



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**ESPE - LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**PROYECTO DE GRADO**

**ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN DE  
SILENCIADORES EN VEHÍCULOS DIESEL Y GASOLINA**

**REALIZADO POR:**

**DOVER BAZURTO PALMA  
SANTIAGO LÓPEZ LÓPEZ**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**DICIEMBRE - 2003**

## **CERTIFICACIÓN**

CERTIFICO QUE EL SIGUIENTE TRABAJO DE ESTUDIO Y DISEÑO FUE REALIZADO POR EL SEÑOR DOVER BAZURTO PALMA EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, BAJO MI DIRECCIÓN Y CODIRECCIÓN

-----  
**ING. GUIDO TORRES**

**DIRECTOR DE TESIS**

-----  
**ING. MARIO LARA**

**CODIRECTOR DE TESIS**

## **CERTIFICACIÓN**

CERTIFICO QUE EL SIGUIENTE TRABAJO DE ESTUDIO Y DISEÑO FUE REALIZADO POR EL SEÑOR SANTIAGO LÓPEZ LÓPEZ EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ, BAJO MI DIRECCIÓN Y CODIRECCIÓN

-----  
**ING. GUIDO TORRES**

**DIRECTOR DE TESIS**

-----  
**ING. MARIO LARA**

**CODIRECTOR DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES Y HERMANA QUE HAN SIDO UN PILAR IMPORTANTE EN MI VIDA PARA PODER ALCANZAR MIS METAS, EN LA CUAL UNA DE ELLAS ES MI PROFESIÓN

DOVER BAZURTO PALMA

## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES, HERMANA Y A LAS PERSONAS MAS ALLEGADAS QUE DIA A DIA ME OFRECIERÓN SU CARIÑO Y COMPRESIÓN, DICHA MOTIVACIÓN FUE MUY IMPORTANTE PARA LOGRAR ESTE PASO EN MI VIDA.

SANTIAGO LÓPEZ LÓPEZ

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ayudarme y brindarme su protección en los momentos buenos y malos de mi vida y por tener la suerte de tener unos padres tan maravillosos y comprensivos.

A mis padres, Dover Bazurto y Carmen Palma quienes me apoyaron siempre, con su amor, dedicación y confianza.

A mi madrina Miriam Macias que es una de las personas que más aprecio en el mundo y que siempre me ha ayudado y brindado su cariño

A la Escuela Politécnica y a la ciudad de Latacunga que me abrió sus puertas para que me pudiera desarrollar como un profesional.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz que día a día nos proporcionaron sus conocimientos.

Dover Bazurto Palma

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme su protección y tener una excelente familia

A mis padres, Lauro Hernán López y Maria Alicia López quienes me apoyan para que siempre siga adelante.

A cada uno de los ingenieros por haberme brindarme su apoyo y conocimientos los cuales me ayudaran en el futuro para poderme desenvolver como un profesional.

A la Escuela Politécnica y a la ciudad de Latacunga que me abrió sus puertas para que me pudiera desarrollar como un profesional.

Santiago López López

## INDICE

CONTENIDO	PAG
1.1.- Definición de sistema de escape.....	1
1.2.- Componentes del sistema de escape.....	1
1.2.- Función y solicitaciones del sistema de escape y silenciadores.....	6
1.4.- Tipos de silenciadores para motores gasolina.....	10
1.5.- Tipos de silenciadores para motores a diesel.....	13
1.6.- Pirómetros de escape.....	16
1.7.- Recuperación del calor de escape.....	18
1.8.- Normativa anticontaminación.....	19
2.1.- Los gases del escape y la relación aire-combustible.....	22
2.2.- El rendimiento del motor y la relación aire-combustible.....	22
2.3.- Análisis de los productos de la combustión.....	26
2.4.- Los componentes del aire y de los combustibles.....	27
3.1.-Introducción de Materiales.....	31
3.2.- Materiales utilizados para la construcción de silenciadores.....	32
3.2.1.-Lana de vidrio.....	32
3.2.2.- Acero Inoxidable.....	33
3.2.3.- Latón.....	37
3.2.4.- Acero laminado en frío.....	40

3.2.5.- Lámina de Acero galvanizada.....	42
3.2.6.- Lámina de acero zinc – Aluminizada.....	47
4.- Diseño Mecánico de los silenciadores.....	51
4.1.- Silenciador tipo bala.....	51
4.2.- Silenciador tipo vaceado para motores gasolina “galvanizado”.....	56
4.3.- Silenciador tipo vaceado para motores diesel ”laminado en frío.....	61
4.4.- Silenciador de tres cámaras para motores gasolina “aluminio”.....	65
4.5.- Silenciador de dos cámaras para motores gasolina “laminado en frío.....	70
4.6.- Silenciador de tres cámaras para motores gasolina “Laminado en frío”.....	75
4.7.- Silenciador de tres cámaras para motores diesel “Laminado en frío”.....	80
4.8.- Silenciador tipo semivaciado para motores diesel “galvanizado”.....	84
5.- Proceso de elaboración.....	90
5.1.- Proceso de Señalización.....	90
5.2.- Proceso de Corte.....	91
5.3.- Proceso de Barolado.....	92
5.4.- Proceso de Prensado.....	94
5.5.- Corte de Tubo.....	96
5.6.- Proceso de Taladrado.....	97
5.7.- Proceso de unión de el cilindro y sus tapas.....	99
5.8.- Proceso de corte de Compartimiento.....	101
5.9.- Proceso de unión compartimiento-tubos.....	102
5.10.- Sellado del silenciador.....	104
6.1.- Diagrama de flujo.....	106
6.1.2.- Procedimiento paso a paso del diagrama de flujo.....	107

6.2.- Diagrama de procesos.....	108
6.2.1.- Descripción paso a paso del diagrama de procesos.....	108
6.3.- Diagrama de operaciones.....	114
6.3.1.- Procedimiento paso a paso para el diagrama de operaciones.....	114
6.4.- Construcción de la planta de ensamble de silenciadores en serie.....	117
6.5.-Demanda.....	119
7.- Conclusiones y Recomendaciones.....	120

ANEXO 1-2	Plano del Silenciador tipo bala.
ANEXO 3-4	Plano del Silenciador tipo vaceado para motores gasolina
ANEXO 5-6	Plano del Silenciador tipo vaceado para motores diesel
ANEXO 7-8	Plano del Silenciador de tres cámaras para motores gasolina “aluminio”
ANEXO 9-10	Plano del Silenciador de dos cámaras para motores gasolina “laminado en frío”
ANEXO 11-12	Plano del Silenciador de tres cámaras para motores gasolina “Laminado en frío”
ANEXO 13-14	Plano del Silenciador de tres cámaras para motores diesel “Laminado en frío”
ANEXO 15-16	Plano del Silenciador tipo semivaciado para motores diesel “galvanizado”.
ANEXO 17-18	Plano de las bridas
ANEXO 19	Plano de la Estación de Trabajo.

## **I.- SISTEMA DE ESCAPE**

### **1.1.- DEFINICIÓN**

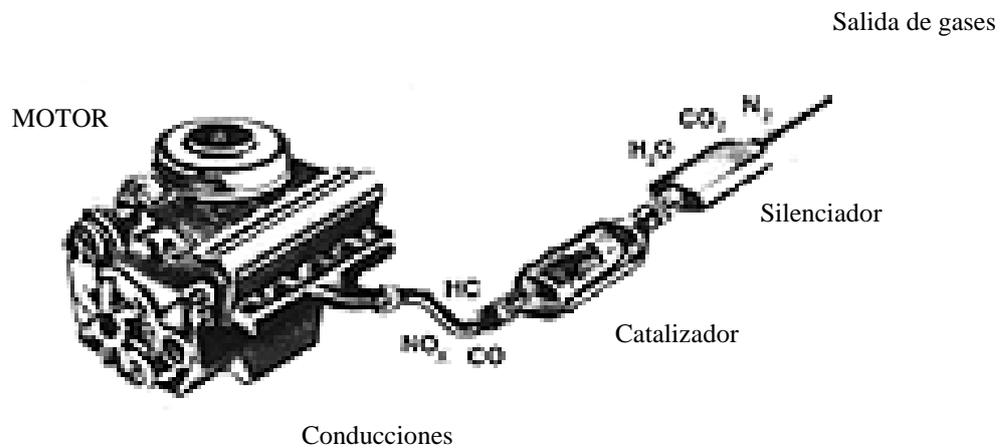
El sistema de escape son elementos que tienen como objeto de capturar los gases a la salida del motor, ofreciendo la mínima resistencia posible al paso de ellos, transformarlos en gases no contaminantes, y descargarlos a la atmósfera silenciosamente.

La misión del sistema de escape son varias y debe desempeñar las funciones siguientes:

1. Conducir los productos de la combustión hasta un punto donde los gases puedan descargarse sin molestias.
2. reducir el ruido producido por las intensas pulsaciones de presión que se generan cada vez que un cilindro deja salir su contenido.
3. Imponer al motor una contrapresión mínima, ya que ésta reduce la potencia.

### **1.2.- COMPONENTES DEL SISTEMA DE ESCAPE**

Un sistema de escape típico como se muestra en la Fig. 1-1 se compone de una conducción desde el motor hasta la atmósfera, con un convertidor catalítico y silenciador intercalado. Además en los motores grandes y medios, este sistema incorpora habitualmente un pirómetro, que es un importante aparato de medida destinado a medir la temperatura de los gases de escape en la salida de cada cilindro.



**Fig. 1-1**

### **Componentes del sistema de escape**

#### 1.2.1.- TUBOS O CONDUCCIONES.

Generalmente, para construir las conducciones de escape se emplea tubería de acero. A veces, sin embargo, se emplea tubería de función en aquellos casos en que el combustible tiene un gran contenido de azufre, lo que puede provocar la corrosión del acero por los gases de escape. Las conducciones de ladrillo o barro cocido no son aptas para transportar los gases de escape, pues son materiales relativamente débiles incapaces de soportar las dilataciones térmicas, las vibraciones y las presiones que ocasionalmente pueden producirse a causa de fallos de encendido. Para reducir la contrapresión, los tubos de escape deben ser los más cortos y rectos posible y todos los codos deben hacerse de gran radio. Se preferirán los tubos doblados a los acoplamientos y cada motor deberá tener su propia conducción de escape a la atmósfera.

Los conductos de escape se calientan mucho durante el funcionamiento y se dilatan considerablemente. La tubería de acero se dilata aproximadamente 1/1000 de su longitud por cada 75°C de elevación de temperatura. Así, un tramo de tubería de acero de 12m de longitud calentada desde 25 hasta 350 °C sufre un aumento de longitud superior a cinco centímetros, de acuerdo con el cálculo siguiente:

$$\text{Dilatación} = \frac{350-25}{75} \times \frac{1}{1000} \times 12 \times 100 = 5,20 \text{cm}$$

Por consiguiente, cuando el conducto de escape es fijo, suele instalarse un trozo de manguera metálica flexible o una junta de dilatación en las proximidades del motor para que el conducto pueda dilatarse sin que el motor sufra esfuerzos.

### **1.2.2.- CONVERTIDOR CATALÍTICO.**

El término "convertidor catalítico" designa genéricamente a un reactor metálico instalado en el sistema de escape. Este reactor de acero inoxidable, contiene en su interior al "catalizador" propiamente dicho, el cual está constituido por una colmena cerámica impregnada con sustancias activas.

La quema de combustibles fósiles como gas, petróleo y carbón mineral produce, además de productos primarios como dióxido de carbono y agua, gases contaminantes perjudiciales para la salud de la población.

Estos gases son:

Monóxido de carbono - CO

Hidrocarburos - HC

Óxidos de Nitrógeno - NOX

Dióxido de Azufre - SO

En motores diesel existe además material sólido contaminante, llamado genéricamente Material particulado - MP. Las emisiones producidas por los automotores son consideradas la principal causa de contaminación en las ciudades y, por producirse al nivel de las personas, afectan seriamente la salud de éstas. El consumo mundial de combustible usado en automotores prácticamente se ha triplicado desde 1960, debido al rápido crecimiento del parque automotor. Es de vital importancia encontrar formas para reducir estas contaminaciones.

### **1.2.3.- SILENCIADORES**

Los gases de admisión emiten una presión considerable una vez realizada la combustión del motor. Si estos gases salieran directamente del motor el ruido provocado sería muy escandaloso y el motor en cierta forma podría rendir un poco menos. Por tal motivo, el camarín envía los gases al múltiple de admisión, este los junta y los envía posteriormente a la tubería de escape, allí los gases en forma de humo pasan por el silenciador o resonador el cual está compuesto por celdas metálicas en forma tubular y con agujeros conocidas como colmenas, para así salir expulsados hacia el exterior de forma circular.



**Fig. 1-2 Cuerpo del silenciador.**

Los gases de escape y las ondas sonoras ingresan por el tubo central, chocan contra la pared trasera del silenciador y son reflejadas a través de orificios hacia el cuerpo principal (Fig 1-2). Pasan luego a través de otra serie de orificios hacia otra cámara, donde cambian de dirección y se introducen en el último caño para salir finalmente del silenciador.

Una cámara llamada resonador (Fig. 1-2) está conectada por una abertura con la primera cámara. El resonador contiene un volumen determinado de aire y tiene un largo tal que produce una onda que anula cierta frecuencia de sonido. Esto sucede porque la onda se divide al pasar por el orificio, parte siendo reflejada y parte continuando su camino hacia la cámara. Cuando esta última pega en la pared posterior del silenciador, vuelve a pasar por el agujero. El largo de esta cámara entonces se calcula de

tal forma que la onda deja el resonador justo después de que la siguiente onda se refleja fuera de la cámara. Teóricamente, la parte de la onda de alta presión proveniente de la cámara se alinea con la parte de baja presión que fue reflejada fuera de la pared de la cámara, anulándose mutuamente por el fenómeno de ondas.

En realidad, el sonido de un motor es una mezcla de distintas frecuencias y, dado que depende de la velocidad del motor, el sonido no siempre tiene la frecuencia exacta para que esto ocurra. El resonador entonces se diseña especialmente para el rango de frecuencias cuando el motor se torna más ruidoso e incluso, sin ser las mismas, logran atenuarlas.

En algunos autos, especialmente en los que un funcionamiento silencioso es primordial, se ve otro componente similar a un silenciador, pero se trata del resonador. Hay otras características dentro del silenciador que ayudan a reducir en cierta forma el nivel de ruido. El cuerpo del silenciador está construido en 3 capas para absorber parte de los pulsos de presión (Fig. 1-2) : 2 chapas finas de metal con una capa gruesa, levemente aislante entre ellas. También los caños de entrada y de salida presentan perforaciones para permitir que los miles de pequeños pulsos de presión reboten dentro de la cámara principal, anulándose entre ellos.

### 1.3.- FUNCIÓN Y SOLICITACIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE Y SILENCIADORES.

La instalación de escape tiene la función de amortiguar y dejar expandir los gases de escape que salen de la cámara de combustión con fuerte impulso (detonación), de modo que no pasen de un nivel sonoro (intensidad de ruido) determinado y sin que ofrezcan, no obstante, una resistencia excesiva a la salida. Por otra parte, los gases de escape deben conducirse de modo que no puedan penetrar en el vehículo.

En los conductos de escape y silenciadores se producen fuertes oscilaciones gaseosas como consecuencia de la brusca e intermitente salida de los gases que tienen, especialmente en el caso del motor de dos tiempos, una

fuerte influencia sobre la potencia del motor y el consumo de combustible. En un sistema de amortiguación bien estudiado en todas sus partes, las oscilaciones no solamente se aíslan, sino que además se obtiene que en el extremo del tubo de escape impere una depresión oscilatoria que influye muy favorablemente en el vaciado de los cilindros y el subsiguiente llenado de los mismos, con lo cual es obvio que también lo hace sobre la potencia del motor.

La instalación de escape está sometida a fuertes sollicitaciones térmicas, químicas y mecánicas. Altas temperaturas y cambios de temperatura solicitan, ante todo, a la parte delantera de la instalación de escape. Por el aumento de las potencias de los motores en los años pasados y con la utilización de dispositivos para el tratamiento ulterior de los gases de escape, ha aumentado también la sollicitación térmica de la instalación de escape como consecuencia de su colocación por debajo del vehículo sin protección en toda su longitud. Además de esta corrosión, hay otra interior producida por los gases de la combustión condensados (agua, ácidos sulfurosos), que tiene lugar, principalmente, en la parte posterior más fría. Además, todas las partes de la instalación de escape están sometidas a fuertes sollicitaciones mecánicas debidas al impacto de piedras, movimientos de la carrocería y vibraciones del motor. Estas sollicitaciones no pueden resistirlas mucho tiempo las chapas de acero no aleado. Por estas razones, la instalación de escape es una de las partes del vehículo que dura menos (pieza de desgaste). Es posible conseguir una notable prolongación de la duración de esta instalación utilizando chapas de acero inoxidable, por ejemplo, X 10 CrNiTi 189. Sin embargo, estos materiales encarecen considerablemente la instalación de escape. Por esta razón, para prolongar la duración de la instalación es frecuente utilizar chapas de acero con revestimiento de aluminio o a veces incluso esmaltadas.

Con el crecimiento del tráfico el ruido llega a constituir cada vez más un peligro para la salud especialmente de los habitantes de las ciudades. Se hace por eso necesario controlar el nivel de ruido constantemente por mediciones, principalmente en urbanizaciones densas, con objeto de buscar las fuentes de ruido y eliminarlas.

El nivel de ruido es una medida de la intensidad del sonido. Se mide en decibelios dB (A). (Tabla 1-1).

<b>Tabla 1-1 Nivel de sonido en dB</b>	
Sensación dolorosa	130 dB (A)
Motor de avión (a 5 metros)	120 dB (A)
Tren rápido (a 5 metros)	110 dB (A)
Motor sin silenciador	100 dB (A)
Martillo neumático (a 5 metros)	90 dB (A)
Timbre de llamada (a 1 metro)	80 dB (A)
Lugar de mucho tráfico	70 dB (A)
Aspiradora de polvo	60 dB (A)
Conversación normal	50 dB (A)
Habitación silenciosa	40 dB (A)
Susurro de hojas	30 dB(A)
Dormitorio silencioso	20 dB (A)
Tic-tac del reloj de bolsillo	10 dB (A)
Umbral acústico (0 decibelios)	0 dB (A)

Fuente: Tecnología del automóvil GTZ

El oído humano percibe las ondas sonoras que tienen la misma presión sonora pero distinta frecuencia con distinta intensidad. Las bajas frecuencias (tonos bajos) tienen un efecto más agradable que las altas (tonos agudos). Por lo tanto, no podemos confiar a nuestro oído para la valorización de los ruidos.

En límite inferior, el umbral de audibilidad, se halla en una presión sonora de  $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$  y corresponde a 0 decibelios. Los sonidos con 130 decibelios los percibimos con sensación de dolor (tabla 1-1). Un ruido sostenido de más de 130 dB puede tener un efecto mortal.

Los ruidos del escape y de la marcha de los automóviles no deben sobrepasar la medida inevitable de acuerdo con el avance técnico actualmente

disponible. En unas normas de la Comunidad Europea se establecen los valores límite para la emisión de ruidos en los distintos vehículos (tabla 1-2).

