nuestro diámetro que en la Figura 15 se representan y contando las cantidades de accesorios que tenemos en ese tramo obtenemos los siguientes valores en la siguiente tabla:

Perdida de carga en cañería principal para Φ: 1 1/4 "			
Accesorios	Longitud equivalente	Cantidad	TOTAL por unidad
Curva a 90°	1,06	6	6,36
Válvula esclusa	0,22	5	1,1
Tee Paso recto	0,54	2	1,08
Tee Paso derivación	2,13	1	2,13
Secador Frigorífico	0,11	1	0,11
TOTAL			10,78

Tabla 4: Perdida de Cañería para Diámetro 1 ¼".

En la tabla 4 vemos la multiplicación de las longitudes equivalentes con sus cantidades para un diámetro de 1 ¼" .

Como dijimos antes este valor se suma a la longitud recta de forma de encontrar la perdida de carga total, de la cual verificaremos si para toda la longitud sumada nos encontraremos dentro de los valores admisibles:

$$Lt = Lr + Leq$$

$$Lt = 15\ m + 10{,}78\ m$$

$$Lt = 25{,}78\ m$$

Con este valor debemos calcular **la perdida de carga total** que tendremos para nuestros datos de D: 1 ¼" y $Lt=25{,}78\ m$.

Por lo tanto, tenemos:

$$\Delta Pt = \Delta P\ x\ Lt$$

$$\Delta Pt = 0{,}014 \frac{bar}{m}\ x\ 25{,}78\ m$$

$$\Delta Pt = 0{,}36\, bar$$

Analizamos que este valor se excede del admisible:

$$\Delta Pad < \Delta Pt$$

$$0{,}21\ bar < 0{,}36\ bar$$

Esto quiere decir que vamos a tener una pérdida de carga mayor al de 3% en la presión en el último punto de la cañería con el diámetro escogido.

Para dar solución a esto, elegimos un diámetro de caño mayor que el escogido, por lo tanto, para nuestro caso tenemos que nuestro valor de Diámetro de cañería principal será:

D= 1 ½".

Ahora para los distintos casos lo simplificaremos y se realiza todos los cálculos en la siguiente tabla en la que se encuentran todos los valores y datos calculados.

CAÑERIA	TRAMO	CAUDAL (m3/min)	PRESION (bar)	LONG. RECTA(m)	ΔP (bar/m)
PRIMARIO	A-G	8,056	7	15	0,014
SECUNDARIO	G-9	0,253	7	8	0,02625
SECUNDARIO	D-12	1,093	7	11	0,019090909
TERCIARIO	B-1	1	7	2	0,105
TERCIARIO	C-2	1,51	7	2	0,105
TERCIARIO	E-3	1	7	2	0,105
TERCIARIO	F-4	1	7	2	0,105
TERCIARIO	G-5	2,2	7	2	0,105

Tabla 5: Calculo de Diametros.

DIAMETRO Φ (")	LONG. EQ (perd-carga) (m)	LONG. TOTAL (m)	ΔP (bar)	DIAMETRO FINAL Φ (")
1 1/4"	10,78	25,78	0,36092	1 1/2
1/4 "	1,53	9,53	0,2501625	3/8"
1/2 "	1,38	12,38	0,236345455	3/4 "
3/8"	0,09	2,09	0,21945	3/8"
3/8"	0,09	2,09	0,21945	3/8"
3/8"	0,09	2,09	0,21945	3/8"
3/8"	0,09	2,09	0,21945	3/8"
1/2 "	0,09	2,09	0,21945	1/2 "

Tabla 5: Calculo de Diametros.

En la tabla 5 vemos los distintos cálculos para los distintos tramos analizados para la instalación en su totalidad .

Vemos que los diámetros que nos dan son variables depende la cañería su consumo y su longitud. Si bien para los cálculos está bien elegir estos diámetros debemos optar por diámetros de cañerías comerciales además de que la elección del tipo de material depende de las condiciones y servicios del taller y para este caso se optó por elegir acero galvanizado.

DIÁMETRO NOMINAL Nominal Diameter		ESPESOR NOMINAL Nominal Wall Thickness	PESO TEÓRICO Nominal Weight	PRUEBA HIDROSTÁTICA Hydrostatic Test	CAÑOS POR PAQUETE Pipes per Bundle
Pulgadas Inches	mm	mm	kg/m	Bar	Galva
1/2	21.30	2.35	1.101	50	91
3/4	26.70	2.35	1.426	50	61
1	33.40	2.90	2.208	50	37
1 1/4	42.20	2.90	2.832	50	37
1 1/2	48.30	2.90	3.255	50	19
2	60.30	3.25	4.584	50	19
2 1/2	76.10	3.25	5.854	50	19
3	86.90	3.65	7.693	50	7
4	114.30	4.05	11.040	50	7

Tabla 6: Información sobre la Cañería adoptada.

En la tabla 6 se encuentra información de catálogo de un fabricante de cañerías que podríamos adoptar para su instalación, allí se encuentran los diámetros comerciales.

Por lo que nos vemos a optar por distintos **diámetros finales** para la compra.

CAÑERIA	TRAMO	DIAMETRO FINAL Φ (")
PRIMARIA	A-G	1 1/2
SECUNDARIA	G-9	1/2”
SECUNDARIA	D-12	3/4 "
TERCIARIA	B-1	1/2 "
TERCIARIA	C-2	1/2 "
TERCIARIA	E-3	1/2 "
TERCIARIA	F-4	1/2 "
TERCIARIA	G-5	1/2 "

Tabla 7: Diametro final.

Sobre la tabla 7 podemos ver los diámetros finales que tomaremos en cuenta para la compra y su instalación.

FICHA TÉCNICA

Largo comercial	6,4 mts
Recubrimiento externo	Galvanizado por inmersión en caliente (0,450 Kg/m2)
Extremos	Roscados
Propiedades mecánicas del material base:	
Tensión de rotura	320 a 520 N/mm2
Alargamiento porcentual de rotura mínima	15
Propiedades químicas	
Azufre max	0.035
Fósforo max	0.035
Carbono equivalente max	0.45
Ensayos mecánicos	Aplastamiento y abocardado
Prueba hidrostática	50 bar en 5 seg - 100 % de los caños

Fig.16 - Ficha técnica de cañería.

En la figura 16 tenemos mas información de la cañería adoptada que servirá para calcular la compra de la cañería.

Cálculo del depósito

Algunas de las funciones principales de este son:

1- Poder tener una acumulación de energía para poder afrontar “picos” de consumos que superen la capacidad del compresor.

2- Contribuir al enfriamiento del aire y disminuir la velocidad del aire con el motivo de separar el condensado y aceite proveniente del compresor.

3- Amortizar las pulsaciones provenientes del compresor y que se permita regular el compresor entre el consumo generado y el consumido.

Hay tres parámetros a tener en cuenta para poder calcular este valor, estas son:

- El sistema de regulación, que simplemente es el horario de maniobras horarias, este valor es por marcha y parada y es de 10.
- La amplitud del rango de presiones dentro del compresor, que usualmente es de 0,8 a 1 bar.
- Capacidad del compresor, que ya lo hemos obtenido anteriormente y es de $10\ N\frac{m3}{min}$.

Mediante estos 3 parámetros y el siguiente gráfico obtenemos la capacidad del acumulador:

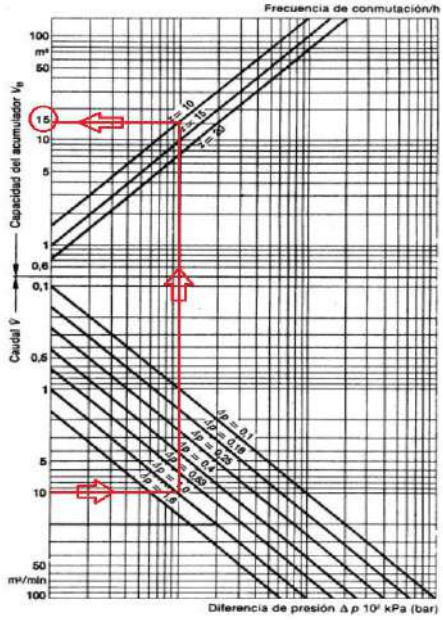


Fig.17 - Tabla de Capacidad de Acumulador.

En la figura 17 podemos observar la tabla de cálculo de capacidad de acumulador en el que entramos con los tres datos anteriores.

En resultado del volumen que necesitamos en el acumulador es de:

$$V=15 \quad m3$$

Con este valor contemplaremos el total del caudal de consumo diario, además de tener en cuenta los 2 $\frac{m3}{min}$ que adicionamos por futuras ampliaciones, nos basta.

Resultados y conclusiones

A continuación, estarán comprendidas las máquinas y herramientas elegidas de manuales de ventas para la incorporación al sistema del abastecimiento según los requisitos anteriormente analizados y hallados. En la tabla 8 se encuentra la lista de accesorios necesarios para la instalación según sus requisitos.

- Para el Post-Enfriador:

Modelo	Caudal máx. recomendado	Presión máxima de trabajo	Tensión de alimentación
TCG-PE-630	20.000 Ltrs. / min.	15 bar.	3 x 380 Vca
TCG-PE-300	3000 Ltrs. / min.	15 bar.	3 x 380 Vca
TCG-PE-350	6000 Ltrs. / min.	15 bar.	3 x 380 Vca
TCG-PE-500/1	10.000 Ltrs. / min.	15 bar.	3 x 380 Vca
TCG-PE-500/2	**15.000 Ltrs. / min.**	**15 bar.**	**3 x 380 Vca**

Fig.19 - Modelos de Post-Enfriadores según consumo.

- Para el compresor rotativo:

¿Por que compresor rotativo a tornillo y no uno a émbolo? Porque la demanda de aire comprimido para este proyecto es un valor alto para tener en cuento uno a émbolo. Una opción es este compresor a tornillo de 10500 Lts/min (10,5 m3/min):

Prestaciones											
Nombre	Código	Potencia hp/kw	Caldera litros	Aire real lts/min.	Volt/hz.	Presión max. bar	Dimensiones lxhxa	Conexión BSP	dB(A)	Peso kg.	
VEGA 1010	V60SH92N1N064	10/7,5	-	1000	400/TRIF/50	10	1200x700x1010	3/4"	62	326	
VEGA 1510	V60SP92N1N064	15/11	-	1500	400/TRIF/50	10	1200x700x1010	3/4"	63	350	
VEGA 2010	V60SS92N1N064	20/15	-	1850	400/TRIF/50	10	1200x700x1010	3/4"	64	410	
VEGA 2510	V60SV92N1N064	25/18,5	-	2500	400/TRIF/50	10	1510x730x1080	3/4"	70	436	
VEGA 3010	V60SY92N1N064	30/22	-	3000	400/TRIF/50	10	1510x730x1080	3/4"	71	635	
VEGA 4010	V60TE92N1N064	40/30	-	4300	400/TRIF/50	10	1510x730x1080	3/4"	71	710	
VEGA 5010	V60TW92N1N064	50/37	-	5300	400/TRIF/50	10	1600x950x1500	1 1/4"	70	870	
VEGA 6010	V60EI92N1N364	60/45	-	6500	400/TRIF/50	10	1600x950x1500	1 1/4"	72	910	
VEGA 7510	V60NT92N1N364	75/55	-	7800	400/TRIF/50	10	1600x950x1500	2"	74	952	
VEGA 7610	V60AP92N1N064	75/55	-	8300	400/TRIF/50	10	1900x1300x2040	2"	70	1650	
VEGA 10010	V60AZ92N1N064	100/75	-	10500	400/TRIF/50	10	1900x1300x2040	2"	72	1729	

Fig.20 - Compresores según su consumo de marca NUAIR.

- Para el acumulador:

Se tuvo la elección de dos acumuladores tanto de 1000 l sumado a uno de 5000 l para completar el calculo de 15000 l (15 m3) que debemos tener en cuenta para el proyecto. Si bien estos son dos, claramente tienen que entrar en la sala de máquinas, por lo cual la elección es vertical.

Capacidad del Tanque	Presión máxima permitida	Versiones posibles		Versión vertical				Versión horizontal			
Litros	poig	Vertical	Horizontal	Altura mm	Ø mm	Conexión de entrada/ salida	Peso kg	Longitud mm	Ø mm	Conexión de entrada/ salida	Peso kg
5000	160 230	SI	SI	3570	1400	4 x DN 100	1400 1430	3470 3700	1400	4 x DN 100	1100 1800
8000	160 230	SI	SI	4400	1600	4 x DN 200	1680 2350	4440 4400	1600	4 x DN 200	1850 2350
10000	160 230	SI	SI	5415	1600	4 x DN 200	2260 2540	5400 5440	1600	4 x DN 200	2200 2650

Fig.21 - Acumuladores elegidos según el gran consumo.