<b>Tabla 1-2 Ruidos escape y marcha (valores límites)</b>	
Turismo y furgonetas	80 dB hasta 84 dB
Camiones, omnibuses, tractores	85 dB hasta 89 dB
Motocicletas	84 dB
Motocicletas pequeñas	73 dB hasta 79 dB
Bicicletas con motor auxiliar	70 dB hasta 73 dB

Fuente: Tecnología del automóvil GTZ

#### **1.4.- TIPOS DE SILENCIADORES PARA MOTORES GASOLINA.**

Existen 2 de diseños de silenciadores en la industria moderna,

- ❖ El de múltiples colmenas, y
- ❖ El colmena individual.

##### **1.4.1.- El silenciador de múltiples colmenas**

Ayuda a disminuir considerablemente el ruido del pase de los gases al salir del motor, el cual es creado por el abrir y cerrar de las válvulas de escape. Al momento que las válvulas de escape se abren, estas realizan una descarga de gases quemados de alta presión hacia la tubería intermedia del escape, es esta

sección se expande los gases con menos presión. Sin embargo, esta acción crea como consecuencia ondas de sonido que viajan junto a los gases salientes y se desplazan muchísimo más rápido que estos gas emanados (estamos hablando de aproximadamente 2,240kph / 1.400mph), es justo allí cuando el silenciador hace su papel de minimizar los ruidos producidos por éste fenómeno. Generalmente, el silenciador convierte la energía de la onda de sonido en calor, debido a el pase de los gases de admisión y su acompañante patrón de ondas a través de las cámaras con reflectores y colmenas perforadas de diferentes tamaños forzando las ondas de sonido disipen su energía.

A pesar que el silenciador de múltiples colmenas que ayuda a reducir el ruido (Fig. 1-3) , éste a su vez restringe la salida más rápida de los gases hacia el exterior limitando considerablemente las prestaciones del vehículo.



### **Fig. 1-3 Silenciador de múltiples colmenas.**

#### **1.4.2.- Silenciador de colmena individual**

Compuesto por celdas metálicas en forma tubular y con agujeros a lo largo de su colmena (Fig. 1-4) , el cual está diseñado para reducir la presión de los gases acumulados en la parte posterior del sistema de escape, permitiendo liberar los gases más rápidamente, produciendo como consecuencia más ruido exterior. Debido a que el silenciador de colmena individual no está en capacidad de reducir el ruido ocasionado por los gases del mismo motor, algunos sistemas de escape poseen resonadores. Los resonadores actúan como pequeños silenciadores y son generalmente utilizados al final del escape como tal. Este tipo de escape es el utilizado a nivel mundial por las personas que modifican sus vehículos tipo "Tuning" debido a los beneficios que estos otorgan o son fabricados de forma universal para todas las aplicaciones vehiculares existentes.



**Fig. 1-4 Silenciador de colmena individual.**

### **1.5.- TIPOS DE SILENCIADORES PARA MOTORES DIESEL:**

Existen diferentes diseños de silenciadores en la industria moderna, para motores diesel entre los cuales citaremos los siguientes:

#### **1.5.1.- Los silenciadores de reflexión.**

Contienen varias cámaras dispuestas una tras otra y conectadas entre sí con tubos debidamente dimensionados. La corriente pulsante de gases de escape es interrumpida varias veces en su recorrido. La amortiguación se realiza por reflexión de impulsos (reflexión de ondas sonoras) en las variaciones de sección transversal entre tubos y cámaras así como por acumulación sonora y anulación del sonido en las cámaras (Fig. 1-5).

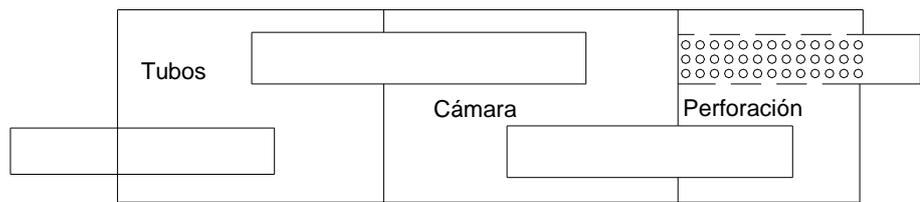


FIGURA 1-5 Silenciador de Reflexión

### 1.5.2.- Los silenciadores de interferencia

El conducto de escape se subdivide en una gran cantidad de ramales que a continuación vuelven a reunirse. Tienen que transformar los fuertes golpes del escape en impulsos sonoros más suaves. La multitud de conductos parciales y el gasto total hacen este sistema antieconómico.

### 1.5.3.- El silenciador combinado de interferencia y reflexión.

Los distintos tramos de tubos parciales van adicionalmente acoplados a cámaras. Junto a la amortiguación general del sonido por reflexión se tiene aquí, además, la amortiguación de las oscilaciones sonoras especialmente desagradables (Fig. 1-6).

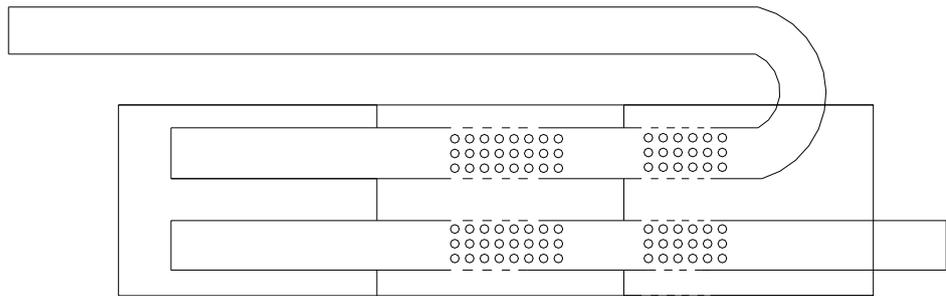


FIGURA 1-6 Silenciador combinado de interferencia y reflexión

#### 1.5.4.- El silenciadores de absorción

Presentan pequeña resistencia a la corriente del gas y son utilizados allí donde la instalación de escape no debe producir sino una débil contrapresión. Constan de varias cámaras, de un tubo de escape perforado (agujereado) en parte y de un material que rellena las cámaras y que es resistente al calor, poroso y amortiguador de ruidos hecho a base de silicio (Fig. 1-7). Los gases de escape que entran en el silenciador de modo brusco penetran también, a consecuencia de las oscilaciones, a través de las perforaciones, en el material absorbente que rellena las cámaras. Por rozamiento en este material pierden los gases energía vibratoria y salen del silenciador, en forma de corriente gaseosa casi uniforme y silenciosa.

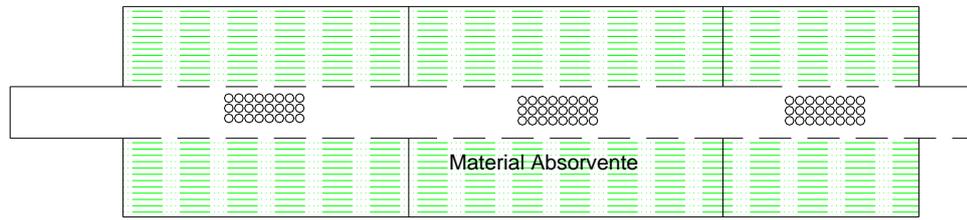


FIGURA 1-7 Silenciador de Absorción

1.5.5.- **El silenciador combinado de absorción y reflexión.**

Se mejora la acción del silenciador de absorción, en determinadas zonas de frecuencias mediante el principio de reflexión.



FIGURA 1-8 Silenciador combinado de absorción y reflexión

#### 1.5.6.- El silenciadores con ramales resonadores.

Pueden amortiguarse, sin resistencia notable a la corriente gaseosa, tonos que son especialmente altos y causa del alto nivel total de ruido.

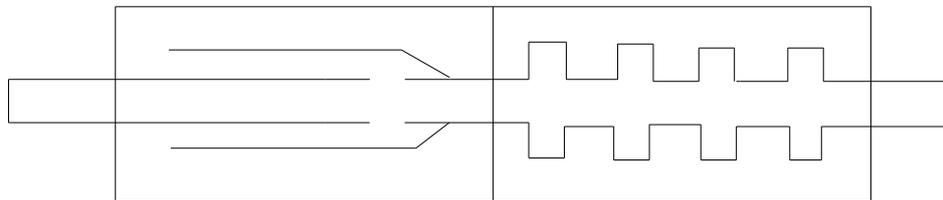


FIGURA 1-9 Silenciador con resonador de ramales

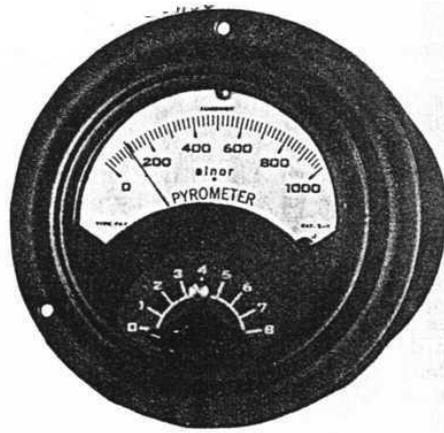
Todas las partes de una instalación de escape están dimensionadas entre sí, por lo que no deben alterarse. En algunos países, las modificaciones tienen como consecuencia la retirada del permiso de circulación. Sobre todo, en los motores de dos tiempos, la modificación produce en general el empeoramiento de la admisión y, por lo tanto, la reducción de la potencia del motor y el aumento del consumo de combustible. Además, el ruido del escape aumenta hasta rebasar el nivel admisible. La acumulación de carbonilla modifica también la instalación amortiguadora de ruidos y produce pérdidas de potencia.

## 1.6.- PIRÓMETROS DE ESCAPE

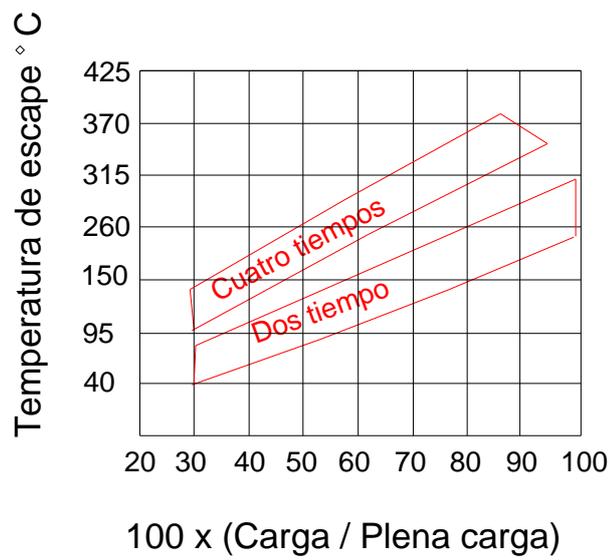
Cuando más combustible se queme en los cilindros, tanto más calientes serán los gases de escape de un motor. En los motores que se encuentran en buen estado mecánico y en los que la carga está bien repartida entre los cilindros, las temperaturas de escape de los distintos cilindros son prácticamente iguales entre sí para cualquier carga. Pero si la carga no se reparte por igual entre los cilindros, o las válvulas, y los segmentos no son estancos, o el estado de los inyectores no es correcto, o existe cualquier otro defecto, dichas temperaturas no serán iguales. Por ello se emplean los pirómetros de escape (Fig. 1-10), que miden estas temperaturas y permiten al usuario mantener el motor en buen estado y adecuadamente ajustado.

Un pirómetro de escape (Fig. 1-10) consta de dos componentes: un Termopar, inserto en el conducto de escape que sale de cada cilindro, y un indicador convenientemente situado que muestra la temperatura. Recordemos que un termopar es sencillamente un par de alambres de metales distintos soldados entre sí, en cuya unión se genera una pequeña tensión proporcional a la temperatura cuando se calienta. Esta tensión se lleva a través de un tendido de cables al indicador, que es un voltímetro muy sensible cuya escala se ha calibrado para mostrar temperatura directamente. Mediante un conmutador selector, puede emplearse un solo indicador para hacer la lectura de cada termopar. En los motores pequeños, pueden eliminarse los cables utilizando un indicador portátil de terminales descubiertos, que pueden ponerse temporalmente en contacto con los terminales de cada termopar.

En la figura 1-11, se muestra las gamas de temperaturas habituales en los motores Diesel de cuatro y dos tiempos. Obsérvese el gran incremento de temperatura que sufren los cilindros cuando el motor alcanza la plena carga. Por esta causa, un equilibrio ceñido de las temperaturas de escape de los cilindros es más importante a cargas elevadas que a cargas reducidas.



**Fig. 1-10** Pirómetro de escape conmutador selector. (Illinois ing Laboratorios)



**Figura 1-11** Cuadro de temperatura de escape.

### **1.7.- RECUPERACIÓN DEL CALOR DE ESCAPE.**

El calor que se pierde acompañando a los gases de escape es aproximadamente el 30% de la energía liberada por el combustible. Entonces puede plantearse la cuestión de si vale la pena recuperarlo en aquellos casos en que haga falta calor. efectivamente, esta operación puede llevarse a cabo, pero la experiencia revela que corrientemente es mejor empezar por utilizar el agua de refrigeración. Ello se debe a varias causas. (1) Las calderas calentadas por gases de escape son más caras que los intercambiadores de calor para el agua de refrigeración. (2) Sólo es recuperable parte del calor del escape, ya que los gases no deben enfriarse por debajo de unos 150 °C, pues si no las superficies transmisoras de calor y las tuberías se correrían rápidamente. (3) En los intercambiadores de calor que son atravesados por gases de escape se forman depósitos de hollín en los conductos de los gases y ello hace necesario limpiezas periódicas. Ahora bien, cuando el valor del calor recuperado es suficientemente alto para justificar la inversión y los costos de entretenimiento, se pueden construir instalaciones totalmente satisfactorias.

Una aplicación práctica muy interesante del calor del escape es emplearlo para calefacción en las centrales eléctricas grandes. En estos casos, los silenciadores de escape se montan en cámaras cerradas por las que se hace circular aire que se pone en contacto con las superficies calientes de los silenciadores y luego se introduce en la planta.

## **1.8.- NORMATIVA ANTICONTAMINACIÓN**

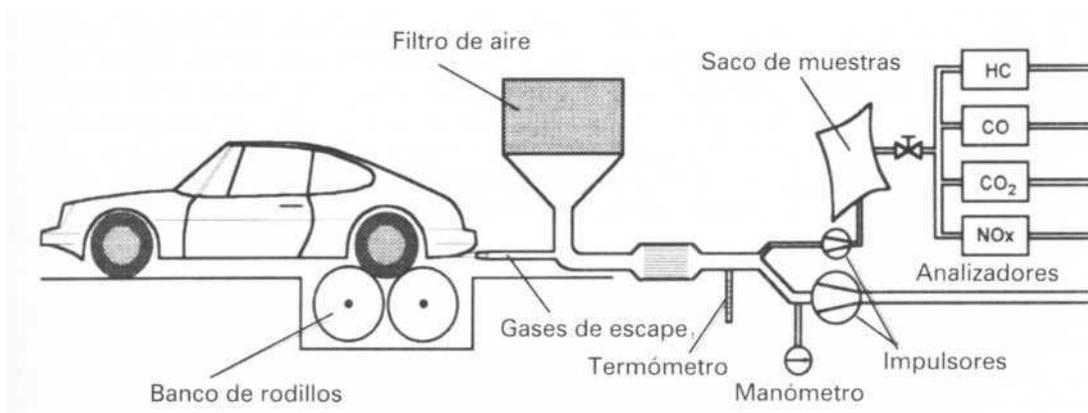
La lucha contra la polución atmosférica ocupa un lugar importante en las acciones que han sido tomadas por la mayor parte de los países industrializados para la protección del medio ambiente. La primera legislación sobre vehículos automóviles en este sentido fue establecida en 1966 por el estado de California, donde la situación se consideró crítica, especialmente en los alrededores de las grandes ciudades como Los Angeles. El congreso de los Estados Unidos de América fijó como objetivo reducir drásticamente las emisiones de tres contaminantes: los óxidos de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx), todos ellos altamente perjudiciales para la salud pública.

En la Comunidad Económica Europea la contaminación producida por los vehículos automóviles fue regulada en el año 1970, a la vista de los resultados altamente satisfactorios obtenidos en los Estados Unidos, dictando normas concernientes a los índices de polución permitidos y los tipos de gases a los que afectaba esta limitación. Posteriormente, la norma reguladora ha sido modificada estableciendo límites contaminantes cada vez más severos, de manera que los vehículos comercializados a partir de enero de 1993 deben cumplir unas normas tan estrictas en materia de polución que los constructores se han visto obligados a efectuar grandes modificaciones en los motores, de entre las cuales destacaremos la implantación exclusiva de sistemas de encendido electrónicos y equipos de inyección de gasolina, que sustituyen a los clásicos encendidos convencionales y carburadores, con los cuales los vehículos no llegaban a cumplir estas estrictas normas anticontaminantes.

Está previsto que la normativa anticontaminación de la CEE sea modificada haciéndola cada vez más severa en cuanto a la cantidad de polucionantes y tipo de los mismos, por cuya causa, los constructores de vehículos ya trabajan sobre prototipos de sus fabricados para llegar a cumplir la futura norma, que entrará en vigor en 1997.

La norma de 1993, actualmente en vigor establece un nivel de emisiones contaminantes en los gases de escape de 2,72 g/Km de CO y 0,97 g/Km de HC + NOx, tanto para los motores Diesel como para los de gasolina, en unas determinadas condiciones de circulación del vehículo.

Para efectuar la comprobación del nivel de emisiones contaminantes es preciso realizar un ciclo de conducción con el vehículo situado en un banco de rodillos (Fig. 1-13), dotado de masas de inercia capaces de simular las diferentes condiciones de marcha por inercia, retención y aceleración. En el ensayo se reproducen determinadas condiciones de circulación, y en el transcurso del mismo se recogen los gases emitidos por el escape en sacos de plástico, para ser analizados posteriormente y determinar la cantidad de contaminantes emitidos por kilómetro recorrido.



**Figura 1-13 Banco de rodillos con analizador de gases.**

La Figura 1-14 muestra sendos gráficos de los ciclos de conducción exigidos por la norma, los cuales han de ser seguidos por el conductor que realiza el ensayo, poniendo en circulación el vehículo a las velocidades preconizadas y deteniéndole en los instantes señalados. En el ciclo urbano se sigue una curva de conducción hipotética que representa un estilo de conducción normal en circulación urbana, resultado de encuestas realizadas en diferentes países de la

CEE. Este ciclo se repite cuatro veces consecutivas, partiendo en el primero de ellos de un arranque en frío. En el ciclo extraurbano se simula una conducción por carretera, con velocidades máximas de 120 Km/h, partiendo de vehículo parado, efectuando los cambios de marcha oportunos, aceleraciones y retenciones. El total de los dos ciclos supone un recorrido del vehículo del 11 Km.

## **II.- PROCESOS TERMODINÁMICOS**

### **2.1.- LOS GASES DEL ESCAPE Y LA RELACIÓN AIRE-COMBUSTIBLE**

Al analizar el rendimiento del motor de combustión, es de capital importancia el conocimiento de las cantidades relativas de aire y combustible presentes en la mezcla suministrada. La relación aire-combustible se determina en el laboratorio, mediante mediciones separadas del aire y del combustible, suministrados al motor. Este procedimiento no sólo es inconveniente, sino que usualmente es difícil en extremo, especialmente cuando el motor está instalado en un vehículo en movimiento. Por estas razones, se han hecho varios ensayos para valorizar la relación de la mezcla a partir de un análisis químico de los componentes de los gases del escape. La mezcla puede ser determinada con gran precisión mediante el análisis de los gases del escape, si las mediciones son precisas. Sin embargo, un solo análisis resulta discutible, puesto que el promedio de la relación aire-combustible obtenido de muchas pruebas, se acerca a la relación real, dentro de un 3%; errores mayores que el anterior son generalmente aceptables para muchos cálculos de ingeniería, por la única razón de que la información suministrada es cualitativa.

### **2.2.- EL RENDIMIENTO DEL MOTOR Y LA RELACIÓN AIRE-COMBUSTIBLE**

Aun cuando pueden utilizarse en el motor de combustión diferentes relaciones aire-combustible, se ha encontrado que es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente aun cuando definida, para máxima economía. dirijamos la atención primero a la potencia o par de arranque obtenido en el motor a velocidad constante. En este caso, el motor aspirará una cantidad constante de aire, limitada directamente por el desplazamiento del émbolo. Si se aumenta el flujo de combustible permitiendo que una mayor cantidad de él sea introducida en la corriente de aire por el carburador o por la bomba de inyección, la potencia en la flecha aumentará por el aumento de energía química liberada. Este aumento en la potencia por el aumento de combustible seguirá creciendo hasta que se alcance un punto en el que todo el aire (oxígeno) en el cilindro sea efectivamente utilizado para la combustión: esto es, hasta que se obtenga la liberación óptima de energía química de la reacción del combustible y el aire. Puesto que el flujo de combustible se puede aumentar; en tanto que el flujo de aire es fijado por el diseño y desplazamiento, del motor, es

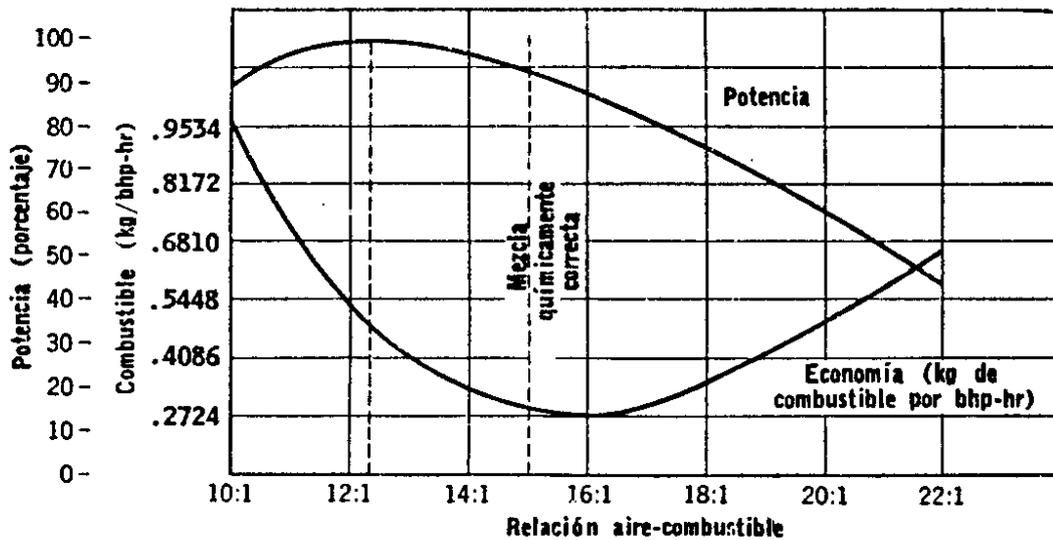
el aire, y no el combustible, el que impone un límite a la potencia obtenida en la flecha. En consecuencia, se obtiene la potencia máxima cuando se consume efectivamente todo el aire contenido en el cilindro. Cuando ocurre que el combustible y el aire se mezclan imperfectamente, que el combustible no se vaporiza por completo y que el volumen de compresión se llena con productos de la combustión que diluyen la concentración de la alimentación fresca, se hace evidente que para obtener potencia máxima deberá emplearse un exceso de combustible en relación con la mezcla químicamente correcta. Se llega a esta misma conclusión, incluso para una mezcla ideal.

La máxima economía del motor, como se desprende del consumo específico del combustible, se obtendrá idealmente cuando la liberación de energía química, por unidad de combustible, sea un máximo. Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente, y para ello, debe suministrarse un exceso de aire.

Ya que las mezclas pobres (y las ricas) se queman lentamente, el émbolo irá descendiendo en la carrera de potencia a medida que la energía va siendo liberada. Además la energía liberada se emplea en parte, para vencer la fricción que es relativamente constante.

Como consecuencia de estos factores indeseables, la mezcla para la máxima economía del motor no diferirá grandemente de la mezcla químicamente correcta.

En la Fig. 2-1 se ilustran las relaciones entre potencia, economía y relación aire-combustible para un motor particular encendido por chispa. Se tiene la máxima potencia cuando todo el aire se quema en la forma de una relación aire-combustible, rica; en tanto que se obtiene la máxima economía, cuando se emplea una mezcla pobre. La diferencia en las relaciones entre estos dos puntos de rendimiento es controlada por el diseño del motor. Considérese que el carburador de un motor multicilíndrico debe alimentar a cuatro, seis u ocho cilindros. El combustible se traslada hacia los cilindros: (1) como película líquida sobre las paredes del múltiple, (2) como partículas líquidas suspendidas en la corriente de aire, y (3) como un vapor mezclado con la corriente de aire. Como consecuencia de esta falta de homogeneidad y la consiguiente distribución inadecuada,



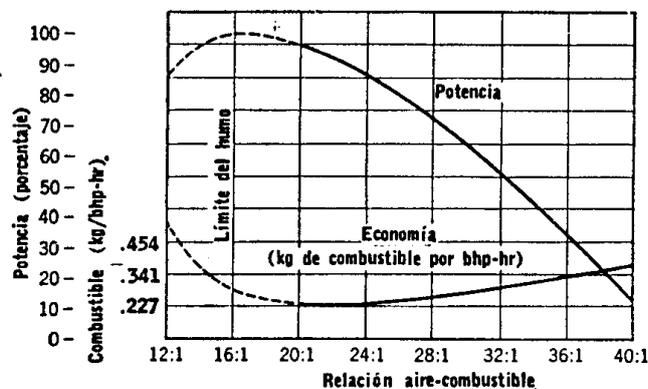
**Fig. 2-1. Variaciones de la potencia y la economía en un motor ECH con el carburador ajustado. Velocidad constante y estrangulador completamente abierto**

La relación aire-combustible para máxima potencia deberá ser algo mas rica si ha de quemarse todo el aire, la relación para máxima economía también tiende a ser rica, puesto que parte del combustible simplemente se desperdicia. Si se calienta el múltiple para mejorar la distribución, será inducido un peso menor de aire y la potencia máxima disminuirá en valor (además la potencia máxima será liberada con una relación aire-combustible, por ejemplo, de 14 a 1), sin embargo, la economía será mejorada con el bajo consumo específico de combustible ( y el consumo específico mínimo será proporcionado con relaciones aire-combustible de, por ejemplo, 16 o 17 a 1 ). Así, las demandas de las relaciones numéricas del motor, ilustradas cualitativamente en la Fig.2-1, son influidas por el objetivo en el diseño del motor: ya sea que fuera diseñado para potencia máxima o para economía máxima.

Puede pensarse que las fallas en los motores multicilindricos ECH sean remediadas inyectando el combustible directamente dentro del cilindro en la carrera de admisión. Sin embargo, en este caso las fallas inherentes en un

múltiple son compensadas por las fallas inherentes en la bomba dosificadora. El problema es el de medir la misma cantidad de combustible para cada cilindro y mantener esta dosificación exacta para todas las condiciones de velocidad y de variaciones de la carga. En los motores pequeños, las diminutas cantidades de combustible inyectado por cilindro, complican aún más la situación. Por ahora es suficiente notar que la inyección ha resulta más exitosa que la carburación, solamente cuando la velocidad es esencialmente constante.

En los motores EC existe el mismo problema que en los motores ECH y las relaciones cualitativas de rendimiento son bastante semejantes (compárense las Figs. 2-1 y 2-2).



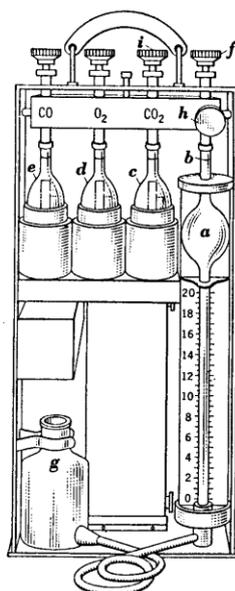
**Fig. 2-2. Variaciones de la potencia y la economía de un motor EC por la cantidad de combustible inyectado. Velocidad constante. Mezcla química correcta con relación AC de 15:1.**

Sin embargo, la relación aire-combustible, no puede tener a la mezcla químicamente correcta sin la presencia de humo. En la Fig. 2-2 se indica que el motor nunca deberá funcionar en el punto de máxima potencia porque aparece humo en exceso y fallas en el motor. Muchos motores despiden humo, incluso con relaciones aire-combustible de 30:1. En los motores EC debe ocurrir la inyección en un punto en el cual sea deseable la elevación de presión y por lo mismo se dispone de poco tiempo para que el combustible encuentre al aire. Por esta razón, la bomba de inyección del combustible vaya más allá de la correspondiente a un humo ligero. En consecuencia los puntos para potencia máxima y economía máxima en el motor EC se llevan hacia las relaciones

relativamente altas de aire-combustible-siempre mayores que la relación químicamente correcta.

### 2.3.- Análisis de los productos de la combustión

El equipo usual de laboratorio para analizar mezclas de gases es el aparato Orsay; en la Fig. 2-3 se ilustra un modelo portátil. El Orsay consta de una bureta medidora a (que contiene 100 unidades de volumen entre la marca 0 de la escala y la pínula en b) y una serie de pipetas de absorción tales como c, d y e.



**Fig. 2-3. Orsay Ellison para determinar CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO**

Este modelo particular es para mezclas que contienen bióxido de carbono, oxígeno, o monóxido de carbono, sin embargo, se pueden añadir pipetas extras para otros gases.

En todos los instrumentos Orsay, se determina el análisis volumétricamente y aparece en una base seca aun cuando la muestra original haya sido saturada con vapor de agua. Si se utiliza mercurio como fluido en la botella niveladora, se deben poner unas cuantas gotas de agua sobre la superficie del mercurio para asegurar que la muestra se sature y se restablezca después que ha sido expuesta a las soluciones químicas en las pipetas absorbedoras, ya que estas soluciones ejercen una acción secante.

Se muestra que el Orsay ignora el vapor de agua y reporta el análisis exacto para una mezcla hipotéticamente seca.

#### **2.4.- Los componentes del aire y de los combustibles**

No obstante que el aire atmosférico contiene pequeñas cantidades de argón, bióxido de carbono e hidrógeno, estos componentes serán incluidos en el nitrógeno.

La composición de los combustibles hidrocarburos, no difiere grandemente, si sólo se puede practicar un análisis químico, es generalmente preferible suponer la composición a partir del conocimiento del origen del combustible. Para las gasolinas y aceites combustibles del continente medio, es muy representativa la composición  $C_8H_{17}$  ( $CH_{2.12}$ ). La composición se ilustra usualmente por la relación H/C.

Las bases para la relación se determinan por inspección, puesto que los valores no cambian significativamente para los combustibles que se puedan encontrar.

Cálculo de las relaciones aire-combustible. Se dispone de diferentes métodos para calcular la relación aire-combustible de la mezcla, a partir del análisis de los gases de escape:

- A. Balance del carbono
- B. Balance del hidrógeno
- C. Balance carbono-hidrógeno
  - 1) Con combustible conocido
  - 2) Con combustible desconocido
- D. Método del escape oxidado

Los métodos A, B, C.1 y D requieren que sea conocida la composición química del combustible; el C.2, no requiere ese conocimiento. Los métodos implican el balance de las ecuaciones de las reacciones químicas: combustible más aire, tienden a ser productos de la combustión. Los métodos serán mejor ilustrados, mediante ejemplos.

**A. Balance del Carbono.** Probablemente el balance del carbono sea el método más conveniente, siendo especialmente exacto para mezclas pobres. En este caso, el porcentaje de  $\text{CO}_2$  es elevado y por ello, los pequeños errores en la medición del Orsay no son críticos. Sin embargo, no deberá utilizarse para combustible de origen desconocido. Generalmente, el método supone que todo el carbono se encontrará combinado en los gases del escape y no se forma el carbón libre (sólido). El nitrógeno en los productos (y por lo mismo en la mezcla), se supone que sea el gas inerte que queda en el Orsay al terminar el análisis y por ello, se le calcula por diferencia. Después del balance del nitrógeno se encuentra el oxígeno en la mezcla original, a partir de la composición ya conocida, del aire.

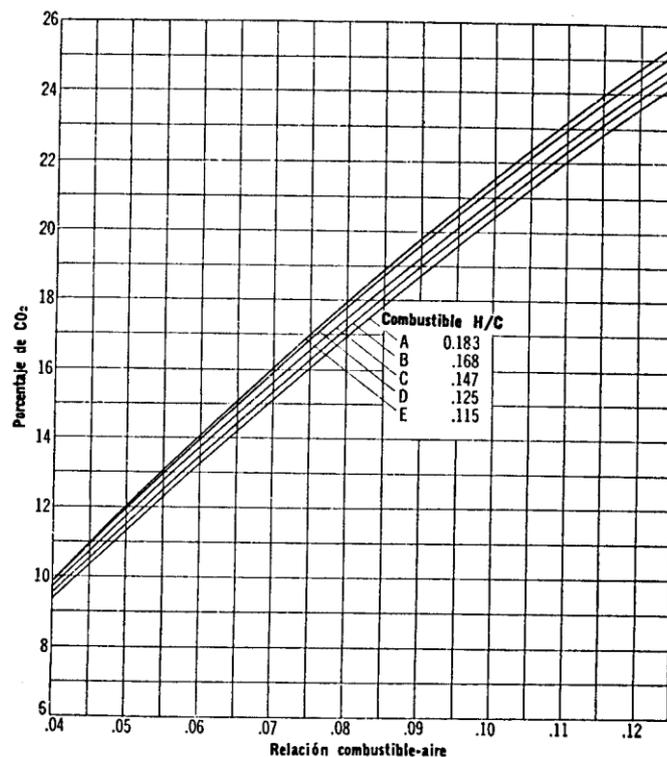
**B. Balance del Hidrógeno.** En muy pocos casos es conveniente el método del balance del hidrógeno; por ejemplo, en el caso del motor EC sometido a grandes cargas, apareciéndole carbón libre en los gases del escape. Ya que la cantidad de gas que contiene hidrógeno es pequeña, deberá desarrollarse extremo cuidado al practicar el análisis de los gases.

**C. Balance de Carbón-Hidrógeno.** Cuando es desconocida la composición del combustible y no se le puede estimar certeramente, deben combinarse los métodos de balance del hidrógeno y del carbono para encontrar la solución.

Cuando la exactitud del análisis del Orsay es dudosa y se conoce el análisis del combustible, el balance carbono-hidrógeno, sin el balance del nitrógeno, es posible que pruebe ser la mejor solución.

**D. Escape Oxidado.** Es conveniente, al analizar los gases del escape, obtener un elevado porcentaje de un componente, con objeto de que los pequeños errores en las mediciones volumétricas sean insignificantes. También es de desear, tener componentes tales como el  $\text{CO}_2$ , que puede ser analizado y medido rápidamente. Los gases del escape pueden contener cantidades

pequeñas de hidrógeno, metano y otros gases como hidrocarburos, que son especialmente difíciles de reconocer o evaluar con precisión. Por estas razones, se ha abogado por un método que parece prometer mucho, especialmente cuando se emplean mezclas ricas. En este método se calcula un diagrama para la composición del combustible que se utilizará; dicho diagrama se reproduce en la Fig. 2-4 (y el método de cálculo). Los gases del escape provenientes del motor, pasan por entre un oxidador que permite que los productos parcialmente quemados se conviertan en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . En la práctica, se hace el oxidador de tubería de acero inoxidable, de 2.54 cm de diámetro lleno con óxido cúprico en forma de alambre de 0.5 mm de diámetro.



**Fig. 2-4. Porcentaje de bióxido de carbono en los gases del escape para diferentes combustibles y relaciones combustible-aire.**

Este cilindro se coloca en el tubo de escape del motor, donde se tienen temperaturas hasta de  $649^{\circ}\text{C}$ . Los gases del escape contienen productos tales como  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{CH}_4$ , oxidados a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en tanto que el  $\text{O}_2$ , también será removido y absorbido. El gas que queda en el oxidador se lleva al interior de un aparato Orsay convencional y se mide el contenido de  $\text{CO}_2$ .

El de este método radica en su insensibilidad a las fallas de encendido en el cilindro o las sobreposiciones de las válvulas. En los métodos anteriores, un motor que falla en el encendido, pasa al tubo del escape una mezcla sin quemar y los componentes del escape consistirán en grandes cantidades de  $O_2$  así como de CO. Como el  $O_2$  es asociado a las mezclas pobres y el CO a las ricas, el análisis de los gases del escape probarán no tener valor. En el método del escape oxidado, las fallas del encendido no tienen consecuencias, puesto que la mezcla será oxidada en todo caso en el oxidador.

### **III.- MATERIALES**

#### **3.1.- INTRODUCCION.**

La regulación del nivel de ruido de los vehículos esta tornándose mas estricta y con el continuo crecimiento de la población de vehículos, las especificaciones se están tornando más necesarias .

Los fabricantes de automotores y proveedores de escapes están echando un vistazo a las tecnologías empleadas en silenciadores, pero no solo es el hecho de hacer silenciadores acústicamente más efectivos y resistentes. Muchos otros requisitos son importantes.

Los fabricantes de automotores se están esforzando para reducir el peso del vehículo.

Retradores se están colocando en el espacio disponible para silenciadores. La demanda en eficiencia en combustible está aumentando. Y por encima de todos estos requisitos, los costos deben reducirse.

Consecuentemente ha surgido una clara necesidad para los sistemas de escape de sonido que es más efectiva, más amigable con el medio ambiente, más liviana y con menos costo.

Se estima que para el 2005, el 75% de los silenciadores serán con relleno. Porque los silenciadores sin relleno (particularmente los del tipo doble pared), son simplemente muy pesados, muy grandes y muy costosos para los vehículos del mañana. Además ellos pierden

flexibilidad de diseño, y con los retradores de espacio colocados en los sistemas de escape, la flexibilidad de diseño de los componentes automotrices no es más un lujo.

El material de relleno empleado en el sistema de control de ruido de ciertos silenciadores es la Fibra de vidrio de 24 micrones.

La fibra de vidrio provee mayor absorción acústica, resistencia a la temperatura y a la corrosión para asegurar un período extendido de excepcional performance en aplicaciones de silenciadores

Sin embargo como los fabricantes de los silenciadores con relleno convencionales están descubriendo, que es importante no solo el tipo de material absorbente empleado

en el silenciador, sino el material que permanece en el silenciador.

Los materiales de relleno tradicionales tales como la lana basáltica y otras fibras no continuas se desintegran después de un tiempo y son expulsadas por el escape. Esto reduce

la capacidad silenciadora del escape y no es amigable con el medio ambiente. Agregando lana de acero inoxidable u otro elemento de retención solamente se agrega peso y costo.

### **3.2.- MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SILENCIADORES.**

#### **3.2.1.- LANA DE VIDRIO.**

Es un material aislante se caracteriza por el valor de su conductividad térmica; su poder aislante es tanto más elevado cuanto más pequeña es su conductividad.

La lana de vidrio es un material compuesto.

El fieltro, que se forma en la cadena, está constituido por fibras entrecruzadas desordenadamente, que impiden las corrientes de convección del aire.