- Para el secador frigorífico:

Prestaciones										
Nombre	Código	Refrigerante	Caudal *lts/min.*	Caída de presión *bar*	Volt/hz.	Presión max. *bar*	Dimensiones *bxhxa*	Conexión *entrada-salida*	Peso *kg.*	
AMD 3	AMD003	R134.a	350 lts/min	0,15	230/MONO/50	16	320x345x435	3/8"	21	
AMD 6	AMD006	R134.a	600 lts/min	0,04	230/MONO/50	16	370x515x475	1/2"	25	
AMD 9	AMD009	R134.a	950 lts/min	0,09	230/MONO/50	16	370x515x475	1/2"	26	
AMD 12	AMD012	R134.a	1,200 lts/min	0,14	230/MONO/50	16	370x515x475	1/2"	28	
AMD 18	AMD018	R134.a	1,800 lts/min	0,32	230/MONO/50	16	370x515x475	1/2"	32	
AMD 25	AMD025	R134.a	2,500 lts/min	0,24	230/MONO/50	14	345x420x740	1"	34	
AMD 32	AMD032	R134.a	3,200 lts/min	0,16	230/MONO/50	14	345x445x740	1 1/4"	39	
AMD 43	AMD043	R404A	4,300 lts/min	0,24	230/MONO/50	14	345x445x740	1 1/4"	40	
AMD 52	AMD052	R404A	5,200 lts/min	0,34	230/MONO/50	14	345x445x740	1 1/4"	41	
AMD 61	AMD061	R404A	6,100 lts/min	0,19	230/MONO/50	14	555x580x885	1 1/2"	54	
AMD 75	AMD075	R404A	7,500 lts/min	0,25	230/MONO/50	14	555x580x885	1 1/2"	56	
AMD 105	AMD105	R404A	10,500 lts/min	0,14	230/MONO/50	14	555x625x975	2"	94	
AMD 130	AMD130	R404A	13,000 lts/min	0,20	230/MONO/50	14	555x625x975	2"	96	

Fig.22 - Secadores Frigoríficos AMD según su consumo.

En las figuras 18-22 se muestran las tablas de los catálogos de seleccionado de maquinaria para la generación y tratamiento del A.C.

Lista de materiales y accesorios		
Accesorio	**Cantidad**	**Unidad**
Caños Acero Galvanizado 1 1/2" x 6,4m	3	u
Caños Acero Galvanizado 3/4" x 6,4 m	3	u
Caños Acero Galvanizado 1/2" x 6,4 m	6	u
Curva a 90° Acero Galvanizado Rosca H-H 1 1/2"	10	u
Curva a 90° Acero Galvanizado Rosca H-H 3/4"	5	u
Curva a 90° Acero Galvanizado Rosca H-H 1/2"	10	u
Cupla Acero Galvanizado 1 1/2"	5	u
Cupla Acero Galvanizado 3/4"	3	u
Cupla Acero Galvanizado 1/2"	10	u
F.R. L.	14	u
Tee Acero Galvanizado 1 1/2"	7	u
Tee Acero galvanizado 3/4"	3	u
Tee Acero Galvanizado 1/2"	5	u
Reducción de Acero Galvanizado de 1 1/2" a 3/4"	1	u
Reducción de Acero Galvanizado de 1 1/2" a 1/2"	5	u
Válvula esférica metal 1 1/2"	4	u
Válvula esférica metal 3/4"	1	u
Válvula esférica metal 1/2"	6	u
Grampas Omega 1 1/2"	30	u
Grampas Omega 3/4"	20	u
Grampas Omega 1/2"	30	u
Tornillos y tarugos de 8mm	200	u
Sellador Anaeróbico 50 g	20	u

Tabla 8: Lista de accesorios.

Vinculación del proyecto con la carrera

En el presente trabajo se pueden ver vinculados los conocimientos de materias como Sistema de representación, Fundamentos de informática, Termodinámica, Mecánica de los fluidos, Automatización, Física 1, Organización industrial e Instalaciones Industriales entre otras.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

Algunas de las Normas a aplicar para aire comprimido pueden ser la ISO 8573 e ISO 4414.

La ISO-8573 recoge un conjunto de normas encaminadas a regularizar los estándares en **la calidad del aire comprimido**, independientemente de la ubicación del sistema de aire comprimido en el que se especifique o se mida el aire. Para nuestro caso no hace falta aplicar porque el sistema es básico y tenemos herramientas que no trabajan con muchos requerimientos de calidad de aire.

La ISO 4414: 2010 especifica las **reglas generales** y los **requisitos de seguridad** para los sistemas y componentes de energía de fluido neumático utilizados en maquinaria. También aborda todos los riesgos significativos asociados con los sistemas de energía de fluido neumático y especifica los principios a aplicar para evitar esos peligros cuando los sistemas se utilizan para su uso previsto.

A lo largo del trabajo incorporé conocimientos y habilidades para realizarlo, tales como de cálculo, investigación, planificación, organización, comunicación, búsqueda de maquinaria y herramientas, que son esenciales en el día de mañana. También tuve la oportunidad de aplicar y relacionar lo aprendido en trabajos anteriores.

Por esto y por todo lo aprendido le doy gracias a mi Tutor Comasco Adalberto quien me guío y me brindó de información útil.

Transferencia de calor en régimen transitorio

Alumna: Constanza Murgia

Docente tutor: Ing. Juan José Muriel

Introducción

En el presente informe se realizará un estudio detallado sobre transferencia de calor en régimen transitorio.

La propuesta consiste en desarrollar una experiencia a realizarse en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional La Plata, con el objetivo de verificar las soluciones adimensionales de transferencia de calor en régimen transitorio para geometrías sencillas como cilindros, esferas y placas planas. Por lo tanto realizaremos una práctica de laboratorio para los alumnos, en base al fenómeno de trasferencia de calor en régimen transitorio.

El dispositivo para el mencionado estudio se confecciono en la facultad ya que cuenta con una máquina de control numérico (torno CNC), elegimos trabajar con geometrías esféricas, bolas de Biot, utilizando tres materiales distintos que presenten una marcada diferencia en el coeficiente de difusividad térmica.

Las bolas de Biot serán fabricadas de: acero inoxidable AISI 304, aleación de aluminio (Camplo) y de resina acetal (Delrin); todas ellas de 50mm de diámetro y con un orificio en dirección radial de 25mm de profundidad, para llegar con un sensor de temperatura al centro de las esferas y un orificio roscado, también en dirección radial, pero desplazado unos 15 grados del anterior, para montar un cáncamo de sujeción.

MARCO TEÓRICO

Cuando hablamos de conducción transitoria, estamos hablando de un cuerpo que, se enfría o se calienta, con el paso del tiempo.

Imaginemos piezas cilíndricas, esféricas o placas planas. Las cuales tendrán una temperatura

inicial To y supongamos que se las colocan en un horno a una temperatura Tf; el mismo, intercambiará calor con las piezas con una intensidad determinada.

Con el paso del tiempo la pieza alcanzará una temperatura Tx determinada. La velocidad con la que ocurra el calentamiento dependerá, entre otros factores de la difusividad térmica (α), y tendrá una temperatura en su centro (Tx=0) y otra más alta en su superficie (Tx.=l). Pero como hablamos de una esfera nos quedaría T(r=0) y T(r=R) siendo R el radio de la esfera.

En la conducción transitoria, la temperatura de un mismo punto del cuerpo varía en el intervalo de tiempo, por lo que el flujo de calor no es constante; es decir, la conducción transitoria ocurre en los procesos de enfriamiento o calentamiento de superficies sólidas. Ejemplo: el calentamiento de un eje en un horno para darle tratamiento térmico, enfriamiento o calentamiento de paredes de hornos, etc. En el proceso de transferencia de calor, en estado transitorio, tiene gran importancia la difusividad térmica, su sentido físico y la forma de determinarla se ha expuesto en el contenido de la cátedra Tecnología del calor, de la carrera ingeniería Mecánica de la Universidad. Pero diremos que representa la rapidez con la que el calor se difunde a través de una material y tiene unidades m^2/s. La relación entre la conductividad térmica y la capacidad calorífica específica a presión constante es una propiedad importante de la difusividad.

Surgen algunos interrogantes sobre este fenómeno:

- ¿Qué temperatura tendrá el cuerpo, en la superficie o en el centro, cuando se introduce en el horno por un tiempo determinado?
- ¿Cuál será el tiempo necesario que hay que mantener un cuerpo en el horno, para que su temperatura en el centro alcance un valor determinado?
- ¿Cuál es la cantidad de calor que el cuerpo absorbe en un intervalo de tiempo dado?

Es importante aclarar que aún no disponemos de métodos analíticos de resolución de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el fenómeno, y por tal motivo se recurre a soluciones de tipo general, con parámetros adimensionales ajustados a las geometrías sencillas antes mencionadas.

Ingresando a la tabla correspondiente que se encuentra en el anexo para cuerpos de geometría esférica, con los datos del problema, podemos determinar (predecir) el tiempo

que demandará el proceso de enfriamiento / calentamiento de otro material hasta una determinada temperatura.

En el presente trabajo, se brindará toda la información necesaria para llevar a cabo la realización de unos dispositivos experimentales, que posibiliten realizar una práctica de laboratorio relacionada con la transferencia de calor por conducción en régimen transitorio.

Lo que hacemos referencia es que este informe se basa en desarrollar una experiencia de laboratorio para la catedra de transferencia de calor

Se pretende entonces, diseñar y construir los elementos que permitan desarrollar dos ensayos distintos:

Enfriamiento en régimen transitorio

Consiste en calentar hasta 80°C en una estufa con temperatura contralada; tres cuerpos esféricos de distinto material y de iguales dimensiones, para luego someterlas a enfriamiento sumergiéndolos en una cubeta con agua a temperatura ambiente.

Calentamiento en régimen transitorio

Con los mismos materiales, pero con las esferas a temperatura ambiente y el baño de agua a una temperatura contralada de 80°C.

Dimensionar un recipiente termoestatizado, que se utilizará como baño de enfriamiento/calentamiento.

El fluido que se tendrá en cuenta para el desarrollo de la experiencia será agua y la metodología, consistirá en hacer una primera experiencia para cuantificar el efecto refrigerante del baño y luego predecir resultados para los otros materiales y naturalmente, verificarlos.

Metodología del ensayo

Observamos que cuando se trata del fenómeno de transferencia de calor en régimen transitorio, no existe ningún camino analítico a seguir, sino que se debe contar y utilizar las gráficas desarrolladas experimentalmente.

Pero, ¿por qué confiar en estas gráficas?

En este ensayo de laboratorio, se propone a los alumnos desafiar los conocimientos dados

hasta el momento, tomando nuestros propios datos y verificando sí coinciden con lo predicho por tales gráficas.

Elementos necesarios para realizar la experiencia:

- Recipiente.
- Esferas.
- Estufa calibrada.
- Termómetro asociado a la esfera.
- Termómetro asociado al baño.
- Cronómetro.
- Dispositivo de filmación.
- PC para registro y grafico de datos

Fabricación de las bolas de BIOT

Se procede a realizar el plano de las esferas con Autocad o SolidEdge, con los datos dimensionales correspondientes. Como se observará más adelante en la figura 1 de dicho informe.

Dichas esferas deberán contar con un orificio hasta alcanzar su centro, en el cual se colocará un termómetro, efectuando así la medición de la temperatura.

Resulta una condición de diseño que tal orificio sea del correcto diámetro, con una tolerancia superior finita, para lograr una condición de estanqueidad donde solo penetre la punta del termómetro, sin que ingrese algún agente externo que afecte la lectura del mismo (se utilizó un sello de resina líquida).

Las esferas fueron construidas en el torno CNC de la facultad, con la realización de una esfera de madera como prueba, antes de ejecutarlas en los materiales correspondientes.

Se seleccionaron 4 herramientas, denominadas:

a) Herramienta de desbaste: utilizada para realizar la primera mitad de la esfera.
b) Dos herramientas de corte: una utilizada para realizar la parte posterior de la esfera y la otra para desprender la esfera del torno.
c) Herramienta de forma: utilizada para lograr el acabado superficial de la esfera.

Estas herramientas son cargadas en la computadora del torno CNC. Se realizó la puesta a cero de la máquina y de la pieza, para referenciar el punto de partida del programa.