Es evidente que la conductividad térmica del fieltro será no una conductividad sólida real, sino una conductividad aparente y que será el balance de los efectos conjugados de varios procesos de cambios de calor, que vamos a tratar de analizar a continuación:

- a) El aire inmovilizado por la red de fibras, es un volumen proporcionalmente importante; por tanto, una parte de la transmisión de calor se hará por convección y a la vez obtendremos una buena absorción de ruido.
- b) Las fibras, en contacto unas con otras, permiten la transmisión de calor por conducción.
- c) Finalmente, las fibras intercambian energía entre sí, por radiación.

La absorción del ruido dependerá mucho de:

- El diámetro de las fibras.
- La densidad aparente del producto.

El valor de su conductividad térmica varía de 0,032 a 0,045 W/(m · K) (a 10 °C), para los productos ISOVER, de aplicación en la construcción.

Su elevado coeficiente de absorción justifica su empleo en la corrección acústica de locales (talleres, oficinas, etc.), y sobre todo en los casos más difíciles, como el revestimiento de paramentos en «cámaras sordas».

### **3.2.2.- ACERO INOXIDABLE.**

Es un Acero inoxidable austenítico, antimagnético no templable, con excelentes propiedades de ductibilidad y resistencia al golpe. Posee buena resistencia a la corrosión a temperaturas de hasta 920°C. (1700°F.) en servicio continuo y 870°C. (1600°F.) en servicio intermitente, y su bajo contenido de carbono lo hace muy apropiado para someterse a procesos de soldaduras.

#### **Aplicaciones:**

Los podemos utilizar en la construcción de evaporadores, barriles de cerveza, tanques de oxígeno líquido, muebles de cocina y laboratorio, partes para válvulas, etc.

#### **Resistencia a la corrosión:**

Posee un coeficiente de corrosión muy elevado, la duración de la protección que proporcionan los recubrimientos inoxidables frente a la corrosión atmosférica es extremadamente alta y depende de las condiciones climatológicas del lugar y de la presencia en la atmósfera de contaminantes agresivos

Son cinco los riesgos que amenazan el éxito del uso de los aceros inoxidables. Estos son: la corrosión intergranular, la corrosión por efecto galvánico, la corrosión por contacto, la corrosión en forma de picado o de pinchazos de alfiler, y la corrosión por fatiga. Muchos fracasos pueden ser evitados dándose cuenta sencillamente de los riesgos involucrados y adoptando las medidas apropiadas para eliminarlos.

#### **Corrosión ínter granular**

Un tratamiento térmico inadecuado del acero inoxidable puede producir una red de carburos en los aceros con más del 0,03 por ciento de carbono, o sin adición de titanio o de columbio. El metal que contenga tal red es susceptible de corrosión intergranular que podrá ser causa de fracaso en condiciones muy corrosivas y reducir la duración útil en muchos servicios relativamente ligeros. Los procedimientos normales de soldadura introducen en el metal la susceptibilidad a la precipitación de los carburos. Que el acero sea susceptible de corrosión intergranular no significa necesariamente que será atacado por ella.

### **Corrosión galvánica**

La corrosión galvánica ejerce una acción localizada que puede sobrevenir cuando una junta de unión entre dos metales disimilares está sumergida en una solución que puede obrar como electrolito. En un medio corrosivo, los dos metales diferentes forman unos electrodos cortocircuitados y constituyen una celda electroquímica. De ello resulta la disolución del electrodo anódico, mientras que el cátodo permanece inalterable.

### **Corrosión por contacto**

El tercer riesgo es la corrosión por contacto. Una diminuta partícula de acero al carbono, una escama de óxido, cobre u otra sustancia extraña cualquiera incrustada en el acero inoxidable puede ser suficiente para destruir la pasividad en el punto de contacto. El ataque empieza al formarse una celda galvánica con la partícula de material extraño como ánodo. Mientras dura la acción electroquímica que disuelve lo contaminado, iones de hidrógeno se liberan haciendo que el acero inoxidable se vuelva activo en el punto de contacto. La acción de picado puede proseguir después de haber sido eliminada la partícula extraña por haberse constituido una celda activa-pasiva entre la diminuta superficie anódica atacada y la extensa área catódica circunvecina. Cuando las secciones inoxidables entran en servicio deberán estar limpias de escamas de óxido, de aceite, de pequeñas partículas metálicas procedentes de las herramientas, troqueles e hileras, así como de todo material extraño. La corrosión por contacto puede iniciarse al cabo de mucho tiempo de estar la pieza en

servicio si los métodos de limpieza empleados no son meticulosos. Oxido y suciedad en los conductos de vapor, herramientas impregnadas con acero al carbono, e inclusive aparatos de transporte sucios, pueden acarrear sustancias creadoras de corrosión por contacto hasta los recipientes de acero inoxidable durante un período de limpieza. Unas superficies limpias y lisas, así como la ausencia de arañazos y grietas reduce el riesgo de que se produzca corrosión por contacto.

### **Picado o corrosión en forma de pinchazos de alfiler**

Las soluciones que contengan cloruros podrían atacar por una acción de picado, y en las picaduras se podrán desarrollar celdas galvánicas. Los daños debidos a este picado son también llamados pinchazos de alfiler causados por la corrosión. Los cloruros ácidos, tales como el cloruro férrico y el cloruro sódico son particularmente peligrosos, pero cualquier cloruro en concentración apreciable puede ser la causa posible de perturbaciones. Generalmente los fracasos del acero inoxidable en un medio supuestamente a salvo de la corrosión son atribuibles a la presencia del ion cloruro en mayor concentración que la previsible.

El molibdeno contenido en los tipos 316 y 317 aumenta la resistencia al picado. Estas aleaciones quedan sometidas a los desperfectos debidos a la corrosión por fatiga; así pues, los recipientes deberán quedar tan exentos de tensiones como sea posible. Grietas, fisuras y bolsas de estancamiento deberán ser eliminadas ya que son las superficies limpias y en buen estado las que mejor resisten al picado, cualquiera que sea la calidad del acero inoxidable.

### **Corrosión por fatiga**

La corrosión por fatiga es otro de los riesgos que han de ser eliminados. Casi todos los metales y aleaciones, incluso el acero austenítico inoxidable, pueden fallar al agrietarse o quebrarse debido a la corrosión por fatiga en

condiciones que impliquen esfuerzos aplicados o tensiones residuales combinadas con agentes ligeramente corrosivos. Las soluciones de cloruro son de lo más perjudicial al provocar el agrietamiento de los aceros inoxidable austeníticos.

***El mecanismo causante de la corrosión por fatiga todavía no ha sido determinado. Es principalmente transgranular y puede ir acompañado de ataques de picado. Son muy susceptibles las piezas que han estado sometidas a un fuerte trabajo en frío, pero el acero recocido puede también agrietarse cuando se le somete a condiciones difíciles.***

TABLA 3-1 DE CORROSIÓN DEL ACERO INOXIDABLE.

SUBSTANCIA	Temperatura		Condición	Tipo		
	oC	OF		304	316	
Acetato de etilo	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
Acetileno	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
Acetona	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
Acido acético	Solución al 10%	21	70	Agitado	Muy resistente	Muy resistente
	Vapor al 30%	-	-	Caliente	Mediano	Resistente
	Vapor al 100%	-	-	Caliente	No resistente	Mediano
Acido benzoico	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
Acido carbónico seco	-	-	-	Muy resistente	Muy resistente	
Acido fosfórico	10%	-	-	Agitado	Muy resistente	Muy resistente
	10%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Resistente
	25%	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
	40%	-	-	Ebullición	Poco resistente	Resistente
Acido hidroclorhídrico	21	70	-	No resistente	No resistente	
Acido láctico	5%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	10%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Mediano	Resistente
Acido muriático	21	70	-	No resistente	No resistente	
Acido nítrico	5%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	5%	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente
	65%	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Resistente	Resistente
	Concentrado	-	-	Vaporización	Poco resistente	Poco resistente
Acido nitroso al 5%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
Acido oxálico	10%	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	50%	-	-	Ebullición	Poco resistente	Mediano
Acido sulfúrico	5%	21	70	-	Mediano	Resistente
	5%	-	-	Ebullición	No resistente	Mediano
	10%	21	70	-	Mediano	Resistente
	10%	-	-	Ebullición	No resistente	Poco resistente
	50%	21	70	-	Poco resistente	Mediano
50%	-	-	Ebullición	No resistente	Poco resistente	

	Concentrado	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Poco resistente	Poco resistente
	Humeante	-	-	-	Mediano	Resistente
Agua clorinada saturada	21	70	-	Mediano	Resistente	
Agua de mar	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
Agua oxigenada	21	70	-	Muy resistente	Resistente	
Alcohol etílico	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente	
	-	-	Ebullición	Muy resistente	Muy resistente	

Fuente: Distribuidora Metálica S.A. de C.V.

<http://www.metlica.com.mx>

### 3.2.3.- LATÓN

Las aleaciones útiles de cobre y zinc contienen hasta un 40 % de zinc, las que contienen del 30 al 35 % son las de mayor aplicación por ser baratas, muy dúctiles y fáciles de trabajar. Al disminuir el contenido de zinc, las aleaciones se aproximan cada vez más al cobre en sus propiedades y mejoran su resistencia a la corrosión. Se pueden presentar agrietamientos por esfuerzos producidos en la elaboración con latones de alto contenido de zinc pero raras veces en los de 15% de zinc, este es un agrietamiento espontáneo, que se produce por la exposición a la corrosión atmosférica en objetos de latón con grandes tensiones superficiales residuales. Puede evitarse por medio del recocido de alivio de tensiones de 246 a 276 grados centígrados, sin que se ablande la pieza. Debe observarse que las aleaciones susceptibles al agrietamiento espontáneo por esfuerzos producidos en la elaboración, aún cuando estén exentas de deformaciones internas, se agrietarán al ser expuestas a condiciones de corrosión bajo grandes esfuerzos de servicio.

Las aleaciones de zinc del 5 al 20% son de aplicación en operaciones de soldado con soldadura fuerte, a causa de no ser susceptibles al agrietamiento por esfuerzos producidos en la elaboración, debido a su color rojo y porque su alto punto de fusión es conveniente.

El trabajo en frío aumenta la dureza y la resistencia a la tracción y disminuye la ductilidad, medida por el alargamiento o reducción del área. El recocido por

debajo de cierta temperatura no tiene prácticamente efecto alguno, por el intervalo(rango), de cristalización se produce un descenso rápido de la resistencia y un aumento de la ductilidad. En este punto, el efecto del trabajo en frío es eliminado casi en su totalidad.

El latón para resortes debe laminarse con una dureza que sea compatible con las operaciones subsiguientes de formado. Para artículos que requieren dobleces pronunciados, o para las operaciones de embutido profundo, debe usarse latón recocido.

La adición de plomo al latón lo hace de corte fácil y notablemente maquinable.

### **Resistencia a la corrosión:**

Con las adiciones del 0.75 al 1.25% de Estaño mejoran su resistencia a la corrosión.

El Aluminio se agrega al latón para mejorar su resistencia a la corrosión, particularmente en las aplicaciones de tubos para condensadores. El bronce de manganeso es un latón complejo para el trabajo en caliente, de alta resistencia mecánica y de resistencia al desgaste por abrasivos.

Todas las aleaciones de cobre son altamente resistentes al ataque atmosférico, pero para la exposición a la intemperie son preferibles las que contienen más de 80% de cobre (o el cobre mismo) a causa de su resistencia al agrietamiento por esfuerzos introducidos en la elaboración.

### **Aplicaciones:**

Se fabrican perfiles por extrusión de muchas aleaciones de cobre en una amplia variedad de formas. La extrusión es importante ya que muchos objetos, como piñones, articulaciones, brazos o ménsulas y cañones de cerraduras, pueden hacerse directamente a partir de varillas extruidas.

## Propiedades Mecánicas

**Tabla 3-2 Propiedades Mecánicas.**

<b>Dureza</b>	<b>Resistencia a la rotura</b>	<b>Alargamiento</b>	<b>Dureza Brinell</b>
	<b>kilo/mm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>kilo/mm<sup>2</sup></b>
<b>Recocido.....</b>	29-35	45	.....
<b>Semiduro.....</b>	35-43	25	75-95
<b>Duro.....</b>	41-50	15	95-120
<b>Acerado.....</b>	52-64	5	130-150

Fuente: Aceros Levinson

<http://www.aceroslevinson.com>

### **3.2.4.- ACERO LAMINADO EN FRIO.**

El acero laminado en frío de bajo carbono y en calidades comercial y embutición profunda, viene en rollos hasta de 20 toneladas o en láminas cortadas a la medida, en espesores desde 0,20 mm hasta 1.9 mm y ancho desde 800 mm hasta 1220 mm.

Las principales aplicaciones y usos son: fabricación de electrodomésticos, tubería soldada, tambores y recipientes de almacenamiento (utilizados en la industria de alimentos y petroquímica), láminas para galvanizar, autopartes, carrocerías, carpintería metálica, fabricación de elementos estructurales y maquinaria en general.

Cumple con las especificaciones de la norma: ASTM A 366, ASTM A 568, JIS 3141 y NTC 7.



**Figura 3-1 Cilindros de acero laminado en frío.**

### Características técnicas

**Tabla 3-3 Características técnicas del acero laminado en frío.**

#### Composición Química

Calidad	%C	% Mn
SAE 1006	0,06 máx	0,20/0,30
SAE 1008	0,05/0,08	0,35/,045

SAE 1010	0,08/0,09	0,45/0,55
----------	-----------	-----------

### Propiedades Físicas

Calidad	Dureza RC B	Ruptura Mpa	Rugosidad Micro-Inch
SAE 1006	85 mín	690 aprox.	20 / 30
SAE 1008	85 mín	690 aprox.	20 / 30
SAE 1010	85 mín	690 aprox.	20 / 30

Fuente: Compañía Siderúrgica Huachipato

<http://catalogo.huachipato.cl>

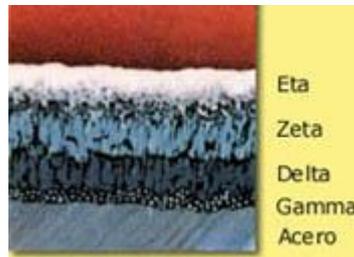
### 3.2.5.- LÁMINA DE ACERO GALVANIZADA

Lámina recubierta en un proceso de inmersión en caliente con una capa uniforme de Zinc de alto grado, proporcionando una excelente protección anticorrosiva, así como catódica en los bordes expuestos por perforaciones y corte.



**Figura 3-2 Cilindro de acero galvanizado.**

Los recubrimientos que se obtienen por galvanización en caliente están constituidos por varias capas de aleaciones zinc-hierro, fundamentalmente tres, que se denominan "gamma", "delta" y "zeta" y una capa externa de zinc (figura 3-3) prácticamente puro (fase "eta"), que se forma al solidificar el zinc arrastrado del baño y que confiere al recubrimiento su aspecto característico gris metálico brillante.



**Figura 3-3 Capas de aleaciones zinc-hierro.**

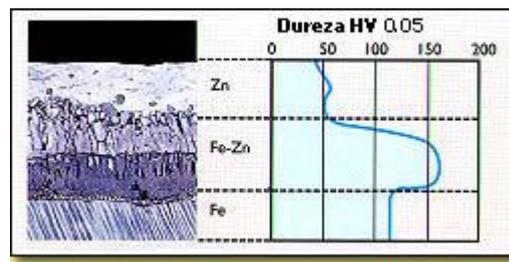
Al ser recubrimientos obtenidos por inmersión en zinc fundido, cubren la totalidad de la superficie de las piezas, tanto las exteriores como las interiores de las partes huecas así como otras muchas áreas superficiales de las piezas que no son accesibles para otros métodos de protección.

### **Resistencia a la abrasión**

Los recubrimientos galvanizados (Figura 3-4), poseen la característica casi única de estar unidos metalúrgicamente al acero base,

por lo que poseen una excelente adherencia. Por otra parte, al estar constituidos por varias capas de aleaciones zinc-hierro, más duras incluso que el acero, y por una capa externa de zinc que es más blanda, forman un sistema muy resistente a los golpes y a la abrasión.

#### **Diagrama de dureza de los recubrimientos galvanizados**



**Figura 3-4 Diagrama de dureza de recubrimientos galvanizados.**

#### **Resistencia a la corrosión**

Los recubrimientos galvanizados proporcionan al acero una protección triple.

- *Protección por efecto barrera.* Aislándolo del medio ambiente agresivo.
- *Protección catódica o de sacrificio.* El zinc constituirá la parte anódica de las pilas de corrosión que puedan formarse y se irá consumiendo lentamente para proporcionar protección al acero. Mientras exista recubrimiento de zinc sobre la superficie del acero, éste no sufrirá ataque corrosivo alguno.
- *Restauración de zonas desnudas.* Los productos de corrosión del zinc, que son insolubles, compactos y adherentes, taponan las pequeñas discontinuidades que puedan producirse en el recubrimiento por causa de la corrosión o por daños mecánicos (golpes, arañazos, etc.).

#### **Corrosión atmosférica**

La duración de la protección que proporcionan los recubrimientos galvanizados frente a la corrosión atmosférica es extremadamente alta y depende de las condiciones climatológicas del lugar y de la presencia en la atmósfera de contaminantes agresivos, como son los óxidos de azufre (originados por actividades urbanas o industriales) y los cloruros (normalmente presentes en las zonas costeras).

**Tabla 3-4 Corrosión del zinc.**

Velocidad de corrosión del zinc en diferentes atmósferas (según ISO 9223)		
Categoría de Corrosividad	Ambiente	Pérdida media anual de espesor de zinc ( $\mu\text{m}$ )
C1 Muy baja	Interior: Seco	0,1
C2 Baja	Interior: Condensación ocasional	0,1 a 0,7
C3 Media	Interior: Humedad elevada y alguna contaminación del aire Exterior: Urbano no marítimo y marítimo de baja salinidad	0,7 a 2,1
C4 Alta	Interior: Piscinas, plantas químicas, etc. Exterior: Industrial no marítimo, y urbano marítimo	2,1 a 4,2
C5 Muy alta	Exterior: Industrial muy húmedo o con elevado grado de salinidad	4,2 a 8,4

Fuente: Compañía Siderar

<http://Siderar.com.ar>

### **Corrosión en agua dulce**

El acero galvanizado resiste generalmente bien la acción corrosiva de las aguas naturales, ya que el anhídrido carbónico y las sales cálcicas y

magnéticas que normalmente llevan en disolución estas aguas ayudan a la formación de las capas de pasivación del zinc, que son inertes e insolubles y aíslan al recubrimiento de zinc del subsiguiente contacto con el agua.

La dilatada experiencia existente en el empleo de acero galvanizado en utilidades relacionadas con el transporte y almacenamiento de aguas dulces, son la mejor prueba de que el acero galvanizado tiene una excelente resistencia a la corrosión en este tipo de aguas.

### **Corrosión en agua de mar**

Los recubrimientos galvanizados resisten bastante bien el ataque corrosivo del agua de mar. Ello se debe a que los iones Mg y Ca presentes en este agua inhiben la acción corrosiva de los iones cloruro y favorecen la formación de capas protectoras.

### **Ventajas**

Las principales ventajas de los recubrimientos galvanizados en caliente pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Duración excepcional.
- Resistencia mecánica elevada.
- Protección integral de las piezas (interior y exteriormente).
- Triple protección: barrera física, protección electroquímica y autocurado.
- Ausencia de mantenimiento.
- Fácil de pintar.

### **Especificaciones técnicas:**

#### **Tabla 3-5**

CALIDADES	CS, FS, DS, SS, EDDS
GRADO	33 (230), 37 (255), 40 (275), 50 (345), 80 (550)
FLOR	REGULAR MINIMA (HEURTEY) EXTRA LISA
ESPESOR	DE 0.010" (0.25mm) A 0.135" (3.43mm).
ANCHO	DE 24" (610mm) A 49.21" (1250mm)
DESIGNACION DEL RECUBRIMIENTO	G-40 (Z-120) G-60 (Z-180) G-90 (Z-275) G-210 (Z-600)
DIAM. INTERNO	20" (508mm). 24" (610mm)* *PARA ESPEORES SUPERIORES A 0.068" (1.70mm)
TENSIONIVELADO	DE 0.010" (0.25mm) A 0.060" (1.50mm).
ACONDICIONAMIENTO DE SUPERFICIE	DE 0.012" (0.3mm) A 0.060" (1.50mm).
PESO DEL ROLLO	DE 3.5 TM (7700 lbs.) A 18 TM (39600 lbs.)
PROTECCION	TRAT. QUÍMICO (PASIVADO), SECO Y/O CON ACEITE
EMPAQUE	ROLLO: ENLATADO METALICO, OJO HORIZONTAL U OJO AL CIELO EN TARIMAS DE MADERA.  LAMINA LISA Y CORRUGADA: LATA DE METAL EN TARIMAS DE MADERA

Fuente: Compañía Siderar

<http://Siderar.com.ar>

### 3.2.6.- LÁMINA DE ACERO ZINC – Aluminizada

Lámina recubierta en un proceso de inmersión en caliente de alto grado,

con una capa compuesta por Zinc, aluminio y silicio, proporcionando una excelente protección anticorrosiva, así como catódica en los bordes expuestos por perforaciones y corte.

### **Resistencia de la corrosión.**

La resistencia a la corrosión de cada aleación está determinada fundamentalmente por su composición química, aunque también influye su temple en menor grado. Si la superficie es cortada o sometida a abrasivos, la película protectora de óxido se forma nueva mente en forma espontánea, mientras el oxígeno esté presente.

La corrosión sólo ocurre cuando la película se rompe y no se recompone por falta de oxígeno.

En el estado de entrega y sin ninguna protección adicional, la superficie expuesta a la intemperie sólo se opacará levemente, durante un período de tiempo que depende de la polución atmosférica, siendo esto consecuencia de un ligero ataque superficial, que si bien afecta la estética del aluminio, no perjudica en lo más mínimo su estructura.

### **Ambiente rural y urbano**

En áreas rurales el nivel de polución es muy bajo, lo que significa que las chapas sólo presentarán un ligero opacamiento con el tiempo y tendrán una duración indefinida.

En áreas urbanas, la polución es más alta y el proceso de opacamiento será más rápido y notable, manteniendo por otro lado una larga vida útil.

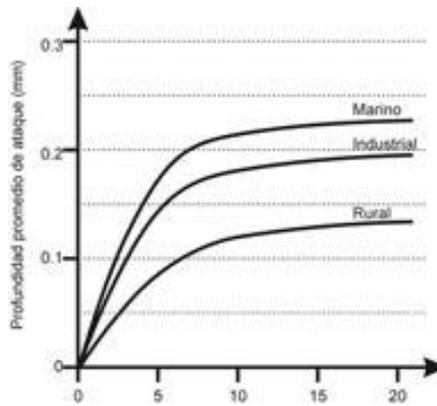
### **Ambiente industrial y marino**

En presencia de humedad, el dióxido de azufre (presente en la mayoría de las zonas de decantación atmosférica) y el cloruro de hidrógeno (ácido clorhídrico,

presente en la vecindad de plantas industriales), forman ácidos que atacan al metal en los puntos débiles de la película protectora, causando corrosión por picado.

Este proceso se realiza a velocidades más o menos importantes, según las condiciones de exposición, provocando una pérdida del brillo original de las chapas durante los dos primeros años. Luego, la velocidad de picado se reduce drásticamente y se mantiene estacionaria durante muchos años más.

En atmósfera marina, debido a la acción del viento y al oleaje, el agua de mar se traslada hasta distancias de 6 km de la costa.



**Figura 3-5 Cuadro de la profundidad promedio de ataque.**

El cloruro de sodio es menos agresivo que el ácido clorhídrico que se encuentra en las zonas industriales, con el resultado que la durabilidad del aluminio, en condiciones marinas, es mucho mayor que la de otros materiales alternativos. Por cierto, como el agua condensada de la humedad y la sal constituyen un electrolito, es particularmente importante que se observen cuidadosamente las precauciones indicadas en "compatibilidad con otros materiales" para las condiciones de atmósfera marina.

### **Aislamiento acústico**

El Acero aluminizado, así como otros sólidos, es un eficiente transmisor del sonido. En caso de necesitarse algún tipo de aislamiento acústico, puede

utilizarse cualquier tipo de material absorbente (espuma de polietileno, lana de vidrio, madera) entre la estructura y las chapas, sin que exista ningún tipo de problema de compatibilidad con estos materiales.

## **Cualidades y presentaciones**

### **Cualidades**

- Alta resistencia corrosiva.
- Especial para uso en áreas o partes con alta exposición a la intemperie.
- Alta troqueabilidad según especificaciones requeridas.

### **Presentaciones**

- Rollos (Bobinas)
- Hojas Lisas
- Cintas (Flejes)
- Láminas Corrugadas (Acanaladas)
- Sistemas Constructivos Metálicos
- Perfiles, Polines y Tubos .

## **Especificaciones técnicas**

**Tabla 3-6**

CALIDADES	CS, FS, DS, SS, EDDS
GRADO	33 (230), 37 (255), 40 (275), 50 (345), 80 (550)
FLOR	REGULAR EXTRA LISA
ESPEJOR	DE 0.010" (0.25 mm) A 0.035" (0.9mm).
ANCHO	DE 24" (610mm) A 49.21" (1250mm)
DESIGNACION DEL RECUBRIMIENTO	AZ-50 (AZ-150) AZ-55 (AZ-165) AZ-60 (AZ-180)

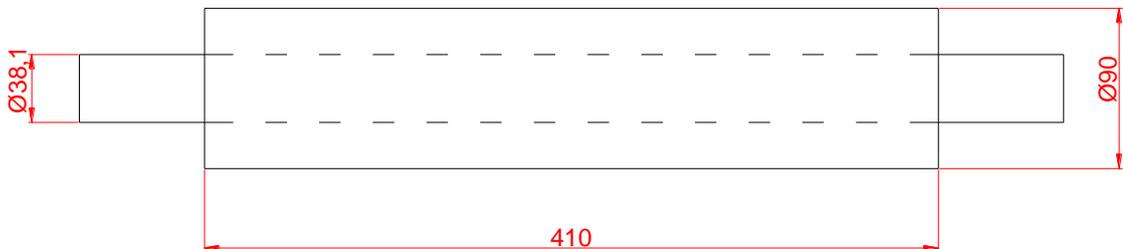
DIAM. INTERNO	20" (508mm).
DIAM. EXTERNO	72" (1828mm) MAX.
TENSIONIVELADO	DE 0.010" (0.25mm) A 0.035" (0.9mm).
ACONDICIONAMIENTO DE SUPERFICIE	DE 0.012" (0.3mm) A 0.035" (0.9mm).
PESO DEL ROLLO	DE 3.5 TM (7700 lbs.) A 18 TM (39600 lbs.)
PROTECCIÓN	TRAT. QUIMICO (PASIVADO), SECO Y/O CON ACEITE MAS RECUBRIMIENTO ACRILICO ESPECIAL
EMPAQUE	<p>ROLLO: ENLATADO METALICO, OJO HORIZONTAL U OJO AL CIELO EN TARIMAS DE MADERA.</p> <p>LAMINA LISA Y CORRUGADA: LATA DE METAL EN TARIMAS DE MADERA</p>

Fuente: Compañía Siderar

<http://Siderar.com.ar>

#### **IV.- DISEÑO DEL SILENCIADOR**

##### **4.1.- SILENCIADOR TIPO BALA PARA MOTORES GASOLINA**



**DATOS:**

T Superficie de la plancha (  $T_w$  ) = 170° C

T entrada (  $T_{\infty_1}$  ) = 140°C

T salida (  $T_{\infty_2}$  ) = 104°C

V entrada (  $V_1$  ) = 68.4 Km./h

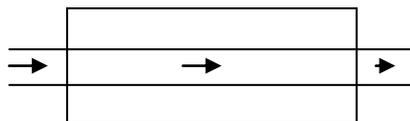
V Salida (  $V_2$  ) = 52 km /h

Presión de salida (  $P_2$  ) = 0.6 bares

Presión de entrada (  $P_1$  ) = 2.57 bares = 2.5363 atm.

$T_{\infty_1} = 140^\circ$

$V_1 = 19 \text{ m/S}$



$T_{\infty_2} = 104^\circ \text{ C}$

$V_2 = 14.44 \text{ m/s}$

**Flujo masico**

$$m = P_1 V_1 A_1 = P_2 V_2 A_2$$

**Nota :** Los principales constituyentes del gas típico de escape:

**Nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y vapor de agua tiene propiedades semejantes a los del aire a la temperatura de entrada y salida del gas de escape, por lo que se usará la tabla del aire.**

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} = \frac{19 + 14.44}{2} = 16.72 \text{ m/s}$$

**Temperatura global =  $T_b$**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{140 + 104}{2} = 122^\circ\text{C} = 395^\circ\text{K}$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{2.5363 * 1.0132 * 10^5}{287 * 413} = 2.168 \text{ kg / m}^3$$

**Propiedades del aire a una temperatura global ( 395 °k)**

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + X_1$$

$$C_p = \frac{C_{p2} - C_{p1}}{T_2 - T_1} (T_b - T_1) + C_{p1}$$

$$C_p = \frac{1.0140 - 1.00090}{400 - 350} (395 - 350) + 1.0090 = 1.013 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Volvemos a interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\begin{aligned} \mu &= (0.9) ( 2.286 - 2.075 ) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5} \\ &= 2.2649 \times 10^{-5} \text{ m S} \end{aligned}$$

$$k_f = \frac{k_{f2} + k_{f1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + k_{f1}$$

$$k_f = 0.9 (0.03365 - 0.03003) + 0.03003$$

$$= 0.03328 \text{ w/ m}^\circ\text{C}$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + Pr_1$$

$$Pr = 0.9 (0.689 - 0.697) + 0.697$$

$$= 0.6899$$

### Números de Reynolds = Re

$$Re = \frac{\bar{V} * \rho * d}{\mu} = \frac{16.72 \text{ m/s} * 2.168 \text{ Kg/m}^3 * 0.0341 \text{ m}}{2.2649 * 10^{-5} \text{ Kg/m} * \text{seg}} = 54575.8989$$

### Determinamos el tipo de flujo:

Flujo turbulento  $10000 < Re < 120.000$

### Constante = n

n = 0.3 en enfriamiento

### Número de Nusselt

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

$$= 0.023 (54575.8989)^{0.8} (0.6899)^{0.3}$$

$$= 126.7547$$

$$h_\infty = \frac{Nu * k_f}{D} = \frac{126.7547 * 0.03328}{0.341} = 123.706 \text{ w/m}^2\text{C}$$

Coeficiente de Calor por Convección =  $h_\infty$

Coeficiente de conductividad térmica = Kf

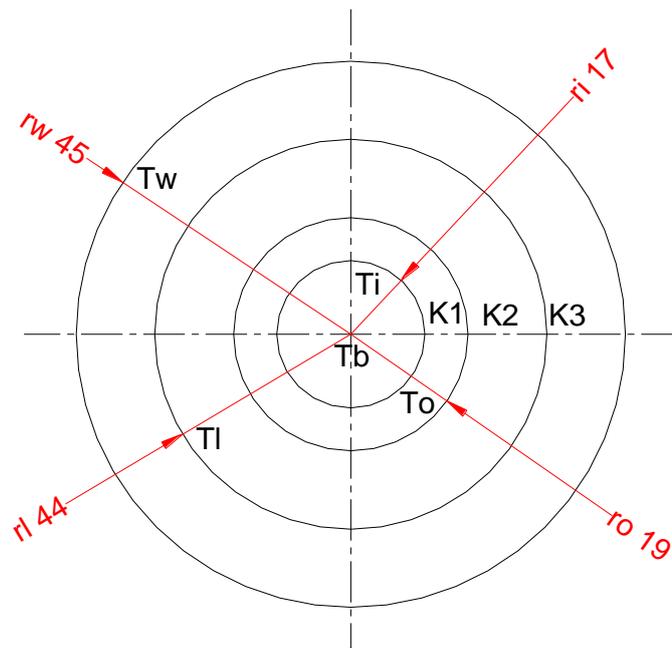
**Radio :**

$$r_i = 0.017 \text{ m}$$

$$r_o = 0.019 \text{ m}$$

$$r_l = 0.044 \text{ m}$$

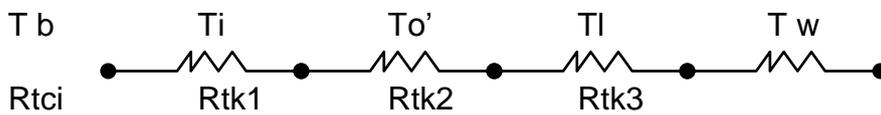
$$r_w = 0.045 \text{ m}$$



K1 = acero 0.5% C 100°C = 52 w/m°C

K2 = lana de vidrio 1.5 lb / pie 3 23°C = 0.038 w/m°C

K3 = K1



**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{T_b - T_o}{R_{tci} + R_{tk1} + R_{tk2} + R_{tk3}}$$

Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * 2\pi * r_i * l} = \frac{1}{123.706 \text{ w/m}^2\text{°C} * 2\pi * 0.017 \text{ m} * 0.41 \text{ m}} = 0.1845 \text{°C/w}$$

Resistencia térmica del acero

$$R_{tk1} = \frac{\ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right)}{2\pi * k_1 * l} = \frac{\ln \left( \frac{0.019}{0.017} \right)}{2\pi * 52 \text{ w/m}^{\circ}\text{C} * 0.41 \text{ m}} = 8.303 * 10^{-4} \text{°C/w}$$

**Resistencia térmica de la lana de vidrio**

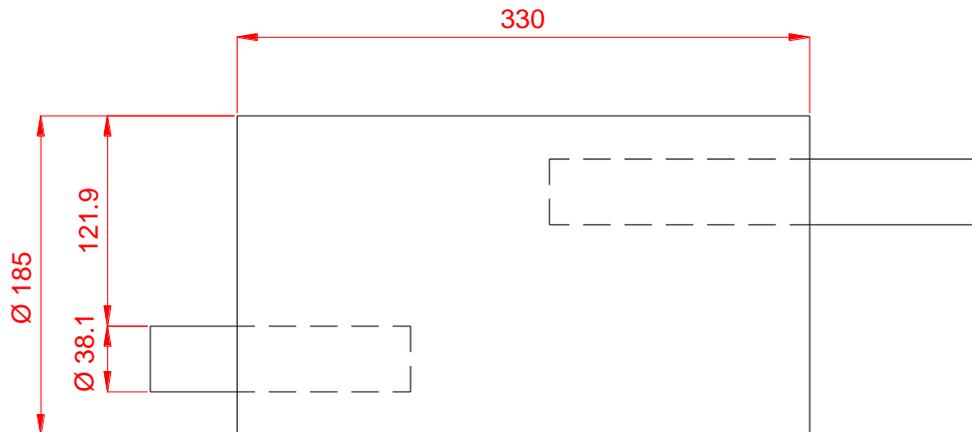
$$R_{tk2} = \frac{\ln \left( \frac{r_i}{r_l} \right)}{2\pi * k_2 * l} = \frac{\ln \left( \frac{0.044}{0.019} \right)}{2\pi * 0.038 \text{ w/m}^{\circ}\text{C} * 0.41 \text{ m}} = 8.5783 \text{°C/w}$$

**Resistencia térmica del acero**

$$R_{tk3} = \frac{\ln \left( \frac{r_w}{r_l} \right)}{2\pi * k_1 * l} = \frac{\ln \left( \frac{0.045}{0.044} \right)}{2\pi * 52 \text{ w/m}^{\circ}\text{C} * 0.41 \text{ m}} = 5.2703 * 10^{-4} \text{°C/w}$$

$$q = \frac{22 - 110 \text{°C}}{0.1845 + 8.303 * 10^{-4} + 8.5783 + 5.2703 * 10^{-4}} = 1.369 \text{ w}$$

**4.2.- SILENCIADOR TIPO VACEADO PARA MOTORES GASOLINA  
“GALVANIZADO”**



DATOS:

°T entrada (  $T_e$  ) = 140°C

°T Salida (  $T_s$  ) = 92°C

V entrada (  $V_1$  ) = 68.4 km/h

V salida (  $V_2$  ) = 41.2 km / h

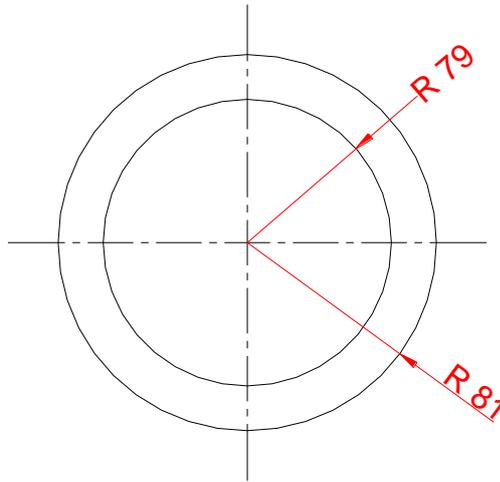
Presión de salida en bares (  $P_2$  ) = 0.42

T superficie (  $T_w$  ) = 112°C

Presión de entrada (  $P_1$  ) = 2.57 bares = 2.5363 atm.

Nota: Se usa el diámetro hidráulico DH porque el área por donde circula el fluido no es circular uniforme.