Alcanzadas estas condiciones, se procedió a cargar el programa en el CNC y la simulación gráfica, para verificar que no ocurra ningún accidente por falta de elementos o que falle algún paso del programa cargado.

Teniendo estas condiciones, colocamos una pieza de quebracho en el torno mecánico convencional y reducimos su diámetro hasta lograr un valor de 10 mm por encima del diámetro final.

Luego se introdujo en el torno CNC y se comenzó con la fabricación de la esfera de madera, se utilizó el programa en modo bloque a bloque, que significa realizar cada paso como tarea individual, comandando cada una de ellas manualmente, para evitar cada sobresalto o ruptura, en caso de que falle la puesta a cero o el programa.

Observada la correcta simulación se procedió a la ejecución automatizada, completando así la primera esfera.

Al retirar la pieza del torno, se observó una notable rugosidad superficial desde la mitad de la esfera hacia el final de la misma, analizamos la causa de tal defecto. El mismo radicaba en la vibración de la herramienta al realizar la pasada final de acabado, debido a la velocidad y al material.

En esta primera prueba, el tiempo de realización fue de: 9 min 7 seg.

Luego modificamos la velocidad del programa para corregir las vibraciones.

Esta segunda prueba se realizó en 6 min 5 seg. y su rugosidad se vio disminuida pero no eliminada.

Posteriormente, se realizó una prueba con teflón, donde se observaba el mismo defecto superficial; descartando así, una falla por el tipo de material.

Para solucionar la falla presentada en el producto final, realizamos un cambio en la herramienta.

Días más tarde se probó el programa (con las velocidades utilizadas en las últimas pruebas) y con la nueva herramienta, logrando así eliminar el problema de las vibraciones.

Al verificar el proceso, se completó el número de esferas pedidas (2 de teflón, 2 de aluminio

y 2 de acero) sumadas a las de madera de prueba.

Se colocaron nuevamente en el torno para realizar el orificio.

Si bien el acabado superficial no es el requerido, ya que deben tener una rugosidad tendiendo a cero para que la conducción sea uniforme en toda su superficie, se obtuvo un resultado dentro de las tolerancias admisibles.

Luego, aprovechando el orificio existente, se realizó un anclaje, para colocar en el torno las esferas y pulirlas para obtener una aún mejor terminación superficial.

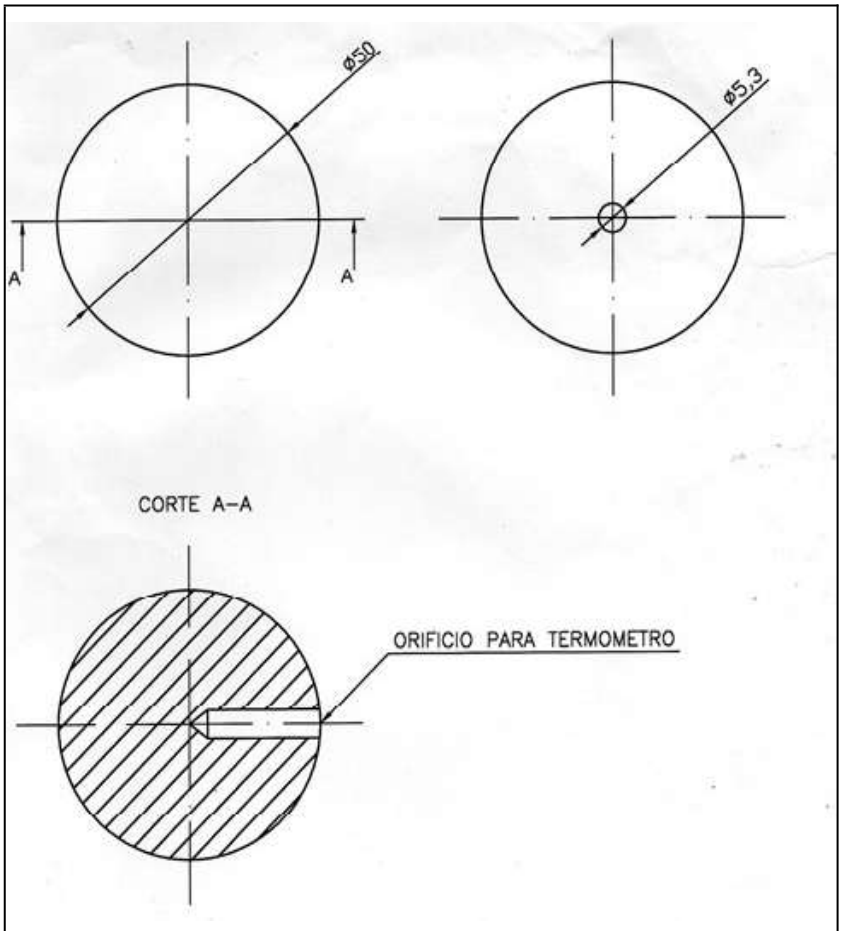


Fig.1 - Plano de la esfera.

Herramientas utilizadas

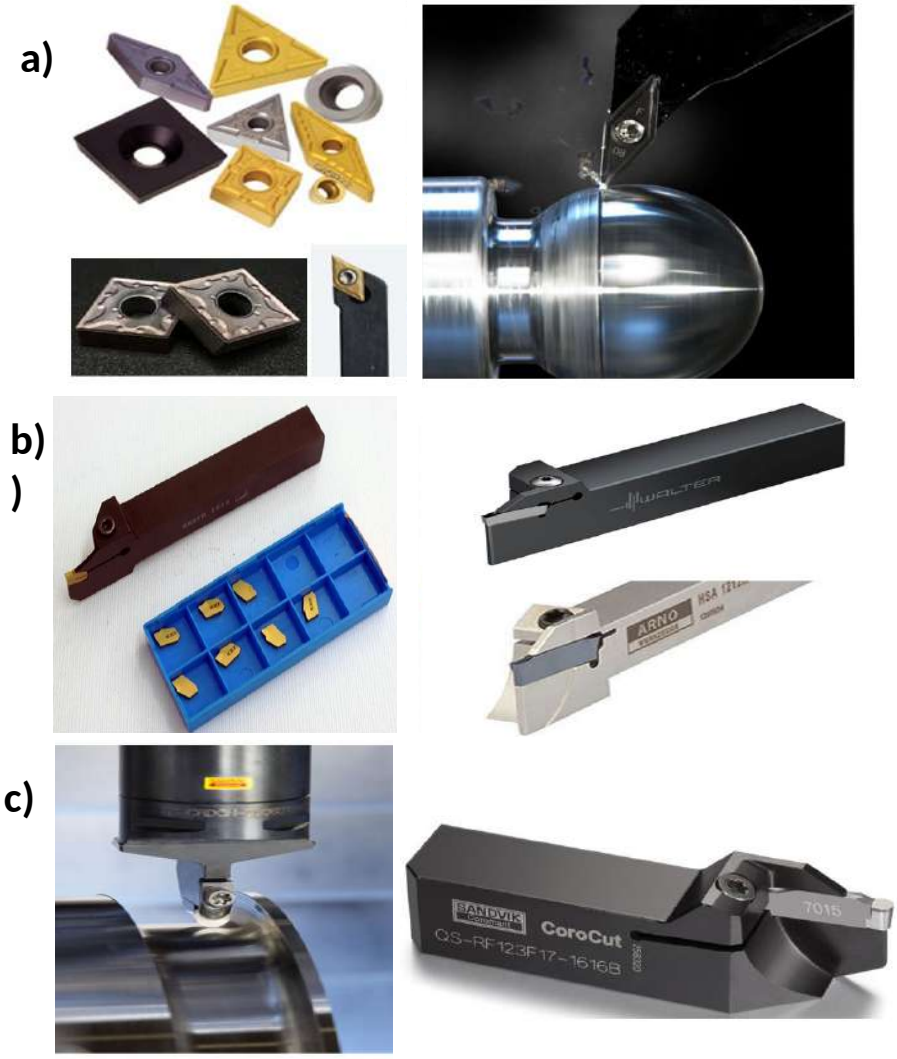


Fig.2 - a) Herramienta de desbaste; b) Herramienta de corte; c) Herramienta de forma.

Comienzo del ensayo

Una vez fabricadas las tres esferas de igual geometría y diferente material, las cuales tienen practicada una perforación hasta su centro para insertar un termómetro y poder medir las variaciones de temperatura en el centro de las mismas y conociendo el coeficiente de cada material, con los datos de geometría de la esfera, se propone a los alumnos realizar el cálculo teórico de los coeficientes de Biot y Fourier requeridos para ingresar a la tabla.

En primera instancia, haremos las experiencias utilizando la esfera de acero inoxidable, que presenta una difusividad térmica intermedia con respecto a los otros dos materiales.
En ambos casos la diferencia de temperatura será de unos 50°C a 60°C.
Como valores referenciales, presentamos la esfera a 80°C y el agua a 20°C para el ensayo de enfriamiento y valores inversos para el ensayo de calentamiento.
Un sensor de temperatura de respuesta rápida, puesto en contacto con el centro de la esfera nos permitirá trazar las curvas de enfriamiento / calentamiento, según el caso, en un gráfico de temperatura vs tiempo.
Con esta información estaremos en condiciones de determinar el coeficiente convectivo del baño, en uno y otro caso.
Las esferas fueron colocadas previamente en la estufa calibrada y se programó para alcanzar una temperatura final de 70 ˚C.
Dispondremos de un recipiente lo suficientemente grande para tratar de evitar la variación de temperatura durante el desarrollo de la práctica, el cual es llenado con agua a temperatura ambiente, la misma debe ser medida.
Al instante de comenzar el ensayo, se deben registrar las temperaturas indicadas por ambos termómetros (baño y esfera).
Asegurarnos de estar filmando y listos para iniciar el cronómetro.
El registro de datos, y el resguardo del material fílmico, son factores importantes a la hora de realizar la experiencia, debido a que esto viene acompañado a errores inherentes; ya que la toma de datos es realizada manualmente, y esto trae como consecuencia el tiempo de respuesta en el instante en el que se enciende el cronómetro, o el simple hecho de anotar erróneamente algún valor.
Debido a esto, con la ayuda de un alumno de la carrera de sistemas, diseñamos un sistema administrador de datos automatizado, que será explicado posteriormente.
Una vez alcanzada la temperatura deseada se deberá sumergir la esfera instantáneamente en el baño frio, y comenzar a tomar datos a intervalos iguales de tiempo.
Al alcanzar la temperatura del baño con la esfera. Finalizar el ensayo.
Generar una tabla de datos temperatura/tiempo y en base a ésta realizar la gráfica de

enfriamiento.

Determinar experimentalmente el coeficiente de transferencia por convección (H) del baño con los valores obtenidos y comparar con los datos analíticos.

Datos, cálculos y curvas

Durante el ensayo se hará el relevamiento de todos los datos necesario para realizar la experiencia. A continuación en la siguiente tabla se observan los parámetros necesarios para los cálculos:

PARÁMETRO	SIMBOLOGIA	UNIDAD
Diámetro	D	m
Masa	M	gr
Densidad	D	gr/cm^3
Conductividad Térmica	K	W/m °C
Calor específico	Cp	J/Kg °C
Difusividad Térmica	A	m^2/s
Temperatura variable	T(r,t)	°C
Temperatura inicial	Ti	°C
Temperatura del baño	T∞	°C
Temperatura adimensional	Θ(0,t)	adim
Número de Biot	Bi	adim
Número de Fourier	Fo	adim
Coeficiente de transferencia del baño	H	W/m^2 °C

Tabla 1: Parámetros de ensayo.

Tabla de las propiedades de los materiales

Una vez mencionados los parámetros estableceremos en una tabla las características de cada una de las esferas que serán necesarias para realizar las curvas de ensayos de calentamiento y enfriamiento.

Material	Diámetro(m)	Peso(kg)	Densidad(kg/m^3)	K(W/m ^{0}C)	Cp(J/kg ^{0}C)	α(m^2/s)
Acero Inox 304	0,0499	0,4985	7709	14,4	510	3,66264E-06
Resina Acetal	0,0501	0,0925	1413	0,30238	1507,25	1,4198E-07
Camplo	0,0499	0,0499	2814	130	856	5,39691E-05

Tabla 2: Propiedades de los materiales.

Primeras experiencias

Dos ensayos de calentamiento y uno de enfriamiento con la esfera de acero inoxidable

Rango de tiempo desde 0 a 120 segundos y temperatura desde 27,5 a 96,6° C.

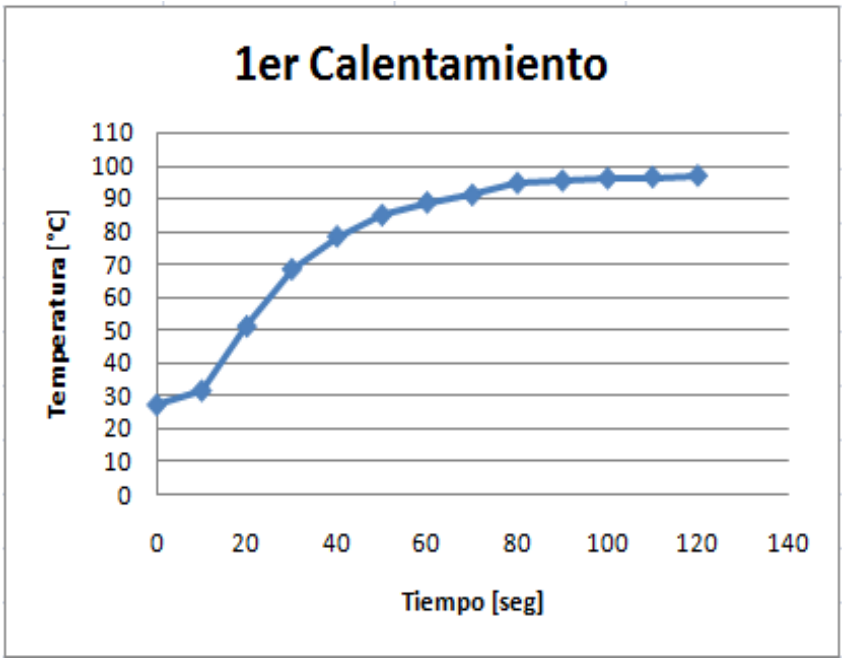


Fig.3 - Grafica de calentamiento- Acero Inoxidable.

Rango de tiempo desde 0 a 120 segundos y temperatura desde 27,5 a 96,6° C.

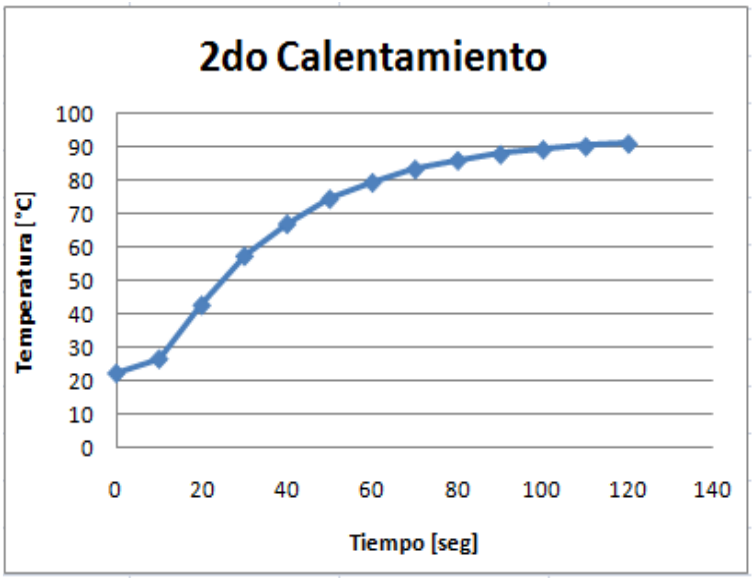


Fig.4 - Grafica tiempo vs temperatura- Acero inoxidable.

Rango de tiempo desde 0 a 120 segundos y temperatura desde 93,5 a 31,5° C.

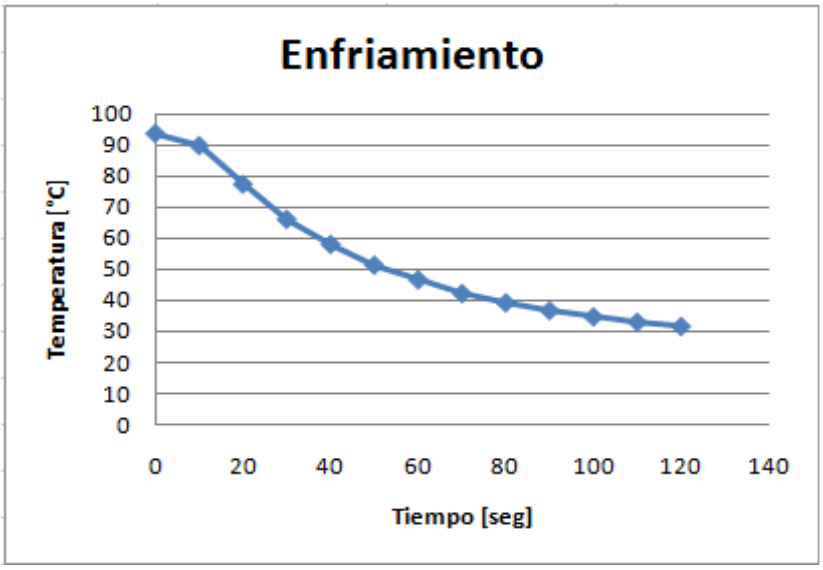


Fig.5 - Grafica tiempo vs temperatura- Acero inoxidable.

Calentamiento en baño de agua hirviendo de bolas de acero inoxidable y de resina

Rango de tiempo desde 0 a 150 segundos y temperatura desde 26,5 a 96,7° C.

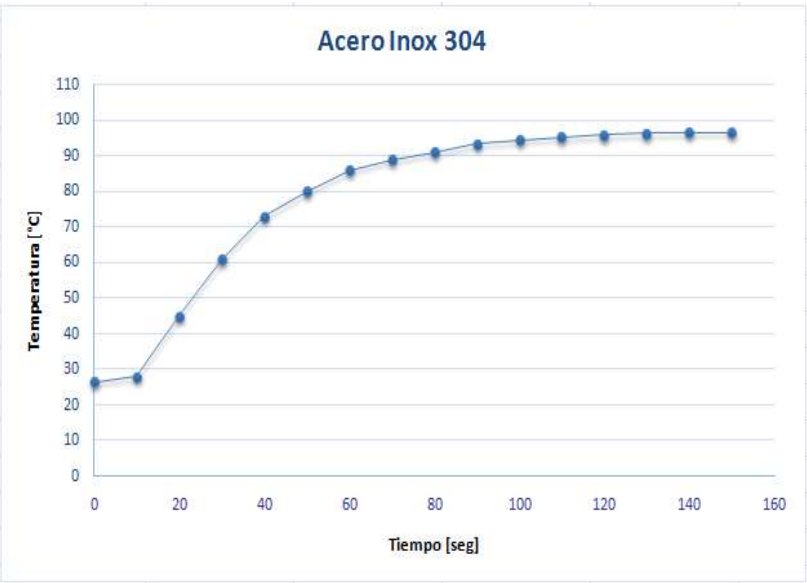


Fig.6 - Grafica tiempo vs temperatura calentamiento baño- Acero inoxidable.

Rango de tiempo desde 0 a 820 segundos y temperatura desde 22,5 a 79,5° C.

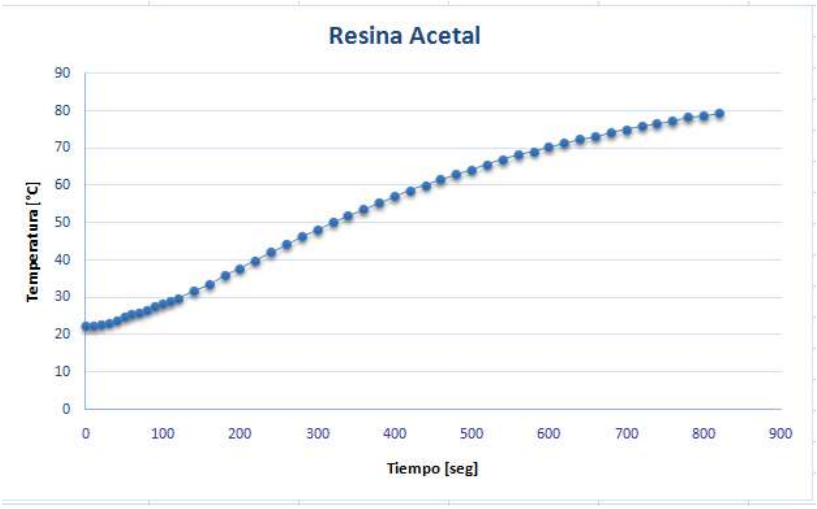


Fig.7 - Grafica tiempo vs temperatura calentamiento baño- Resina Acetal.

Enfriamiento en baño de agua a temperatura ambiente de bola de acero inoxidable calentada en estufa hasta la temperatura de 80 °C.

Rango de tiempo desde 0 hasta 312 segundos y temperatura desde 80 a 19,5° C.

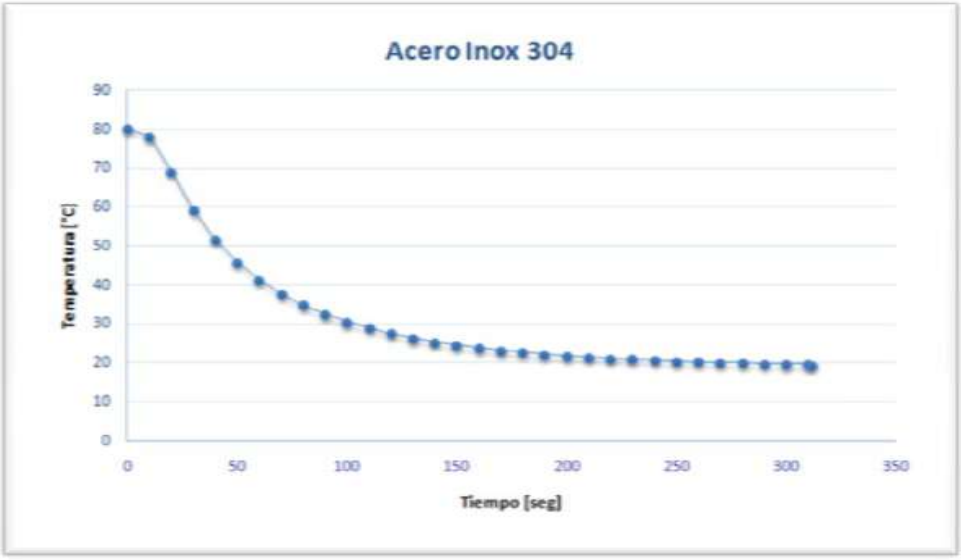


Fig.8 - Grafica tiempo vs temperatura enfriamiento baño- Acero Inoxidable.

Cálculo del baño

Para definir el valor del coeficiente de transferencia por convección desde el baño hacia el cuerpo se tomarán datos experimentales.

La temperatura inicial de la esfera: 80 °C y la temperatura del baño 19,6 °C (agua corriente).

Con estos datos podremos calcular el tiempo adimensional (Número de Fourier) y la temperatura adimensional (coordenadas del gráfico de Heisler), de dicho gráfico podremos establecer el valor del parámetro 1/Bi y con una simple fórmula determinamos el valor de H.

- Número de Biot:

$$Bi = \frac{h\ r\ o}{k}$$

- h es el coeficiente convectivo de calor
- ro es el radio de la esfera (longitud característica)
- k es el coeficiente conductivo de calor

• Tiempo adimensional: se denomina como el Número de Fourier dado por:

$$Fo=\frac{\alpha\ t}{ro^2}$$

▪ α es la disfusividad térmica

▪ *t* tiempo característico

▪ ro es la longitud a través de la que la conducción de calor ocurre

• Temperatura adimensional:

$$\Theta\ (r,t)=\frac{T\ (r,t)-T\infty}{Ti-T\infty}$$

▪ T(r,t) temperatura de de un punto (r,t) determinado del cuerpo que se enfria o calienta

▪ Ti es la temperatura del cuerpo en el instante incial (t=0)

▪ T(∞) temperatura del medio frio o caliente donde está colocado en cuerpo que se enfría o calienta

DATOS DEL ENSAYO				VALORES CALCULADOS			DE TABLA	CALCULADOS	
t[seg]	T(o,t) [°C]	Ti[°C]	T∞[°C]	r_0[m]	Fo	q(0,t)	1/Bi	Bi	h[W/m² °C]
10	78,1	80,0	19,6	0,02495	0,06	0,969			
20	69,1	80,0	19,6	0,02495	0,12	0,820			
160	23,8	80,0	19,6	0,02495	0,94	0,070			
170	23,2	80,0	19,6	0,02495	1,00	0,060	0,73	1,37	790,62
180	22,7	80,0	19,6	0,02495	1,06	0,051			
200	21,8	80,0	19,6	0,02495	1,18	0,036			
220	21,2	80,0	19,6	0,02495	1,29	0,026			
240	20,6	80,0	19,6	0,02495	1,41	0,017			
260	20,2	80,0	19,6	0,02495	1,53	0,010			
270	20,1	80,0	19,6	0,02495	1,59	0,008	0,73	1,37	790,62
280	19,9	80,0	19,6	0,02495	1,65	0,005			

Tabla 3: Datos de ensayo y calculados.