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



$p$  = Perimetro

$R$  = Radio

$$p = 2 \pi R$$

$$R = \frac{p}{2\pi} = \frac{0.5}{2\pi} = 0.079m$$

$$\begin{aligned} \text{AREA DEL CIRCULO} &= \pi R^2 \\ &= \pi (0.079)^2 \\ &= 0.0198 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

$$DH = \frac{4 * 0.0198}{0.5} = 0.159 \cong 0.16$$

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} = \frac{19 + 11.44}{2} = 15.22m/s$$

**Temperatura global =  $T_b$**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{140 + 92}{2} = 116^\circ C = 389^\circ K$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P1}{RT1} = \frac{2.5363 * 1.0132 * 10^5}{287 * 413} = 2.168 \text{ kg / m}^3$$

**Temperatura fílmica =  $T_f$**

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2} = \frac{112 + 116}{2} = 114^\circ\text{C} = 387^\circ\text{K}$$

**Propiedades del aire a una temperatura fílmica de 387°k**

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + X_1$$

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\mu = 0.74 ( 2.286 - 2.075 ) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5}$$

$$\mu = 2.231 \times 10^{-5} \text{ ms'}$$

$$k_f = \frac{k_f2 + k_f1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + k_f1$$

$$k_f = 0.74 ( 0.03365 - 0.03003 ) + 0.03003$$

$$k_f = 0.03270$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + Pr_1$$

$$Pr = 0.74 ( 0.689 - 0.697 ) + 0.697$$

$$Pr = 0.691$$

## Números de Reynolds

$$Re = \frac{\vec{V} * \delta l * DH}{\mu} = \frac{15.22m/s * 2.168kg/m^3 * 0.16m}{2.231 * 10^{-5}ms} = 236643.370$$

## Determinar el tipo de flujo

$10^4 < Re < 5 \times 10^6$  flujo turbulento

tubos lisos =  $(1.82 \log Re - 1.64)^{-2} = \text{Factor} = f$

## Número de Nusselt = Nu

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) Re * Pr}{1.071 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} Pr^{1/4} + \left(\frac{f}{8}\right) Pr^{1/4}}$$

$$f = (1.82 \log_{10} 236643.370 - 1.64)^{-2}$$

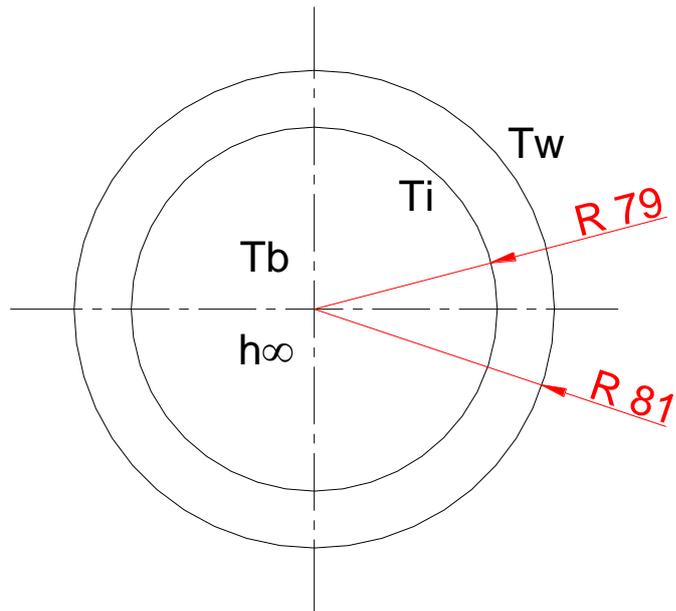
$$f = 0.01508$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{0.01508}{8}\right) 236643.370 * 0.691}{1.071 + 12.7 * 0.04342 \left(\frac{0.01508}{8}\right)^{1/2} + \left(\frac{0.01508}{8}\right) 0.691^{1/4}} = 340.115$$

$$h_{\infty} = \frac{Nu * kf}{DH} = \frac{340.115 * 0.03270}{0.16} = 69.511w/m^2 \text{ } ^{\circ}C$$

Coeficiente de calor por convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica = Kf



Longitud = L

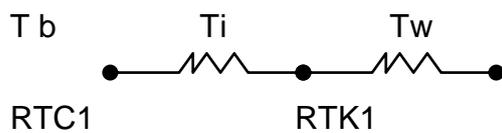
Espesor = e

$$L = 0.33\text{m}$$

$$e = 0.002\text{ m}$$

**k = galvanizado 70% cu 30% Zm a 10uc = 128 W/ m°C**

$$Ac = P \times L$$



**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{Tb - To}{Rtci + Rtkl}$$

Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * A_c} = \frac{1}{69.511 \text{ w/m}^2\text{°C} * 0.33 * 0.5} = 0.08718 \text{°C/w}$$

Resistencia térmica del galvanizado

$$R_{tk1} = \frac{e}{k * A_c} = \frac{0.002 \text{ m}}{128 \text{ w/m}^2\text{°C} * 0.33 \text{ m} * 0.5 \text{ m}} = 9.46969 * 10^{-5} \text{°C/w}$$

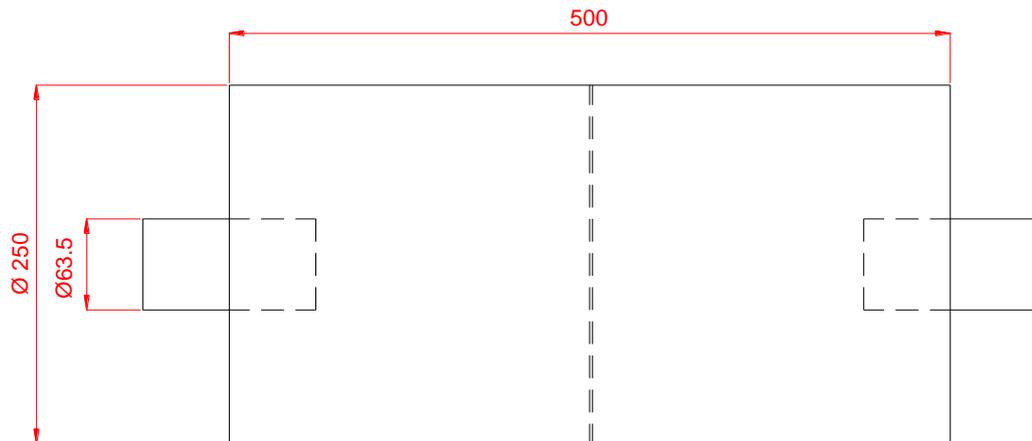
**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{T_b - T_o}{R_{tci} + R_{tk1}}$$

$$q = \frac{16 - 112 \text{°C}}{0.08718 + 9.46969 * 10^{-5}} = 45.82 \text{ w}$$

### 4.3.- SILENCIADOR TIPO VACEADO PARA MOTORES DIESEL

“LAMINADO EN FRÍO”



#### DATOS:

°T entrada ( T1 ) = 105°C

°T salida ( T2 ) = 88.3°C

V entrada ( V1 ) = 57.2 km/h = 15.88 m/ S

V salida ( V2 ) = 36.1 Km / h = 10.02 m/ S

Presión de salida ( P2 ) = 0.2 bares

Presión de entrada ( P1 ) = 3.5 bares = 3.4542 atm.

T Superficie ( Tw ) = 91°C

**Velocidad media =  $\vec{V}$**

$$\vec{V} = \frac{\vec{V}_1 + \vec{V}_2}{2} = \frac{15.88 + 10.02}{2} = 12.95 \text{ m/s}$$

**Temperatura global = Tb**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{105 + 88.3}{2} = 96.65^\circ\text{C} = 369.65^\circ\text{K}$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P1}{RT1} = \frac{3.4542 * 1.0132 * 10^5}{287 * 378} = 3.226 \text{ kg / m}^3 .$$

**Propiedades del aire a una temperatura global de 369.65 k**

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

kf = Coeficiente de conductividad Térmica

Pr = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X2 - X1}{T2 - T1}(T - T1) + X1$$

$$\mu = \frac{\mu2 + \mu1}{T2 - T1} (T - T1) + \mu1$$

$$\begin{aligned} \mu &= (0.39) (2.286 - 2.075) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5} \\ &= 2.157 \times 10^{-5} \text{ ms} \end{aligned}$$

$$Kf = \frac{Kf2 + Kf1}{T2 - T1} (T - T1) + Kf1$$

$$\begin{aligned} kf &= (0.39) (0.03365 - 0.03003) + 0.03003 \\ &= 0.03144 \text{ W / m}^\circ\text{c} \end{aligned}$$

$$Pr = \frac{Pr2 + Pr1}{T2 - T1} (T - T1) + Pr1$$

$$\begin{aligned} Pr &= (0.39) (0.689 - 0.697) + 0.697 \\ &= 0.693 \end{aligned}$$

## Números de Reynolds

$$Re = \frac{\vec{V} * \delta 1 * DH}{\mu} = \frac{12.95m/s * 3.226kg/m^3 * 0.0595m}{2.157 * 10^{-5}ms} = 115239.390$$

## Determinar el tipo de flujo

flujo turbulento  $10000 < Re < 120.000$

$n = 0.3$  en enfriamiento

## Número de Nusselt = Nu

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n.$$

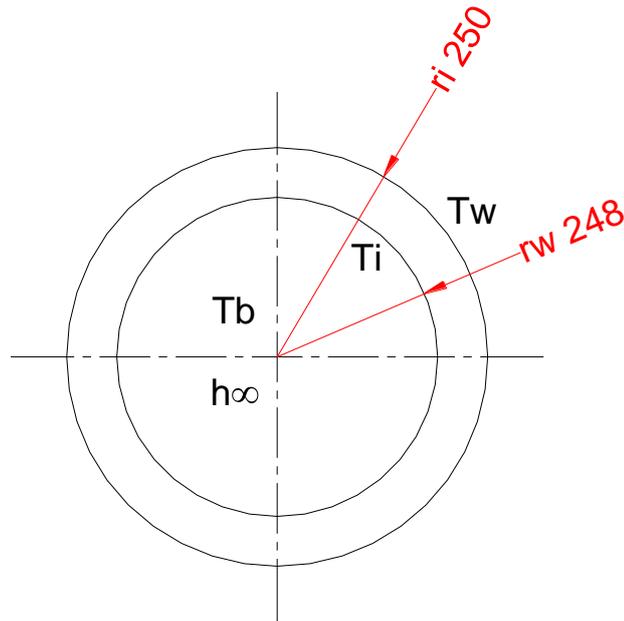
$$= 0.023 (115239.390)^{0.8} (0.693)^{0.3}$$

$$= 230.796$$

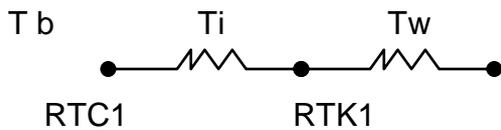
$$h_{\infty} = \frac{Nu * kf}{D} = \frac{230.796 * 0.03144}{0.0595m} = 121.953w/m^2 \cdot C$$

Coeficiente de calor por convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica =  $Kf$



**K = acero laminado en frío Cr 15% Ni 10% a 100°C = 17 W / m°C**



Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * 2\pi * r_i * l} = \frac{1}{121.953 \text{ w/m}^2\text{°C} * 2\pi * 0.5} = 0.02088 \text{°C/w}$$

Resistencia térmica del laminado en frío

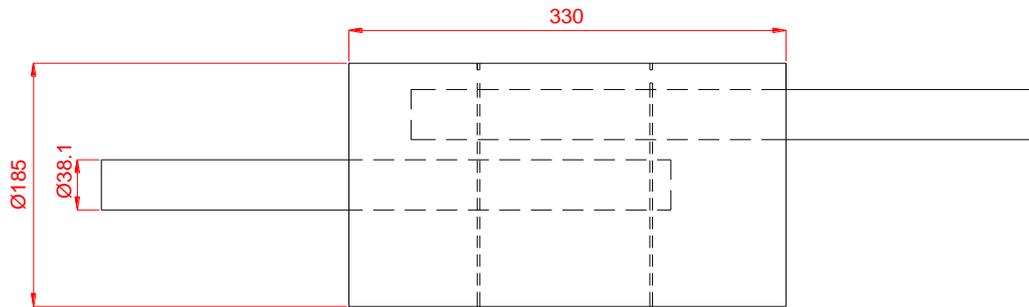
$$R_{tk1} = \frac{\ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right)}{2\pi * k * l} = \frac{\ln \left( \frac{0.125}{0.121} \right)}{2\pi * 75 \text{ w/m}^2\text{°C} * 0.5 \text{ m}} = 1.38 * 10^{-4} \text{°C/w}$$

**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{T_b - T_o}{R_{tci} + R_{tk1}}$$

$$q = \frac{\rho \cdot 6.65 - 91 \text{ } ^\circ\text{C}}{0.02088 + 1.38 \cdot 10^{-4}} = 268.806 \text{ w}$$

#### 4.4.- SILENCIADOR DE TRES CÁMARAS PARA MOTORES GASOLINA “ALUMINIO”



#### DATOS:

T superficie (  $T_w$  ) = 112.5 °C

T° entrada (  $T_{\infty 1}$  ) = 140°C

T° salida (  $T_{\infty 2}$  ) = 86.4 °C

V entrada (  $V_1$  ) = 68.4 Km / h

V salida (  $V_2$  ) = 30.2 km / h

P salida (  $P_2$  ) = 0.68 bares

P entrada (  $P_1$  ) = 2.57 bares = 2.5363 atm.

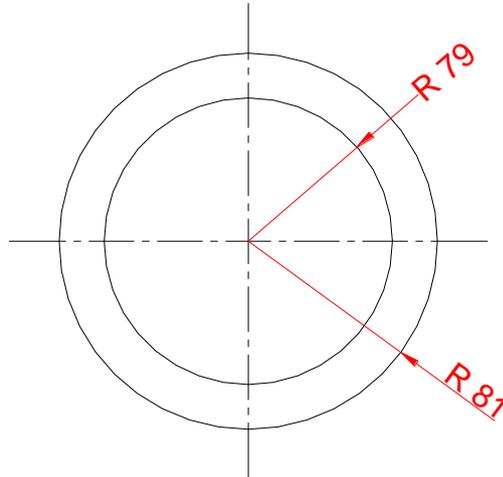
$V_2 = 8.38 \text{ m/S}$

$V_1 = 68.4 \text{ km/ h}$

$V_1 = 19 \text{ m/S}$

**Nota:** Se usa el diámetro hidráulico  $DH$  porque el área por donde circula el fluido no es circular uniforme.

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



$p$  = Perimetro

$R$  = Radio

$$p = 2 \pi R$$

$$R = \frac{p}{2\pi} = \frac{0.5}{2\pi} = 0.079m$$

$$\begin{aligned} \text{AREA DEL CIRCULO} &= \pi R^2 \\ &= \pi (0.079)^2 \\ &= 0.0198 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

$$DH = \frac{4 * 0.0198}{0.5} = 0.159 \cong 0.16$$

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} = \frac{19 + 8.38}{2} = 13.69 \text{ m/s}$$

**Temperatura global =  $T_b$**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{140 + 86.4}{2} = 113.2^\circ\text{C} = 386.2^\circ\text{K}$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{2.5363 * 1.0132 * 10^5}{287 * 413} = 2.168 \text{ kg/m}^3$$

**Temperatura fílmica =  $T_f$**

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2} = \frac{112.5 + 113.2}{2} = 112.85^\circ\text{C} = 385.85^\circ\text{K}$$

**Propiedades del aire a una temperatura fílmica de 385.85° k**

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1}(T - T_1) + X_1$$

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\begin{aligned} \mu &= (0.71) (2.286 - 2.075) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5} \\ &= 2.224 \times 10^{-5} \text{ Ms} \end{aligned}$$

$$K_f = \frac{K_{f2} + K_{f1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + K_{f1}$$

$$\begin{aligned} K_f &= 0.71 (0.03365 - 0.03003) + 0.03003 \\ &= 0.03260 \quad \text{W / m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + Pr_1$$

$$\begin{aligned} Pr &= 0.71 (0.689 - 0.697) + 0.697 \\ &= 0.691 \end{aligned}$$

### Números de Reynolds

$$Re = \frac{\bar{V} * \delta l * DH}{\mu} = \frac{13.69 \text{ m/s} * 2.168 \text{ kg/m}^3 * 0.16 \text{ m}}{2.22 * 10^{-5} \text{ ms}} = 213446.865$$

### Determinar el tipo de flujo

$10^4 < Re < 5 \times 10^6$  flujo turbulento

tubos lisos  $f = (1.82 \log_{10} Re - 1.64)^{-2}$

### Número de Nusselt = Nu

$$Nu = \frac{(f/8)^{1/4} Re * Pr}{1.071 + 12.7 (f/8)^{1/4} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$f = ( 1.82 \log 213446.865 - 1.64 )^{-2}$$

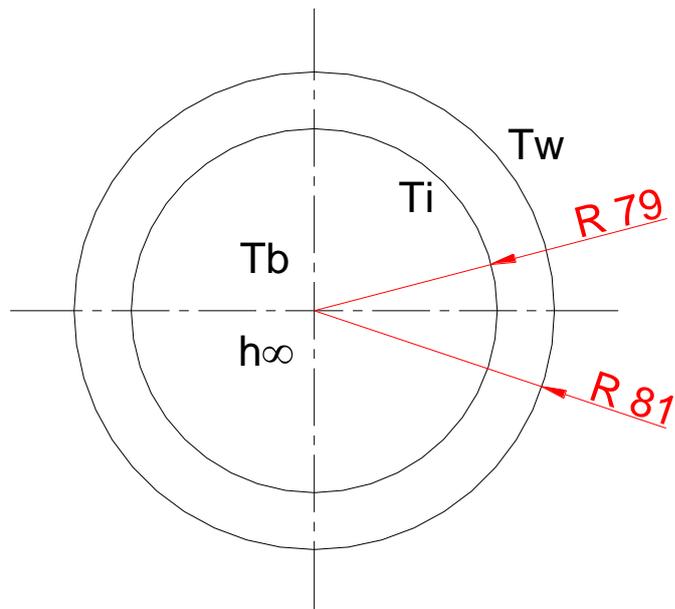
$$= 0.01539$$

$$Nu = \frac{(0.01539 / 8)^{1/4} 213446.865^{1/4} \cdot 0.691}{1.071 + 12.7 \cdot (0.01539 / 8)^{1/4} (0.691)^{2/3} - 1} = 299.313$$

$$h_{\infty} = \frac{Nu \cdot kf}{DH} = \frac{299.313 \cdot 0.03260}{0.16 / m^2 \cdot ^{\circ}C} = 61.0 w / m^2 \cdot ^{\circ}C$$

Coeficiente de calor por convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica =  $k_f$



Longitud =  $L$

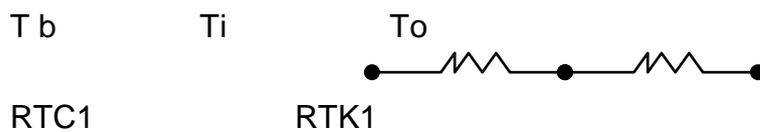
Espesor =  $e$

$L = 0.33m$

$e = 0.002 m$

**k = aluminio Al, Si Mg a 100°C = 189 W/ m°C**

$$Ac = P \times L$$



Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{oci} * Ac} = \frac{1}{61.00w/m^2°C * 0.33 * 0.5} = 0.09935°C/w$$

Resistencia térmica del Aluminio

$$R_{tk1} = \frac{e}{k * A} = \frac{0.002m}{189w/m°C * 0.33m * 0.5m} = 6.4133 * 10^{-5}°C/w$$

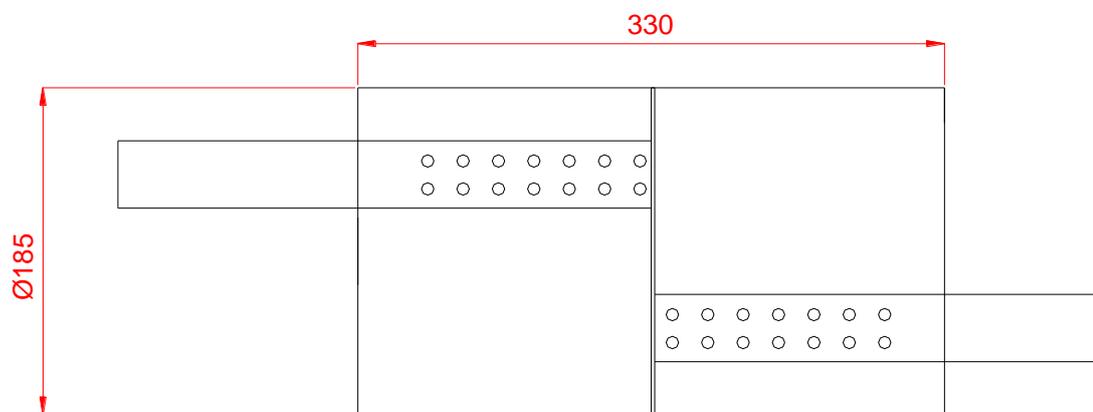
**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{Tb - To}{R_{tci} + R_{tk1}}$$

$$q = \frac{13.2 - 112.5°C}{0.09935 + 6.4133 * 10^{-5}} = 7.04w$$

#### 4.5.- SILENCIADOR DE DOS CÁMARAS PARA MOTORES GASOLINA

“LAMINADO EN FRÍO”