En conclusión, se realizó la tabla desde 0 hasta un valor de 270 segundos; por lo tanto, realizando los cálculos correspondientes se estableció que el valor promedio calculado es de

h= 790, 62 W/m^2 ˚C. Este valor se obtiene h=k (Wm/ C) . Bi /ro con el ro es el 270 en segundos.

Predicción en los tiempos

Una vez determinado el coeficiente de transferencia por convección (h) del baño con los datos experimentales del material, podríamos predecir el tiempo en el que alcanzará una determinada temperatura el centro de la esfera de otro material.

Calculamos el número de Biot resultante para otro material, su valor inverso y la temperatura adimensional. Luego, utilizando las gráficas de Heislers correspondientes a cuerpos esféricos se determina el tiempo adimensional (número de Fourier) de la relación dimensional y finalmente, podremos calcular el tiempo.

DATOS DEL PROBLEMA				
MATERIAL	**r_0 [m]**	**Ti [°C]**	**T∞ [°C]**	**T(o,t)[°C]**
Inox 304	0,02495	80,0	19,6	23,2
Delrin	0,02505	80,0	19,6	23,2
Camplo	0,02495	80,0	19,6	23,2

Tabla 4: Datos del problema.

VALORES CALCULADOS			DE TABLA	CALCULADO
⚠(0,t)	**Bi**	**1/Bi**	**Fo**	**t [seg]**
0,060	1,37	0,73	1	170,0
0,060	65,50	0,015	0,38	1679,5
0,060	0,15	6,59	6,6	76,1

Tabla 5: Valores calculados y de tabla.

Por lo tanto, a continuación, se puede observar la gráfica del ensayo de cálculo del baño a una temperatura de 100°C; tomando el rango de tiempo desde 0 hasta 1800 segundos y una temperatura desde los 20,8 a 98 °C con un cronómetro y un termómetro digital, posibilitando la creación de la tabla mediante Excel.

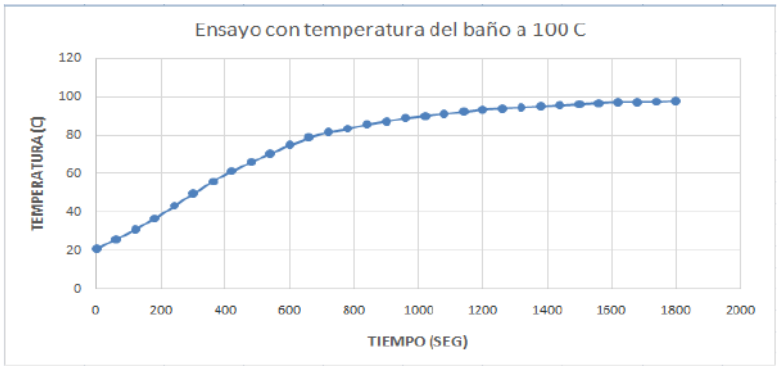


Fig.9 - Grafica tiempo vs temperatura baño.

Resultados, conslusiones y recomendaciones

Durante el estudio y análisis de todos los factores que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este trabajo, como así también las características de cada uno de los materiales, se llegó a la conclusión de que el computo de los valores experimentales era muy engorroso, debido a la toma de datos en forma manual y a la confección de las curvas de calentamiento y enfriamiento a través de hojas de cálculos de Excel.

Se espera que, con lo propuesto y desarrollado en el presente informe, los alumnos puedan realizar la experiencia y establecer sus conclusiones, observaciones y mejoras.

En lo que respecta al sistema administrador de datos se comenzó por un sistema básico de termocuplas y sensores.

Al realizar las pruebas correspondientes implementamos las siguientes mejoras:

- Nueva placa con software más versátil.
- Sistema de alarma en el que se puede definir el rango de tiempo que requiere el proceso y pararlo automáticamente.
- Confección de curvas mediante una aplicación, donde se observa en tiempo real la creación de las curvas a medida que el proceso avanza.
- Termocuplas y sensores acordes al sistema operativo.
- Los archivos son enviados a un mail o también se pueden guardar en una carpeta con la finalidad de que los alumnos tengan acceso y puedan resaltar algún detalle especifico que se le demande en el problema.

- Creación de un nuevo baño. La idea es realizar el análisis estructural, dimensional y de material mediante un programa de dibujo y fabricarlos en el torno CNC, incluyendo una tapa para poder analizar la pérdida de calor que ocurre sin tapa. La tapa se confeccionará con dos semicírculos unidos mediante algún mecanismo con el cual se pueda sujetar a la esfera con el cáncamo y poder ingresar el termómetro sin que se mueva, por lo que habría que realizarle algún orificio y rellenarlo con algún material adiabático para evitar la variación de temperaturas por contacto con el medio ambiente.

Fig.10 - Baño termoestatizado.

Se pretende entonces que, los alumnos puedan aportar ideas de automatización o mejoras a dicho laboratorio y que puedan utilizarlo a lo largo de la carrera. Es una experiencia que cualquier alumno con conocimiento en el tema puede realizar.

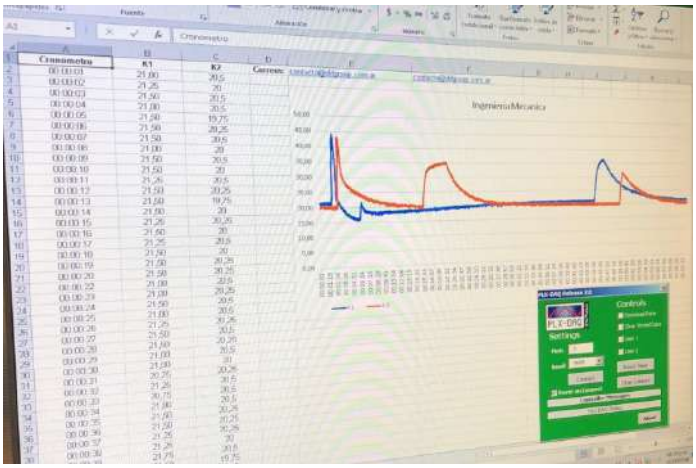


Fig.11 - Sistema administrador de datos.

Vinculación del proyecto con las materias de la carrera

Respecto a las materias vinculadas con el informe, se destacan principalmente las materias:

- Materiales Metálicos, comprendidos en los tratamientos térmicos de temple y a fines.
- Mecánica de los Fluidos, en el análisis de los fluidos y placas. Flujo turbulento o laminar en placas planas o superficies esféricas.
- Tecnología del calor, donde se estudian los fenómenos de transferencia de calor y los temas relacionados. Como conducción, radiación y convección.
- Máquinas alternativas y turbomáquinas, aplicación de este fenómeno en los equipos.
- Estabilidad II, análisis de los fenómenos de calor, fuerzas en placas planas, cilindros o esferas.
- Termodinámica, donde se establecen los casos básicos de transferencia de calor y las leyes de la termodinámica.

Lecciones y recomendaciones

El buen entendimiento del sistema de trasferencia de calor para régimen transitorio es un factor decisivo en la formación profesional del ingeniero. Debido a la importancia que tienen estos fenómenos en la industria metalúrgica, alimenticia, petrolera, etc.

Por eso es importante conocer entre otros tantos detalles: la periodicidad con que este fenómeno incurre en los procesos o equipos, cuáles son las partes críticas que requieren

mayor atención en cada situación que se proponga.

Se recomienda generar algún manual o recopilar hechos necesarios para la mejora del sistema o los equipos.

Sería deseable que el encargado de la práctica de laboratorio forme un equipo de alumnos o equipo de trabajo que asegure la aplicación del plan de desarrollo del proceso. Logrando así que el mismo sea confiable, supervisado y se pueda estructurar la implementación de un manual para los equipos necesario para la realización de la práctica.

En lo que respecta a la industria, tener un laboratorio que pueda analizar el fenómeno es una ventaja competitiva de la compañía y en las incumbencias del ingeniero.

Banco de pruebas para bombas centrífugas

Alumno: Alfredo G. Gallardo

Docente tutor: Ing. José Cordero

Introducción

Utilizare el proyecto desarrollado en forma general por el anterior practicante para conocer las diferentes partes necesarias para la realización de un banco de pruebas de bombas centrifugas.

En base a este, tomaré las diferentes restricciones dadas por la empresa, como el espacio y el dinero disponible, para así poder realizar un rediseño de este.

La principal restricción es la particularidad de la empresa de no poder realizar pozos para la obtención del agua necesaria durante la prueba, por lo que, se deberá tener en cuenta el volumen del tanque de almacenamiento que se va a utilizar, y que este no supere ciertos límites, lo que condicionará los diferentes caudales con los que se podrá trabajar.

En base a esta limitación, procederé a recalcular las dimensiones del tramo recto de las cañerías, los codos, reducciones, ampliaciones y las diferentes válvulas a utilizar, como así también el motor eléctrico.

La idea es dejar armado un proyecto que cuente con un archivo Excel y los planos correspondientes para futuras modificaciones deseadas por la empresa.

Se apuntará a abarcar la mayor cantidad de bombas posibles que se puedan ensayar, sin alterar de forma drástica los costos.

Marco de referencia

Una bomba centrífuga forma parte de un grupo de bombas denominadas rotodinámicas y son un tipo de máquina hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotario llamado rodete en energía cinética y potencial.

El banco de pruebas para Bombas Centrifugas es una herramienta que incluye la

instrumentación necesaria para observar la transformación de energía y eficiencia durante la actividad de bombeo. Ofrece las facilidades para realizar un ensayo a cada una de las bombas que se requiera analizar y obtener las curvas características de operación.

Para cumplir todos estos requisitos, el banco de pruebas debe tener ciertos elementos, como válvulas, el sistema de cañerías, el tanque de almacenamiento del fluido, algunos dispositivos de medición y control del proceso y un motor. Por lo cual, se debe tener en cuenta las normas internacionales y nacionales que competen para la funcionabilidad técnica del banco, entre las cuales tenemos:

- ANSI/HI 3.6.
- ASME PTC 8.2.
- BS en ISO 9906:2012.

Para la realización de este trabajo se recopilarán datos e información de las siguientes fuentes disponibles:

- Bibliografía Hidráulica y de bombas centrífugas.
- Catálogos de cañerías, válvulas y motores eléctricos.
- Trabajos realizados en otras instituciones.
- La Norma BS en ISO 9906:2012.

Cuerpo central

Propuesta inicial

La principal restricción impuesta por la empresa está dada por no poder realizar pozos para la obtención del agua necesaria durante la prueba, debido a que se sitúa en un lugar muy próximo al Río de La Plata, y el suelo del terreno es inestable. Por lo mencionado, se tomará en cuenta un primer croquizado del Banco de Pruebas que cuente con un tanque de agua exterior.

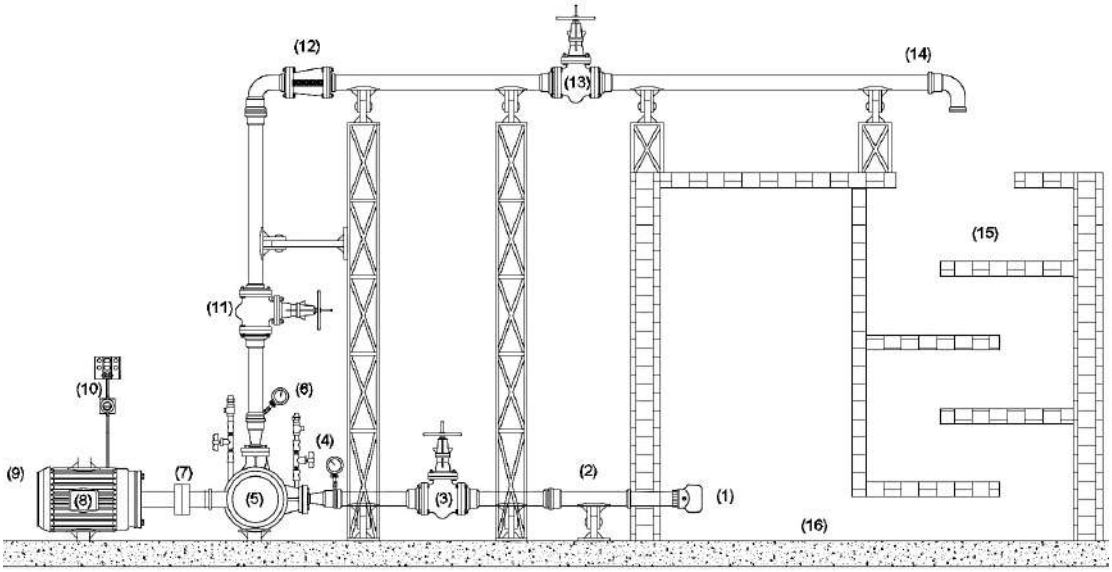


Fig.1 – Croquis del Banco de Pruebas.

1	Entrada de borda ordinaria acampanada	**9**	Tacómetro
2	Cañería de aspiración	**10**	Frecuencímetro
3	Válvula globo	**11**	Válvula globo
4	Manómetro de baja presión	**12**	Caudalímetro
5	Bomba a ensayar	**13**	Válvula esclusa
6	Manómetro de alta presión	**14**	Cañería de descarga
7	Torsiómetro para medición de par	**15**	Contenedor
8	Motor	**16**	base

Tabla 1 – Elementos necesarios para realizar el Banco de Prueba.

El proyecto se hará en base a este primer coquizado, y se realizaran todas las modificaciones necesitarías para cumplir con lo propuesto.

Propuesta final

El esquema final propuesto para el Banco de Pruebas, teniendo en cuenta las condiciones de la empresa y para poder trabajar con una variedad de bombas centrifugas horizontales, será el siguiente:

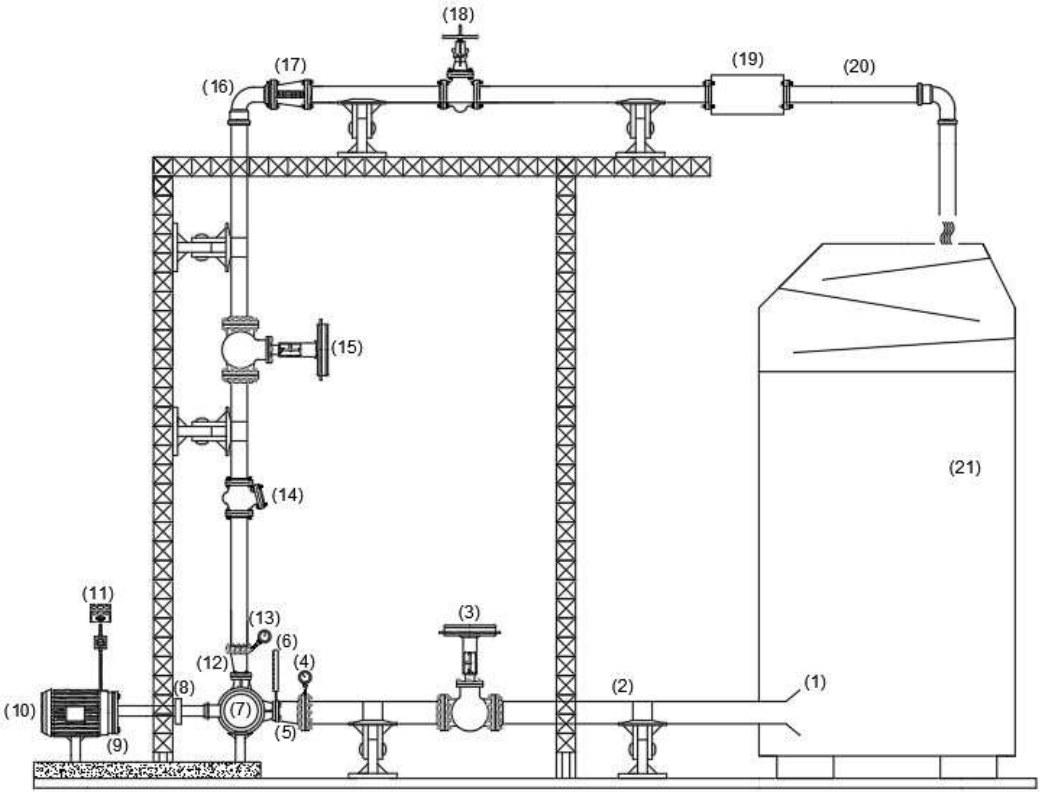


Fig.2 – Esquema del Banco de Pruebas realizado en Auto CAD.

1	Entrada de borda ord. acampanada	**11**	Frecuencímetro
2	Cañería de aspiración	**12**	Expansión
3	Válvula globo	**13**	Manómetro de alta presión
4	Manómetro de baja presión	**14**	Válvula de retención
5	Reducción	**15**	Válvula Globo
6	Termómetro	**16**	Codo 90°
7	Bomba a ensayar	**17**	Caudalímetro
8	Medidor de torque	**18**	Esclusa
9	Motor	**19**	Intercambiador de calor
10	Tacómetro	**20**	Cañería de descarga
		21	Tanque de agua

Tabla 2 – Descripción de los elementos en el Banco de Pruebas.

Selección de la bomba tipo para ensayar

Se utilizará una bomba tipo para realizar un primer dimensionado de todo el sistema de cañerías, teniendo en cuenta el promedio de las medidas de todas las bombas que llegan a la empresa. Dentro del sector del Taller había un conjunto de bombas centrífugas a las cuales

se les estaba realizando el mantenimiento correspondiente, y una de ellas tenía las medidas del promedio obtenido:

Bomba tipo:

Fig.3 – Bomba típica para ensayar, Whorthington Diesser Modelo 8FL 16.

WORTHINGTON DIESSER MODELO 8FL 16			
Número de serie	VI172780103	**Revoluciones (RPM)**	970
P.e.	0,998	**Rodamiento Emp**	6314 ZNR
Caudal	600m^3/h	**Rodamiento Desl**	6314 Z
Altura	10m	**Diámetro impulsión**	8”
Potencia	29,18 CV / 21.8 KW	**Diámetro de admisión**	10”

Tabla 3 – Características bomba Whorthington Diesser Modelo 8FL 16.

Vamos a buscar que las dimensiones del banco de prueba sean las indicadas para poder trabajar con una gama de bombas, y no con una en específico.

Diseño de las cañerías

Para obtener el diámetro de las cañerías, utilizamos el caudal de la bomba tipo.

DN [in]	Di [m]	Ai [m]	Q [m3/s]	V real [m/s]	V Asp. [m/s]	V Imp. [m/s]	Diferencia Asp.	Diferencia Imp.
2	0,051	0,00203	0,1667	82,23	0,2	0,6	82,030	81,630
3	0,076	0,00456	0,1667	36,54	0,3	0,9	36,247	35,647
4	0,102	0,00811	0,1667	20,55	0,4	1,2	20,158	19,358
5	0,127	0,01267	0,1667	13,15	0,5	1,5	12,657	11,657
6	0,152	0,01824	0,1667	9,13	0,6	1,8	8,537	7,337
8	0,203	0,03243	0,1667	5,13	0,8	2,4	4,339	2,739
10	0,254	0,05067	0,1667	3,28	1	3	2,289	**0,289**
12	0,305	0,07297	0,1667	2,28	1,2	3,6	1,084	-1,316
14	0,356	0,09931	0,1667	1,68	1,4	4,2	**0,278**	-2,522
16	0,406	0,12972	0,1667	1,28	1,6	4,8	-0,315	-3,515
18	0,457	0,16417	0,1667	1,01	1,8	5,4	-0,785	-4,385
20	0,508	0,20268	0,1667	0,82	2	6	-1,178	-5,178

Tabla 4 – Diseño de cañerías, realizado con Excel.

En la Tabla 4 podemos encontrar los siguientes valores:

- DN: Corresponde al diámetro nominal de la cañería.
- Di: Corresponde al diámetro interno de la cañería.
- Ai: Corresponde al área obtenida con el diámetro interno de la cañería.
- Q: Es el caudal que circula por la cañería.
- V real: Es la velocidad real que circula por la cañería.
- V Asp: Es la velocidad recomendada a la cual tiene que circular el fluido para ese diámetro en la cañería de aspiración.

• V Imp: Es la velocidad recomendada a la cual tiene que circular el fluido para ese diámetro en la cañería de impulsión.

• Diferencia Asp: Es la diferencia entre la velocidad real y la velocidad que debería circular por la cañería de aspiración.

• Diferencia Imp: Es la diferencia entre la velocidad real y la velocidad que debería circular por la cañería de impulsión.

Se busca que la velocidad real a la que circula el fluido dentro de la cañería sea lo más próximo a las velocidades recomendadas para la aspiración y para la impulsión, por lo que, para un caudal dado, se considerará como mejor opción de diámetro a la que muestre los menores valores en las columnas de Diferencia.

Para nuestro caso de 600 m^3, los diámetros de las cañerías serán los siguientes:

• Diámetro de Aspiración: 14 Pulgadas.

• Diámetro de Impulsión: 10 Pulgadas.

Para la longitud de las cañerías, se tendrá en cuenta lo especificado por la norma ISO 9906:2012, la cual indica las longitudes mínimas que debe existir entre:

• La salida del tanque de agua y la succión de la bomba.

• Válvulas.

• La impulsión de la bomba y la entrada del tanque de agua.

Para nuestro Banco de Pruebas, tendremos las siguientes dimensiones de longitud:

• Longitud de Aspiración: 6 metros.

• Longitud de Impulsión: 14 metros.

Para poder ensayar una gama de Bombas Centrifugas, el sistema de cañerías deberá contar con:

• Reductores de 14 a 12 y de 14 a 10 pulgadas.

• Expansores de 8 a 12 y de 10 a 12 pulgadas.

El material utilizado será Acero al Carbono API 5L / ASTM A 53 / A106.

Diseño del tanque de agua

Para obtener las medidas del tanque de almacenamiento de agua, tendremos las siguientes consideraciones:

- El ensayo que se realiza en el Banco de Pruebas utiliza un sistema cerrado para la circulación del agua, por lo que el tanque de almacenamiento mantiene un nivel constante del agua en su interior.
- No hay inconveniente en reutilizar el agua que circula por las cañerías ya que el sistema cuenta con un intercambiador de calor para evitar gradientes de temperatura, y además de un filtro en la entrada acampanada que evite imperfecciones en el agua que circula.
- El tanque contará en su parte superior con un sistema de inclinaciones, que le permitirá al agua ingresar teniendo un comportamiento laminar, para asegurar que no haya alteraciones dentro de este.
- Hay que mantener lleno de agua el volumen total de la cañería, para evitar inconvenientes.
- Se recomienza utilizar una altura elevada para tener un NPHS del sistema alto, para poder trabajar con un mayor rango de bombas.
- Por norma ISO 9906:2012, para ciclos cerrados se recomienda tener un volumen de almacenamiento 30 veces mayor al volumen que presentan las cañerías.

Por lo mencionado, tendremos un tanque de almacenamiento con las siguientes dimensiones:

- Ancho: 4 metros.
- Alto: 6 metros.
- Largo: 2 metros.

Con un volumen total de:

- 48 m^3.

Se aproximará el tanque a uno de 50 m^3 para facilitar su compra.

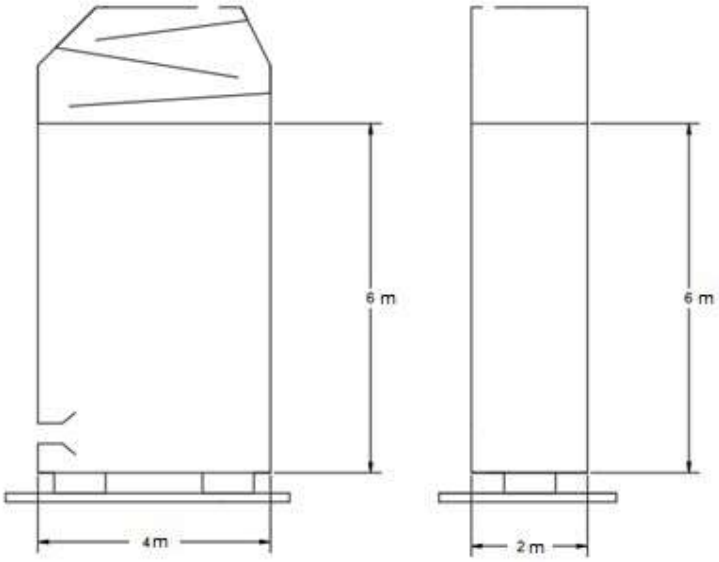


Fig.4 – Dimensiones del tanque de almacenamiento, realizado en Auto CAD. Los materiales pueden ser de Acero o Polietileno.