#### DATOS:

°T entrada (  $T_{\infty 1}$  ) = 140°C

°T Salida (  $T_{\infty 2}$  ) = 84°C

V entrada (  $V_1$  ) = 68.4 km/h

V salida (  $V_2$  ) = 31.7 km / h

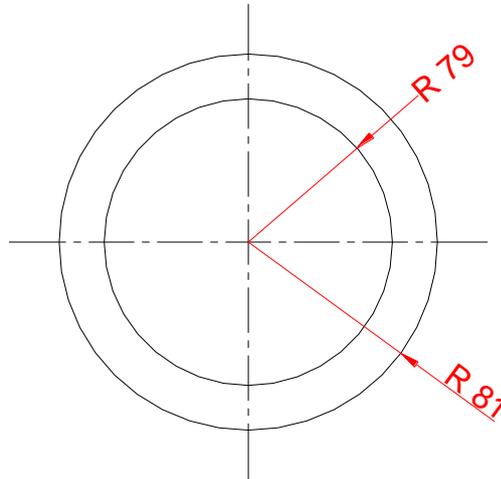
P salida (  $P_1$  ) = 0.32 bares

P entrada (  $P_2$  ) = 2.57 bares = 2.5363 atm

T superficie (  $T_w$  ) = 107°C = 380 K

**Nota:** Se usa el diámetro hidráulico  $D_H$  porque el área por donde circula el fluido no es circular uniforme.

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



$p$  = Perimetro

$R$  = Radio

$$p = 2 \pi R$$

$$R = \frac{p}{2\pi} = \frac{0.5}{2\pi} = 0.079m$$

$$\begin{aligned} \text{AREA DEL CIRCULO} &= \pi R^2 \\ &= \pi (0.079)^2 \\ &= 0.0198 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$DH = \frac{4 * 0.0198}{0.5} = 0.159 \cong 0.16$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P1}{RT1} = \frac{2.5363 * 1.0132 \times 10^5}{287 * 413} = 2.168 \text{ kg / m}^3$$

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} = \frac{19 + 8.80}{2} = 13.90 \text{ m/s}$$

**Temperatura global =  $T_b$**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{140 + 84}{2} = 112^\circ\text{C} = 385^\circ\text{K}$$

**Temperatura filmica =  $T_f$**

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2} = \frac{107 + 112}{2} = 109.5^\circ\text{C} = 382.5^\circ\text{K}$$

**Propiedades del aire a una temperatura filmica de 382.5 k**

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + X_1$$

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\begin{aligned} \mu &= (0.65) (2.286 - 2.075) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5} \\ &= 2.212 \times 10^{-5} \text{ ms} \end{aligned}$$

$$k_f = \frac{k_{f2} + k_{f1}}{T_2 - T_1} (T_2 - T_1) + k_{f1}$$

$$k_f = 0.65 (0.03365 - 0.03003) + 0.03003$$

$$= 0.03238 \text{ W / Mc}$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T_2 - T_1) + Pr_1$$

$$Pr = 0.65 (0.689 - 0.697) + 0.697$$

$$= 0.692$$

### Números de Reynolds

$$Re = \frac{\bar{V} * \delta_1 * DH}{\mu} = \frac{13.90 \text{ m/s} * 2.168 \text{ kg/m}^3 * 0.16 \text{ m}}{2.212 * 10^{-5} \text{ ms}} = 217976.130$$

### Determinar el tipo de flujo

$104 < Re < 5 \times 10^6$  flujo turbulento

tubos lisos  $f = (1.82 \log 10 Re - 1, 64)^{-2}$ .

### Número de Nusselt = Nu

$$Nu = \frac{(f/8)^{1/2} Re Pr}{1.071 + 12.7 (f/8)^{1/2} Pr^{2/3} - 1}$$

$$f = (1.82 \log 217976.130 - 1.64)^{-2}$$

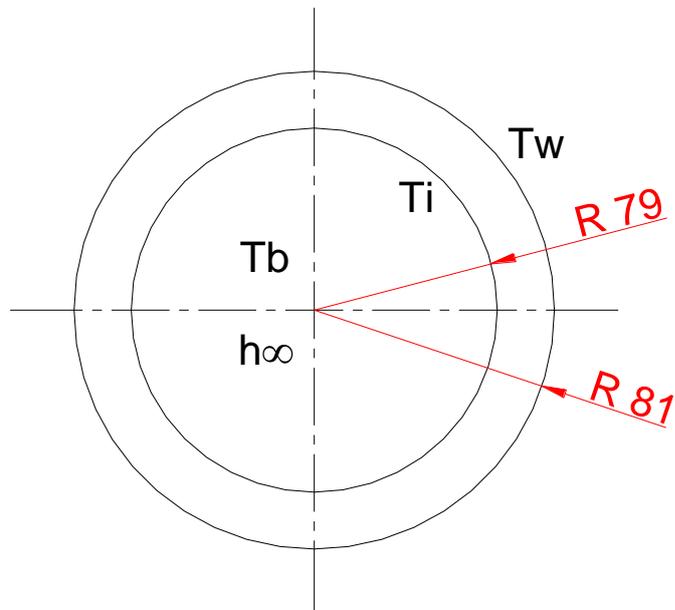
$$= 0.01533$$

$$Nu = \frac{(0.01533/8)^{1/2} * 217976.13 * 0.692}{1.074127 * (0.01533/8)^{1/2} * 0.692^{2/3} - 1} = 304.635$$

$$h_{\infty} = \frac{Nu * k_f}{DH} = \frac{304.635 * 0.03238}{0.16} = 61.650 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Coeficiente de calor por convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica =  $k_f$



Longitud =  $L$

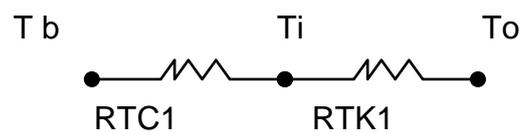
Espesor =  $e$

$L = 0.33\text{m}$

$e = 0.002\text{ m}$

$k = \text{acero laminado en frío como 15\% níquel 10\% a } 100^\circ\text{c} = 17\text{ w/ m}^\circ\text{C}$

$A_c = P \times L$



Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * A_c} = \frac{1}{61.650 \text{ w/m}^2\text{C} * 0.33 * 0.5} = 0.09830 \text{ C/w}$$

Resistencia térmica del laminado en frío

$$R_{tkl} = \frac{e}{k * A} = \frac{0.002 \text{ m}}{17 \text{ w/m}^2\text{C} * 0.33 \text{ m} * 0.5 \text{ m}} = 7.13 * 10^{-4} \text{ C/w}$$

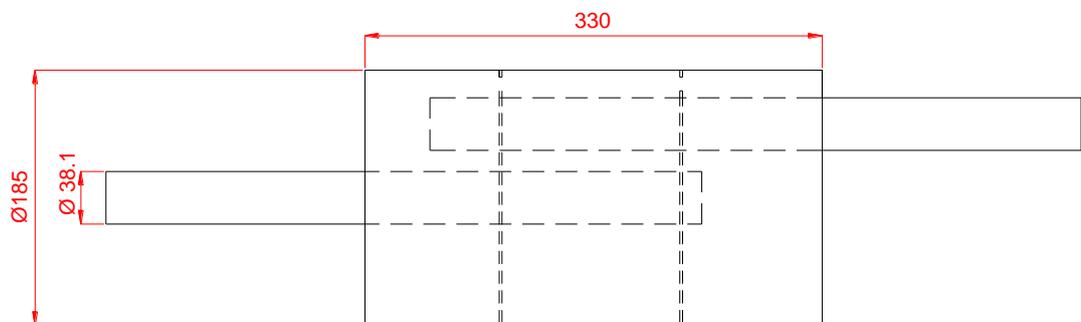
**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{T_b - T_o}{R_{tci} + R_{tkl}}$$

$$q = \frac{12 - 107 \text{ }^{\circ}\text{C}}{0.09830 + 7.13 * 10^{-4}} = 50.49 \text{ w}$$

#### 4.6.- SILENCIADOR DE TRES CÁMARAS PARA MOTORES GASOLINA

**“LAMINADO EN FRÍO”**



#### **Datos:**

T superficie (  $T_w$  ) = 117

T° entrada (  $T_{\infty 1}$  ) = 140°C

T° Salida (  $T_{\infty 2}$  ) = 104°C

V entrada (  $V_1$  ) = 68.4 km/h

V salida (  $V_2$  ) = 31.2 km / h

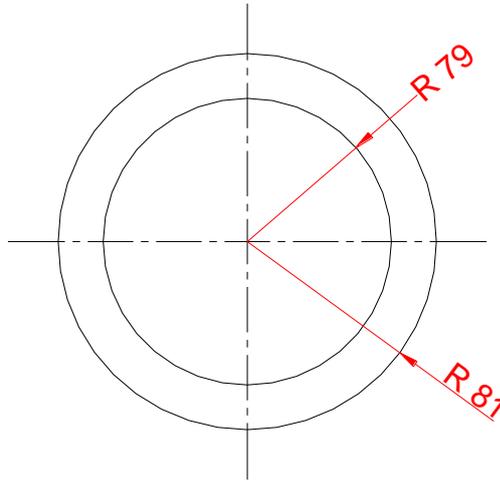
P salida (  $P_1$  ) = 0.66 bar

P entrada (  $P_2$  ) = 2.57 atm

**Nota:** Se usa el diámetro hidráulico DH porque el área por donde circula el fluido no es circular uniforme.

## Diámetro Hidráulico

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



$p$  = Perímetro

$R$  = Radio

$$p = 2 \pi R$$

$$R = \frac{p}{2\pi} = \frac{0.5}{2\pi} = 0.079m$$

$$\begin{aligned} \text{AREA DEL CIRCULO} &= \pi R^2 \\ &= \pi (0.079)^2 \\ &= 0.0198 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$DH = \frac{4 * 0.0198}{0.5} = 0.159 \cong 0.16$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P1}{RT1} = \frac{2.5363 * 1.0132 * 10^5}{287 * 413} = 2.168 \text{ kg / m}^3$$

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}1 + \bar{V}2}{2} = \frac{19 + 8.66}{2} = 13.83 \text{ m/s}$$

**Temperatura global =  $T_b$**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{140 + 104}{2} = 122^\circ\text{C} = 395^\circ\text{K}$$

**Temperatura fílmica =  $T_f$**

$$T_f = \frac{T_w + T_b}{2} = \frac{117 + 122}{2} = 119.5^\circ\text{C} = 392.5^\circ\text{K}$$

**Propiedades del aire a una temperatura fílmica de 392.5 k**

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + X_1$$

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\begin{aligned} \mu &= 0.85 ( 2.286 - 2.075 ) \times 10^{-5} . \\ &= 2.254 \times 10^{-5} \text{ ms.} \end{aligned}$$

$$K_f = \frac{K_{f2} + K_{f1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + K_{f1}$$

$$k_f = 0.85 (0.03365 - 0.03003) + 0.03003$$

$$= 0.03310 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + Pr_1$$

$$Pr = 0.85 (0.689 - 0.697) + 0.697$$

$$= 0.690$$

### Números de Reynolds

$$Re = \frac{\bar{V} * \rho * DH}{\mu} = \frac{13.83 \text{ m/s} * 2.168 \text{ kg/m}^3 * 0.16 \text{ m}}{2.254 * 10^{-5} \text{ ms}} = 212837.196$$

### Determinar el tipo de flujo

$$10^4 < Re < 5 \times 10^6 \text{ flujo turbulento}$$

$$\text{tubos lisos } f = (1.82 \log_{10} Re - 1.64)^{-2}$$

### Número de Nusselt = Nu

$$Nu = \frac{(f/8) Re Pr}{1.071 + 12.7 (f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$f = (1.82 \log 212837.196 - 1.64)^{-2}$$

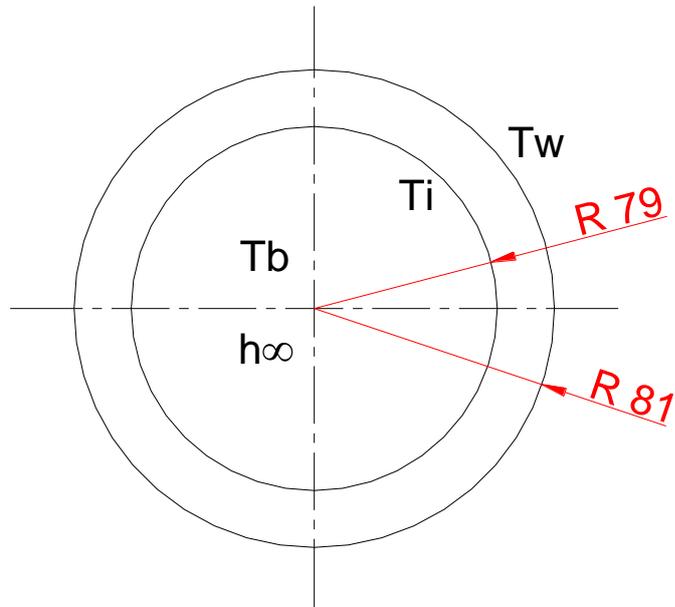
$$= 0.01540$$

$$Nu = \frac{(0.01540/8) * 212837.196 * 0.690}{1.07 + 12.7 * (0.01540/8)^{1/2} * (0.69)^{2/3} - 1} = 298.336$$

$$h_{\infty} = \frac{Nu * k_f}{DH} = \frac{298.336 * 0.03310}{0.16} = 61.71 \text{ w/m}^2\text{C}$$

Coeficiente de calor por convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica =  $K_f$



Longitud =  $L$

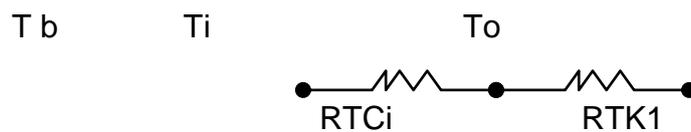
Espesor =  $e$

$L = 0.33$

$e = 0.002 \text{ m}$

$A_c = P \times L$

$k = \text{acero laminado en frio con } 15\% \text{ níquel } 10\% \text{ a } 100^{\circ}\text{C} = 17 \text{ w/ m}^{\circ}\text{C}$



Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * A_c} = \frac{1}{61.71 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} * 0.33 * 0.5} = 0.09819^\circ\text{C/w}$$

Resistencia térmica del laminado en frío

$$R_{tkl} = \frac{e}{k * A} = \frac{0.002 \text{ m}}{17 \text{ w/m}^\circ\text{C} * 0.33 \text{ m} * 0.5 \text{ m}} = 7.13 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/w}$$

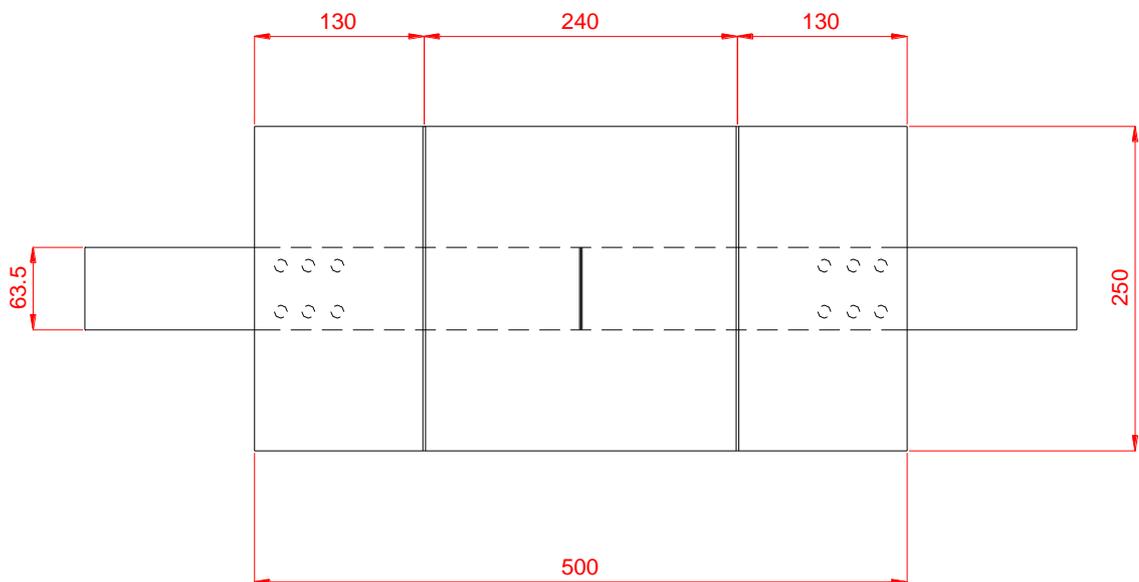
**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R_T}$$

$$q = \frac{(22 - 117)^\circ\text{C}}{0.09819 + 7.13 * 10^{-4}} = 50.55 \text{ w}$$

#### 4.7.- SILENCIADOR DE TRES CÁMARAS PARA MOTORES DIESEL

“LAMINADO EN FRÍO”



DATOS:

**T entrada (  $T_{\infty 1}$  ) = 105°C**

**T salida (  $T_{\infty 2}$  ) = 78.2°C**

**V entrada (  $V_1$  ) = 57.2 km / h = 15.88 m/S**

**V salida (  $V_2$  ) = 28.3 km / h = 7.86 m / S**

**P salida (  $P_2$  ) = 0.2 bar**

**P entrada (  $P_1$  ) = 3.5 bares = 3.454 2 atm**

**T superficie (  $T_w$  ) = 86°C**

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} = \frac{15.88 + 7.86}{2} = 11.87 \text{ m/s}$$

**Temperatura global = Tb**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{105 + 78.2}{2} = 91.6^\circ\text{C} = 364.6^\circ\text{K}$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{3.4542 * 1.0132 * 10^5}{287 * 378} = 3.226 \text{ kg / m}^3$$

Propiedades del aire a una temperatura global de 364.6 K

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + X_1$$

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\mu = 0.29 (2.286 - 2.075) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5}$$

$$k_f = \frac{k_{f2} + k_{f1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + k_{f1} = 2.136 \times 10^{-5} \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} k_f &= 0.29 (0.03365 - 0.03003) + 0.03003 \\ &= 0.03107 \end{aligned}$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + Pr_1$$

$$Pr = 0.29 ( 0.689 - 0.697 ) + 0.697$$

$$= 0.694$$

### Números de Reynolds

$$Re = \frac{\bar{V} * \rho * DH}{\mu} = \frac{11.87m/s * 3.226kg/m^3 * 0.0595m}{2.136 * 10^{-5}ms} = 106667.176$$