El tanque de almacenamiento deberá contar con una salida de 14 pulgadas para conectarse por medio de bridas a la cañería de aspiración. En la parte superior, contará con un orificio para que pueda ingresar el agua que sale de la cañería de impulsión.

Elementos de medición que se utilizan en el Banco de Pruebas

Termómetro: Se utilizará un termómetro industrial que funciona a mercurio. El modelo será el V23AL de TERMOFIX.

Tacómetro: Se utilizará para medir las revoluciones del motor. El modelo será el AT-8 CEM de SOLTEC INSTRUMENTS, con un rango de mediciones de 2 a 20000 rpm.

Medidor de Torque: Con la información del motor presente en la Tabla 10, vemos que el torque máximo del motor será de 484 Nm. El modelo será el PCE-FB TW de 500Nm de PCE INSTRUMENTS.

Caudalímetro: Utilizaremos un caudalímetro electromagnético para medir el caudal, cuyo principio de funcionamiento es la ley de Faraday. El modelo será el FLOMID de TECFLUID.

Tendrá un Diámetro Nominal de 10 pulgadas, ya que esa es la medida de la cañería de impulsión.

Manómetros de baja y alta presión: Se utilizará el modelo B00GRW7CFQ de Bálflex, con un rango de medición de 0 a 250 bar.

Variador de frecuencia: Esto nos permite desplazar las curvas características de la bomba en forma vertical, obteniendo en su conjunto las curvas de rendimiento para diferentes rpm. Se utilizará el modelo PM 240 de 75 kW de la marca SINAMIC G120.

Como otra alternativa tendremos que utilizar una caja de cambio de camión con hasta 16 cambios entre altas y bajas. Se realizará un acople entre el eje del motor y la directa de la caja de cambio. Para evitar que en el arranque se partan los ejes debido al gran torque del motor eléctrico, se deberá colocar un sistema de acople con manchón, sea de goma o similar, que permita la flexión. Además, tiene que haber un sistema de embrague para poder realizar la variación de los cambios en marcha.

Entre los inconvenientes que nos encontramos con este sistema, podemos mencionar:

- El sistema mecánico presenta piezas móviles con una posibilidad de falla mayor que utilizando un variador de frecuencia.
- Se requiere un mantenimiento continuo y la utilización de fluidos lubricantes.
- Se necesita un mayor espacio.

La alternativa será menos costosa que un variador de frecuencia, pero debido a las problemáticas que esta trae, se recomienda optar por el variador de frecuencia.

Válvulas presentes en el Banco de Prueba

El material de todas las válvulas será acero fundido Clase 600 psi, teniendo en cuenta las Normas API 600/API 6D.

Válvula globo: Una para la cañería de aspiración (14 pulgadas) y otra para la cañería de impulsión (10 pulgadas).

Válvula esclusa: Una para la cañería de impulsión (10 pulgadas).

Válvula de retención: Una para la cañería de impulsión (10 pulgadas).

Perdida de carga del sistema

Ecuaciones que vamos a utilizar para calcular la pérdida de carga del sistema**:**

Aspiración:

$$\Delta h_{aspiración} = \Delta h_{entrada} + \Delta h_{válvula\ globo} + \Delta h_{reducción} + \Delta h_{tramo\ recto}$$

Impulsión:

$$\Delta h_{impulsión} = \Delta h_{expansión} + \Delta h_{válvula\ retención} + \Delta h_{válvula\ globo} + \Delta h_{válvula\ esclusa} + \Delta h_{codos} + \Delta h_{tramo\ recto}$$

Accesorios:

$$\Delta h = \frac{b \times k \times Q^2}{2 \times g \times (A_i)^2}$$

k : Valor particular para cada accesorio.
b : 1 para Flujo Turbulento
g: Gravedad.
Q: Caudal.
A: Area.

Tramo recto:

$$\Delta h = \frac{f \times L_{tr} \times Q^2}{2 \times g \times (A_i)^2 \times D_i}$$

f : Se calcula a través del diagrama de Moody
L_{tr} : Tramo recto de la cañería.
g: Gravedad.
Q: Caudal.
A: Area.
D: Diámetro.

Número de Reynold:

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

V : Velocidad real en la cañería.
μ : Viscosidad Dinámica.
ρ : Densidad.
D: Diámetro.

Tablas y gráficos que vamos a utilizar para calcular la pérdida de carga del sistema:

Tipo de tubería	Valores de diseño de e (mm)
Vidrio	0,0015
Bronce	0,0015
Latón	0,0015
Acero comercial	0,06
Madera	0,6
Fundición	0,24
Fundición Oxi.	1,2
Hierro Galv.	0,15
Hormigón	1,2

Tabla 5 – Rugosidad Absoluta de los materiales.

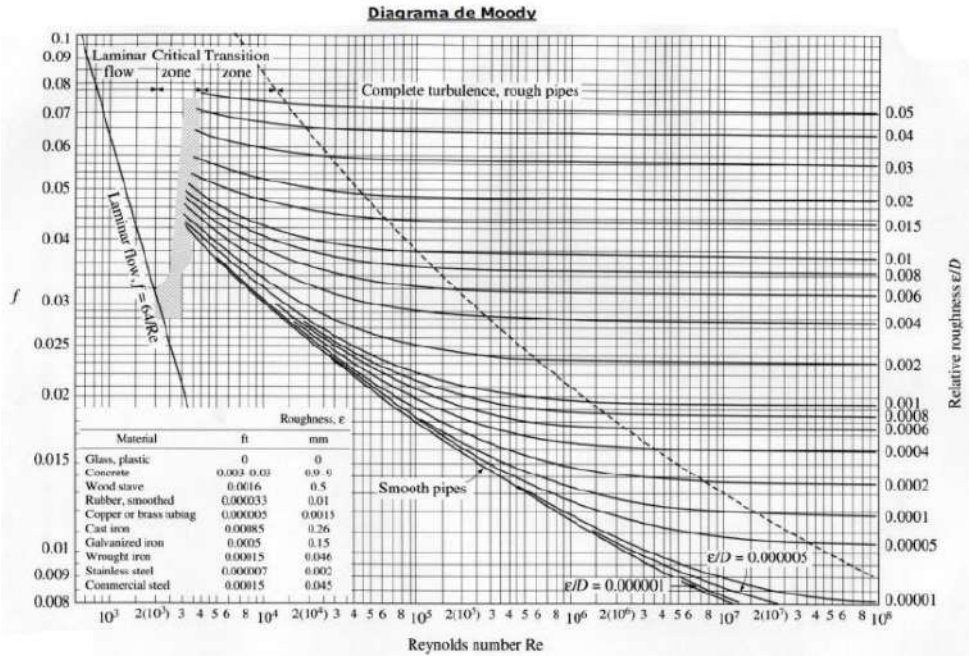


Fig.5 – Diagrama de Moody.

Temperatura (ºC)	Densidad (kg/m^3)	Viscosidad Dinámica (kg/m s)
0	917,00	0,001792
5	1000,00	0,001520
10	999,77	0,001308
15	999,19	0,001139
20	998,29	0,001003
25	997,13	0,000891
30	995,71	0,000798
35	994,08	0,000720

Tabla 6 – Densidad y Visc. Dinámica.

Válvula Esclusa		K = 0,39
Válvula Globo		K = 10
Válvula Retención		K = 4,5
Codo a 90º		K = 0,8
Reducción		K = 0,07
Expansión		K = 0,03
Entrada		K = 0,2

Tabla 7 – Coeficiente k de los accesorios.

Caudal	0,1667 m^3/s
Diámetro Aspiración	0,356 m
Area Aspiración	0,09931 m^2
Tramo Recto Aspiración	6 m
Diámetro Impulsión	0,254 m
Area Impulsión	0,05067 m^2
Tramo Recto Impulsión	14 m

Tabla 8 – Dimensiones en la aspiración y la impulsión.

Todos los cálculos realizados en este trabajo se hicieron en un archivo Excel con toda la explicación necesitaría para entenderlo, el cual será presentado a la empresa junto al informe y los planos, para evitar tener tantas hojas de cálculo

- Para un caudal 600 m^3/h – 0,1667 m^3/s, tendremos:

ASPIRACION	Perdida de carga
Entrada	0,0287 m
Válvula Globo	1,4361 m
Reducción	0,0101 m
Tramo recto	0,0387 m
Total Aspiración	1,5136 m
IMPULSION	**Perdida de carga**
Expansión	0,0165 m
Válvula de retención	2,4825 m
Válvula Globo	5,5166 m
Válvula Esclusa	0,2151 m
Codos	0,4413 m
Tramo recto	0,4561 m
Total Impulsión	9,1282 m
Perdida de carga total	**10,64 m**
Longitud equivalente	**30,64 m**

Tabla 9 – Pérdida de carga total y longitud equivalente, realizado en Excel.

Hasta el momento se realizaron y se mostraron los cálculos realizados para un caudal de 600 m^3/h, el cual es el valor de la bomba tipo.

Como se mencionó en el trabajo, la idea es armar el sistema para un gama de Bombas Centrifugas, y no para una en específico, por lo que también realice los cálculos de pérdida de carga y longitud equivalente para caudales entre 300 y 600 m^3/h.

Estos valores que están presentes en el Excel que se entregará, nos serán de ayuda para realizar los gráficos de Potencia – Caudal y NPHS – Caudal, para poder mostrar de forma gráfica la gama de Bombas Centrifugas a las que se le podrán realizar el ensayo, donde lo único que variará en el sistema son los accesorios de Reducción y Expansión, a la entrada y a la salida de la bomba.

NPHS del sistema y potencia de la bomba necesaria

<u>NPHS</u>**:**

$$NPHS = h_{presión\ estática} \pm H_{elevación} - h_{carga} - h_{presión\ de\ vaporización\ del\ fluido}$$

• Para nuestro caso, como el tanque de almacenamiento está por encima de la altura de aspiración de la bomba, la “H elevación” será positiva.

• El tanque estará abierto en su parte superior, por lo que su “h presión estática” será la presión atmosférica divido el peso específico.

Temperatura °C	Presión de vapor kPa (abs)	Peso específico (kN/m^3)	Carga de presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345

Fig.6 – Presión de vaporización del fluido.

- Para un caudal de 600 m^3/h – 0,1667 m^3/s, tendremos:

h presión estática	10,24 m
H elevación	6,00 m
h carga	1,51 m
h presión de vap.	0,2388 m

Tabla 10 – Valores para calcular el NPHS, realizado en Excel.

$$NPHS = 10{,}24\ m + 6\ m - 1{,}51\ m - 0{,}2388\ m$$

$$NPHS = 14{,}49\ m$$

<u>Potencia de la bomba necesaria</u>**:**

$$\dot{W} = Q \times \rho \times g \times L_e$$

g: Gravedad.
ρ : Densidad.
Q: Caudal.
L_e : Longitud Equivalente

Dividimos por 3600 para obtener el valor de la potencia en K-Watts.

- Para un caudal de 600 m^3/h – 0,1667 m^3/s, tendremos:

$$\dot{W}=50\ \ kW$$

$$\dot{W}=67\ \ kW$$

Como se mencionó con la pérdida de carga, estos valores obtenidos se calcularon para un caudal de 600 m^3/h. Evaluaremos estos valores en un rango de 300 y 600 m^3, y volcaremos los datos obtenidos en tablas, para realizar los gráficos de NPHS y Potencia en función del caudal.

Caudal [m3/h]	Caudal [m3/s]	Le [m]	Potencia [Kw]	Potencia [HP]
300	0,0833	22,10	18,06	24,20
400	0,1111	22,07	24,05	32,23
500	0,1389	27,39	37,32	50,00
600	0,1667	30,64	50,10	67,13

Tabla 11 – Potencia en función del caudal, realizado en Excel.

Caudal [m3/h]	Caudal [m3/s]	h carga [m]	NPHS [m]
300	0,0833	0,70	15,30
400	0,1111	0,67	15,33
500	0,1389	1,05	14,95
600	0,1667	1,51	14,49

Tabla 12 – NPHS del sistema en función del caudal, realizado en Excel.

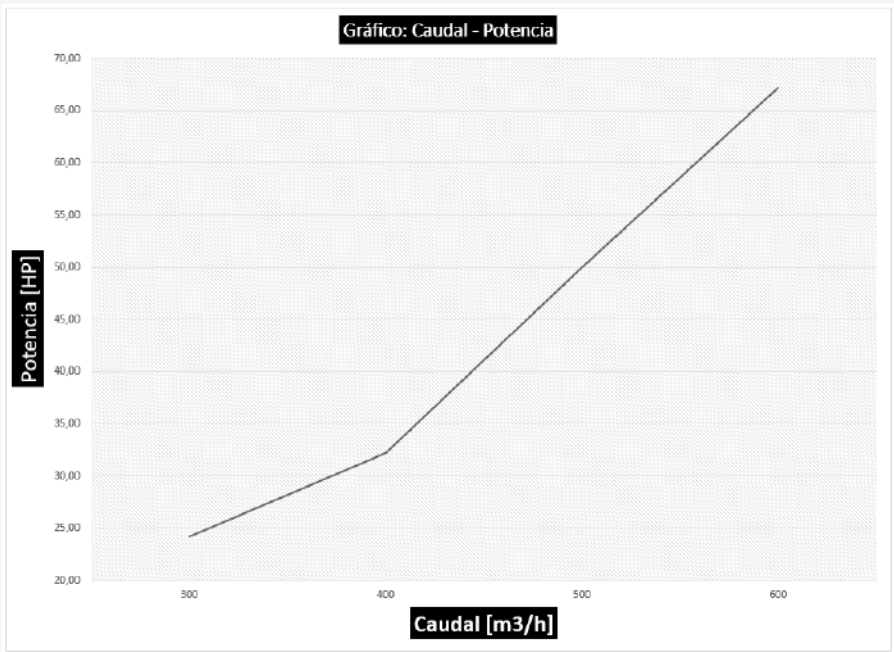


Fig.7 – Gráfico Potencia – Caudal, Realizado en Excel.

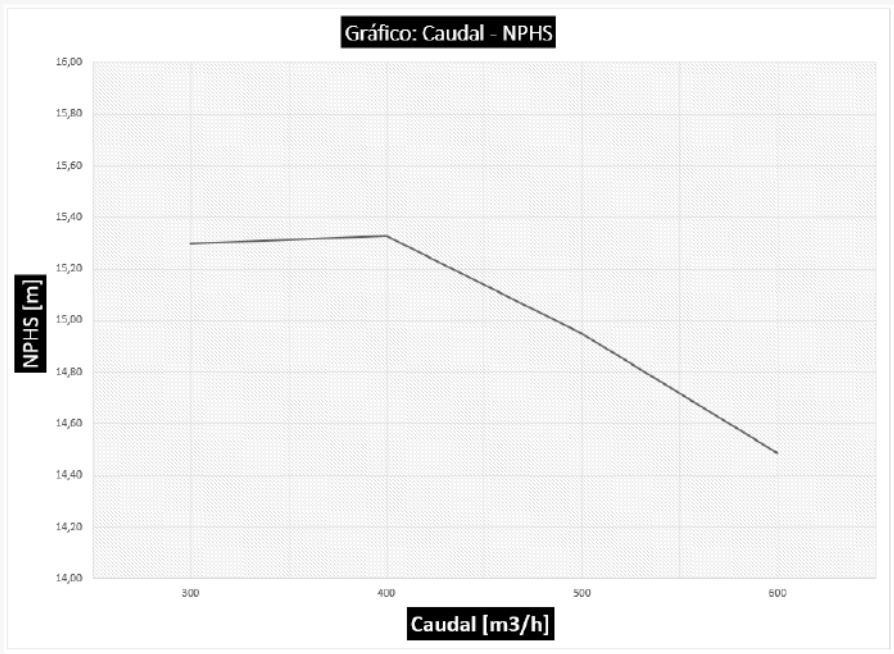


Fig.8 – Gráfico NPHS Sistema – Caudal, Realizado en Excel.

Gama de bombas que se pueden ensayar

En la figura 7 y 8 se puede apreciar el comportamiento del sistema cuando trabajamos con caudales diferentes:

- A medida que aumenta el caudal, la potencia que deberá tener la bomba para mover el fluido en las condiciones del sistema será mayor, por lo que se tomará el mayor valor de potencia necesario para mover el mayor caudal, y con este podremos mover menores caudales sin tener problemas.
- A medida que aumenta el caudal, el NPHS del sistema va a ir disminuyendo, por lo que se tomará el menor valor del NPHS del sistema como el máximo valor que podrá requerir la bomba, de forma tal que no se genere cavitación.

Con este sistema podremos ensayar una gama de bombas que cumplan con lo siguiente:

- Con una potencia entre 25 y 67 HP.
- Hasta un caudal máximo de 600 m^3/h.
- Con diámetro de aspiración entre 10 a 14 pulgadas (Utilizando diferentes reductores).
- Con diámetro de impulsión entre 8 a 12 pulgadas (Utilizando diferentes expansores).
- Que la bomba tenga un NPHS requerido máximo menor a 14 m (Para evitar que el sistema tenga problemas de cavitación).

Hasta el momento tenemos las dimensiones de nuestras cañerías y el material que se va a utilizar. También tenemos las dimensiones y los materiales del tanque de almacenamiento. Están detallados los elementos de medición necesarios para realizar las pruebas, como también las válvulas necesarias en las cañerías. Evaluamos todo el banco de pruebas teniendo en cuenta las pérdidas de carga y el NPHS del sistema, mostrando la gama de bombas que podemos ensayar. Lo único que nos queda es seleccionar el motor eléctrico correspondiente que cumpla las condiciones estipuladas arriba, en función de la potencia máxima de bombas que se puede ensayar.

Selección del motor para el Banco de Pruebas

La máxima potencia de la bomba que se puede ensayar es de 50 kW. Se tendrá en cuenta para seleccionar el motor la Norma ISO 5199:

Potencia de la bomba necesaria [kW]	Potencia del motor [kW]
68	75
49	55

Tabla 13 – Selección del motor según Norma ISO 5199.

El motor seleccionado será uno Marca Siemens de 4 polos, 1500 rpm, 50hz, trifásico, que brinda una potencia de 75 kW.

Datos eléctricos – 1LE0 – IE1 – 4 – polos 1500 rpm 4 – polos, 380 V 50 Hz										
Potencia	Código LE102--3..4	Eficiencia	Valor nominal		Corriente	F. Potencia	Eficiencia a:		M. Inercia	Torque
							100%	75%		
kW			rpm	Nm	A		%	%	Kgm2	
55	2CB23	IE1	1478	356	106	0,86	92,1	92,8	0,80	K
75	**2DB03**	**IE1**	**1480**	**484**	**140**	**0,88**	**92,7**	**93,3**	**1,3**	**J**

Tabla 14 – Motores Siemens.

Tomando en cuenta su eficiencia, la potencia real de salida será de 69,5 kW, que cumple con las condiciones de diseño. El consumo final teniendo en cuenta el factor de potencia será 85kW.

Fig.9 – Motor seleccionado.

Grupo electrógeno

Por pedido de la empresa para este motor tendremos que seleccionar un generador o grupo electrógeno que cumpla con los requisitos eléctricos del mismo, para que el motor se auto sustente y no dependa de la red eléctrica del Taller, de modo tal que no afecte el normal funcionamiento de las diferentes máquinas que se utilizan para realizar los procesos de mantenimiento.

Tendremos las siguientes consideraciones al momento de seleccionarlo:

- El consumo final del motor teniendo en cuenta el factor de potencia será 85kW.
- Se tendrá en cuenta el arranque del motor, por lo que se considerará un 20% más de consumo.
- Se aplicará un factor corrector de 1,2 para el tipo de máquina a alimentar.
- El motor que tenemos que alimentar es trifásico.

Por las condiciones establecidas, tendremos que suministrar 120kW, para evitar que el grupo electrógeno trabaje al 100% de su capacidad.

<u>El grupo electrógeno seleccionado será</u>:

Grupo electrógeno 124 kW con motor Fiat Iveco, con un consumo de 17L/H.

Fig.10 – Grupo Electrógeno.

Procedimiento para el ensayo

Luego de evaluar que la bomba seleccionada a ensayar cumpla los requisitos del sistema, se aplicará el siguiente procedimiento:

- Montar y fijar la bomba en la posición adecuada.
- Acoplar la bomba al motor.
- Conectar la bomba al sistema de cañerías. En caso de ser necesario, colocar reducciones y expansiones a través de las bridas correspondientes.
- Conectar los instrumentos de medición a una computadora, donde un programa adecuado interpretará las señales de lectura.
- Cebar las bombas, sacando el aire en su interior.
- Verificar la apertura completa de todas las válvulas.
- Prender el motor y llevarlo a sus valores nominales, dejando un tiempo para estabilizarse.
- Variar la apertura de la válvula globo de la impulsión.
- Se deberán realizar entre 5 a 8 mediciones, para generar la curva Q-H.
- Una vez generada la primera curva, se deberá cambiar el valor de las revoluciones a través del variador de frecuencia o la alternativa.
- Con el nuevo régimen de giro se procederá a generar de 5 a 8 curvas a diferente régimen.
- Tomando los valores del torque y del Vatímetro, se calcularán los valores de potencia y rendimiento.

• Finalizado el ensayo se procederá a cerrar las válvulas de forma y se quitará el agua dentro del cañerías.

Informe del ensayo – Norma ISO 9906:2012

Datos ordenados		Orden n°					Fin orden				
		Tipo					Ítem n°				
Garantía Datos de orden		Clase de prueba de aceptación:					Puntos medidos:				
		Q	[				Q				
		H	[m]				P_N				
		η	[%]				P_{mot}				
		ηN	[1/min]				ρ				
		NPSHR	[m]								
Datos del Impeler		Diámetro de Impeler [mm]					Tipo remaching				
Condiciones de prueba		Tipo de prueba: cerrado					Prueba media:				
		Punto de medición de succión l					Descarga punto de medición lateral				
Datos de motor		Prueba de motor N°									
Valores prueba de velocidad		Prueba NPSH Presión barométrica]									
	Meas.Pt/N°.	Dimensión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	N	l/min									
	Hin	m									
		m									
		m									
		m									
		m^3/h									
		l/s									
		m									
		C									
		m									
		m									
Valores de velocidad garantizados											
3500 min-1	H	m									
	Q	m^3/h									
	Q	l/s									
	NPSH	m									
Observaciones:			Registro de prueba N°.								
			Probado:				Cliente:				

Tabla 15 – Informe que hay que completar a la hora de realizar el ensayo.

Conclusiones

Puedo destacar varias conclusiones luego de finalizar el proyecto:

- Los impedimentos físicos que nos pueden aparecer a la hora de realizar un proyecto no tienen que ser la excusa para no poder realizarlos, sino que son el punto de partida a la hora del diseño, donde el ingenio del Ingeniero es el que evita estos impedimentos para poder culminar los proyectos solicitados, como fue el caso del tanque de almacenamiento para este caso en particular.
- Poder respaldarse en la Norma a la hora de realizar un proyecto facilita muchas cuestiones a la hora de diseñar, y aunque no es de vital importancia para el desarrollo de este, recomiendo utilizarla en caso de poder adquirirla.
- Se lograron los objetivos propuestos por la empresa de realizar un Banco de Pruebas que abarque una gama de bombas centrífugas, y no una en particular, para que la inversión tenga un buen justificativo.
- Se le dejará a la empresa toda la información adquirida durante la realización del proyecto, contando con el informe, un archivo Excel para facilitar los cálculos, y el plano con las dimensiones.

Vinculación del proyecto con materias de la carrera

El proyecto del Banco de Pruebas realizado tiene una gran vinculación con diferentes materias cursadas a lo largo de la carrera, como:

- Materiales Metálicos.
- Diseño Mecánico.
- Mecánica de Fluidos.
- Termodinámica.
- Dibujo Mecánico.
- Sistemas CAD – CAM.
- Electrotecnia y Máquinas Eléctricas.
- Electrónica y Sistemas de Control.
- Elementos de Máquinas.

- Instalaciones Industriales.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

Respecto a mi experiencia particular dentro de la empresa Coopertei, tuve la suerte de contar con un excelente ámbito laboral, que tenía un personal de calidad, siempre dispuesto a brindarme su experiencia e información a medida que iba desarrollando el proyecto. No solo me sirvió para realizar la práctica supervisada exigida por la facultad, sino también me sirvió como experiencia personal dentro del ámbito laboral, viviendo experiencias de cómo se maneja la industria y como se realiza el trabajo en equipo. También me mostro que todos los conceptos teóricos que uno va adquiriendo a lo largo de la carrera de forma aislada, en su conjunto, sirven para culminar un proyecto real que se puede aplicar dentro de la industria, dejándome como enseñanza que lo teórico y lo práctico van de la mano para cualquier trabajo que uno tenga en el futuro.

UNIVERSDIDAD 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