### Determinar el tipo de flujo

**flujo turbulento 10000 < Re < 120000**

**n = 0.3 en enfriamiento**

### Número de Nusselt = Nu

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$$

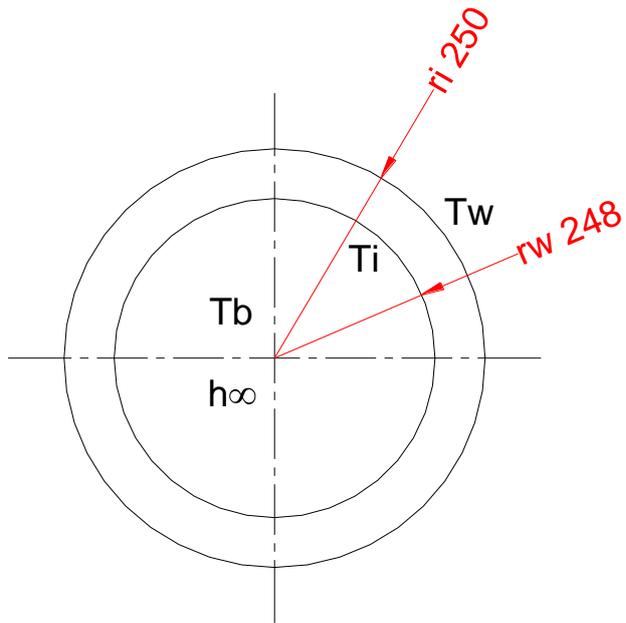
$$= 0.023 ( 106667.179 )^{0.8} (0.694)^{0.3}$$

$$= 217.050$$

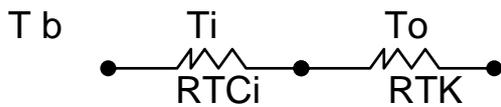
$$h_{\infty} = \frac{Nu * k_f}{DH} = \frac{217.050 * 0.03107}{0.0595} = 113.340w/m^2^{\circ}C$$

Coeficiente de Calor por Convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica =  $k_f$



**K = acero laminado en frío con cromo 15% níquel 10% a 100°C = 17 w/ m°C**



Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * 2\pi * r_i * l} = \frac{1}{113.40 \text{ w/m}^2\text{°C} * 2\pi * 0.121 * 0.5} = 0.02321 \text{°C/w}$$

Resistencia térmica del laminado en frío

$$R_{tkl} = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi * K_l * l} = \frac{\ln(0.125 / 0.121)}{2\pi * 75 * 0.5} = 1.38 * 10^{-4} \text{°C/w}$$

**Transferencia de calor = q**

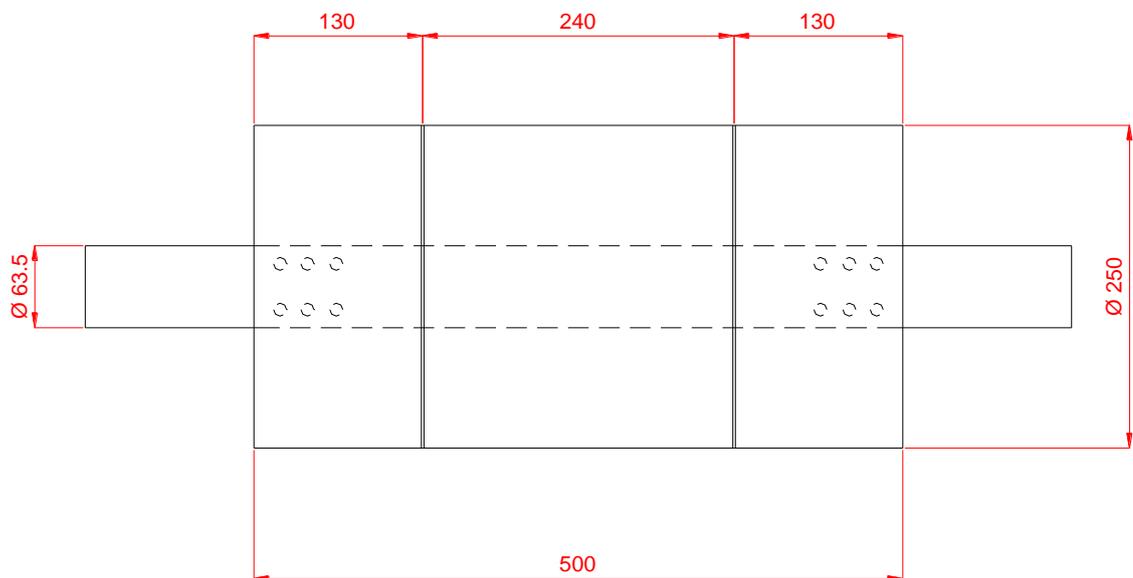
$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R_T}$$

$$q = \frac{T_b - T_o}{R_{tci} + R_{tk1}}$$

$$q = \frac{(91.6 - 86)^\circ\text{C}}{0.02321 + 1.38 * 10^{-4}} = 239.848\text{w}$$

#### 4.8.- SILENCIADOR TIPO SEMI VOCEADO PARA MOTORES DIESEL

“GALVANIZADO CILÍNDRICO”



DATOS:

**T entrada (  $T_{\infty 1}$  ) = 105°C**

$$\begin{aligned}
T \text{ salida } ( T_{\infty 2} ) &= 81.2^{\circ}\text{C} \\
V \text{ entrada } ( V_1 ) &= 57.2 \text{ km / h} \\
V \text{ salida } ( V_2 ) &= 57.2 \text{ km / h} \\
P \text{ salida } ( P_2 ) &= 0.36 \text{ bar} \\
P \text{ entrada } ( P_1 ) &= 3.5 \text{ bar} = 3.4572 \text{ atm} \\
T \text{ superficie } ( T_w ) &= 89^{\circ}\text{C}
\end{aligned}$$

**Velocidad media =  $\bar{V}$**

$$\bar{V} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2} = \frac{15.88 + 10.88}{2} = 13.38 \text{ m/s}$$

**Temperatura global =  $T_b$**

$$T_b = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} = \frac{105 + 81.2}{2} = 93.1^{\circ}\text{C} = 366.1^{\circ}\text{K}$$

**Densidad =  $\delta$**

$$\delta = \frac{P_1}{RT_1} = \frac{3.4542 * 1.0132 * 10^5}{287 * 378} = 3.226 \text{ kg / m}^3$$

Propiedades del aire a una temperatura global de 366.1 k

Debemos interpolar para encontrar el valor de:

$\mu$  = Viscosidad Dinámica

$k_f$  = Coeficiente de conductividad Térmica

$Pr$  = número de Prandtl

Fórmula de interpolación :

$$X = \frac{X_2 - X_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + X_1$$

$$\mu = \frac{\mu_2 + \mu_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + \mu_1$$

$$\begin{aligned}\mu &= 0.32 (2.286 - 2.075) \times 10^{-5} + 2.075 \times 10^{-5} \\ &= 2.142 \times 10^{-5} \text{ ms}\end{aligned}$$

$$K_f = \frac{K_{f2} + K_{f1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + K_{f1}$$

$$\begin{aligned}k_f &= 0.32 (0.03365 - 0.03003) + 0.03003 \\ &= 0.03118\end{aligned}$$

$$Pr = \frac{Pr_2 + Pr_1}{T_2 - T_1} (T - T_1) + Pr_1$$

$$\begin{aligned}Pr &= 0.32 (0.689 - 0.697) + 0.697 \\ &= 0.694\end{aligned}$$

### Números de Reynolds

$$Re = \frac{\vec{V} * \delta_1 * DH}{\mu} = \frac{13.38 \text{ m/s} * 3.226 \text{ kg/m}^3 * 0.0595 \text{ m}}{2.142 * 10^{-5} \text{ ms}} = 119899.666$$

Para este número de Reynolds aplicamos la siguiente ley

**flujo turbulento  $10000 < Re < 120000$**

**$n = 0.3$  en enfriamiento**

Número de Nusselt

$$\begin{aligned}Nu &= 0.023 Re^{0.8} Pr^n \\ &= 0.023 (119899.666)^{0.8} (0.694)^{0.3} \\ &= 238.336\end{aligned}$$

$$h_{\infty} = \frac{Nu * k_f}{DH} = \frac{238.336 * 0.03118}{0.0595} = 124.896 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

Coeficiente de Calor por Convección =  $h_{\infty}$

Coeficiente de conductividad térmica =  $K_f$

Calculo del fluido  $h_{\infty}$  del fluido en la cámara anular.

Velocidad del fluido =  $\bar{V}_g$

$$\bar{V}_g = 100 \text{ km/h} = 27.77 \text{ m/s}$$

Presión media =  $\bar{P}$

$$\bar{P} = \frac{P_{\text{entrada}} + P_{\text{salida}}}{2} = \frac{3.5 + 0.36}{2} = 1.93 \text{ bares} = 1.9556 \text{ atm.}$$

Densidad del gas =  $\delta_g$

$$\delta_g = \frac{\bar{P}}{R * T_b} = \frac{1.956 * (1.0132 * 10^5)}{287 * 366.1} = 1.885 \text{ Kg/m}^3$$

**Números de Reynolds**

$$Re = \frac{\bar{V} * \delta_l * DH}{\mu} = \frac{13.38 \text{ m/s} * 3.226 \text{ kg/m}^3 * 0.0595 \text{ m}}{2.142 * 10^{-5} \text{ ms}} = 119899.666$$

Diámetro Hidráulico =  $DH$

Nota = **Son las mismas dimensiones que el ejercicio 7**

$$DH = \frac{4 \left[ (\pi * \frac{0.25^2}{4}) - (\pi * \frac{0.0635^2}{4}) \right]}{\pi * 0.25} = 0.2938$$

$$Re = \frac{\vec{V} * \delta g * DH}{\mu} = \frac{27.77m/s * 1.885kg/m^3 * 0.2338m}{2.136 * 10^{-5}ms} = 572968.165$$

### Flujo turbulento

Número de Nusselt = Nu

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^m .$$

$$= 0.023 ( 572968 . 165 )^{0.8} (0.694)^{0.3}$$

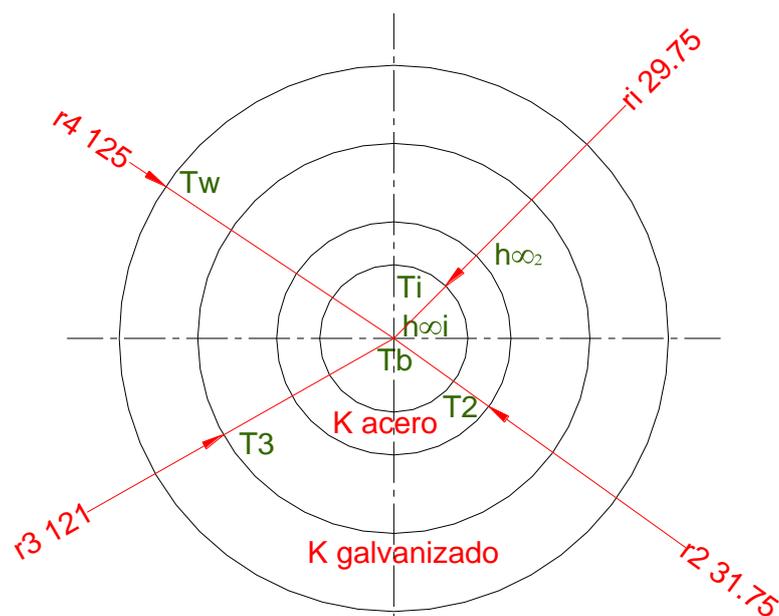
$$= 0.023 ( 572968.165)^{0.8} ( 0.694)^{0.3}$$

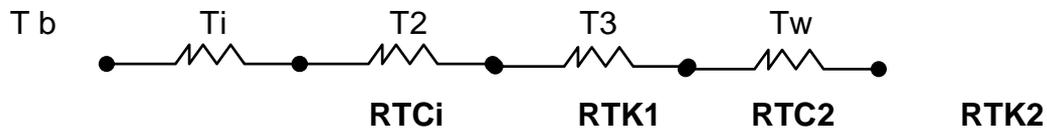
$$= 833.00$$

$$h_{\infty_2} = \frac{Nu * K}{DH} = \frac{0.03118 * 833}{0.2338} = 111.090w/m^2 \text{ } ^\circ C$$

**k 2 galvanizado con latón 70% Cu 30% Zn = 128 W/ m<sup>2</sup>c**

**K1 acero 0.5% c 100<sup>o</sup>C = 52W/ m<sup>2</sup>c**





Resistencia térmica por convección

$$R_{tci} = \frac{1}{h_{\infty i} * 2\pi * r_i * l} = \frac{1}{124.896 \text{ w/m}^2\text{°C} * 2\pi * 0.03175 * 0.5} = 0.08027\text{°C/w}$$

Resistencia térmica del acero

$$R_{tk1} = \frac{\ln(2/r_1)}{2\pi * K_1 * l} = \frac{\ln(0.03175/0.02975)}{2\pi * 52 * 0.5} = 3.98 * 10^{-4}\text{°C/w}$$

Resistencia térmica por convección

$$R_{tc2} = \frac{1}{h_{\infty 2} * 2\pi * r_3 * l} = \frac{1}{111.090 \text{ w/m}^2\text{°C} * 2\pi * 0.121 * 0.5} = 0.02336\text{°C/w}$$

Resistencia térmica del galvanizado

$$R_{tk2} = \frac{\ln(4/r_3)}{2\pi * K * l} = \frac{\ln(0.125/0.121)}{2\pi * 128 * 0.5} = 8.08 * 10^{-5}\text{°C/w}$$

**Transferencia de calor = q**

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R_T}$$

$$q = \frac{Tb - To}{R_{tci} + R_{tk1}}$$

$$q = \frac{(93.1 - 89)^{\circ}C}{0.08027 + 3.98 * 10^{-4} + 0.02336 + 8.08 * 10^{-5}} = 39.26w$$

## V.- PROCESO DE ELABORACIÓN

**Para proceder a la elaboración de los silenciadores debemos seguir los siguientes pasos:**

### 5.1.- Proceso de Señalización

En este proceso es muy importante poseer un plano con todas las medidas de las diferentes piezas a construir:

- a) Para realizar el trazado debemos escoger una tiza que se pueda visualizar sobre las diferentes láminas y que no se borre con facilidad.
- b) Los instrumentos de medición que utilizaremos serán un flexometro, un compás, un calibrador (Figura 5-1).
- c) Debemos construir unos moldes para las tapas del silenciador, que pueden ser de cartón los cuales nos ayudaran a realizar un trazado con mayor rapidez.

- d) El número de tapas de cada silenciador y el tamaño de la estructura exterior, dependerá del número de cámaras que posea el modelo del silenciador.
- e) Para proceder a la señalización de la estructura exterior del silenciador se debe tomar muy en cuenta que forma tendrá el silenciador cilíndrica o ovalada.



**Figura 5-1 Señalización de tubo interior.**

## **5.2.- Proceso de Corte**

Este proceso se debe realizar con mucho cuidado, en caso de no tenerlos podríamos lesionarnos gravemente.

- a) Para poder realizar los cortes necesitaremos una cizalla, una prensa, unas tijeras para cortar metal, cincel y martillo.
- b) Para cortar la estructura externa utilizaremos la cizalla con la cual obtendremos cortes rectos y precisos como se muestra en la figura 5-2.
- c) Con la ayuda de las tijeras para cortar metal, cortaremos las piezas que tenga curvaturas, especialmente en lo que son las tapas.
- d) El cincel y martillo se utiliza para cortar los agujeros que tienen las tapas en su parte interna en donde no es posible cortar con la cizalla ni con las tijeras (Figura 5-3).



**Figura 5-2 Corte de plancha principal.**



**Figura 5-3 Tapa externa del silenciador.**

### **5.3.- Proceso de Barolado**

A este proceso se lo llama también como doblado porque aquí es cuando a la lámina se le da la forma del silenciador ya sea ovalado o cilíndrico.

- a) Para realizar este proceso necesitaremos una dobladora que puede ser mecánica o hidráulica, como se muestra en la figura 5-4 y 5-5.
- b) Procedemos a introducir la lamina cortada que será la estructura externa del silenciador entre los tubos de la dobladora.

- c) Procedemos a girar el mando de la dobladora con movimientos de derecha a izquierda hasta obtener la forma requerida (figura 5-4).
- d) Se debe tener mucho cuidado que la lamina este bien sujeta para que el trabajo sea lo mas exitoso posible.



**Figura 5-4 Barolando plancha principal del silenciador.**



**Figura 5-5 Finalización de Barolar plancha principal**

#### **5.4.- Proceso de Prensado**

**Para realizar este proceso necesitaremos una matriz, que dará la forma adecuada de sus respectivos lados a las tapas de los silenciadores, un gato hidráulico, y una estructura metálica que nos ayude a realizar el trabajo.**

- a) Introducimos las tapas del silenciador a la matriz (Figura 5-6).
- b) Con la ayuda del gato hidráulico y la estructura metálica ejerceremos una fuerte presión a la tapa de silenciador sobre la matriz la cual le dará su respectiva forma (Figura 5-7).
- c) Son pasos sumamente sencillos pero debemos tener cuidado en que el gato hidráulico y la matriz estén bien ubicados, porque en caso contrario podríamos lastimarnos y de esta manera obtener un buen trabajo (Figura 5-8).



**Figura 5-6 Prensado de tapas del silenciador.**



**Figura 5-7 Prensado de compartimentos del silenciador.**



**Figura 5-8 Tapas y compartimientos terminados.**

### **5.5.- Corte de Tubo**

Para realizar este procedimiento necesitaremos un cortador de tubos y una prensa que nos ayudará a sostener los tubos en el momento del corte (Figura 5-9).

- a) Debemos tomar las dimensiones de los tubos dependiendo del tipo de silenciador que se desee construir.
- b) Ubicamos los tubos en una prensa la cual nos brindará una mayor fijación.
- c) Ubicamos el cortador del tubo fijándolos a los mismo y comenzamos a girarlo en un solo sentido, cada vez que giremos debemos introducir lentamente mas la cuchilla del cortador de tubos, hasta lograr el corte del tubo.
- d) Es preferible no cortar con sierra porque no obtendremos un corte simétrico.



**Figura 5-9 Cortando tubo interior del silenciador.**

### **5.6.- Proceso de Taladrado**

Aquí se realiza varios agujeros en los tubos de las diferentes cámaras de los silenciadores y de acuerdo a la longitud y diámetro de los tubos dependerá el diámetro y el número de los agujeros.

Para tener una mejor distribución de los agujeros se recomienda utilizar un taladro industrial que tenga una prensa sobre una bancada (figura 5-10 y 5-11).

- a) El taladro solo tendrá un movimiento que será de ascenso y descenso, el que se moverán son los tubos con ayuda de la prensa que esta sobre una bancada nos proporcionará una mayor fijación y movimientos longitudinales y laterales y, con la cual obtendremos una distribución correcta de los agujeros.
- b) Con los tubos ya cortados los ubicaremos sobre la prensa y lo fijamos (Figura 5-10).

- c) Con la ayuda del taladro que esta sobre los tubos comenzaremos a proceder el taladrado de los agujeros y obtener un excelente trabajo (Figura 5-11).



**Figura 5-10 Taladrando agujeros del tubo interior.**



**Figura 5-11 Tubo interior terminado de taladrar**

### **5.7.- Proceso de unión de el cilindro y sus tapas**

En este proceso se realizará con ayuda de las tapas del silenciador de la siguiente manera:

- a) Ubicamos las dos tapas en los extremos del cilindro con la finalidad de obtener la forma adecuada del cilindro (Figura 5-12).
- b) Se debe colocar las tapas de cilindros con los lados hacia la parte externa y procedemos a unir las dos partes del silenciador.
- c) Ya realizado esto procedemos a unir mediante unos puntos de suelda en los extremos para fijar la forma del silenciador.
- d) El tipo de suelda utilizado para esta tarea es la soldadura MIG que es un proceso para soldar que funde los metales a unir, a través del calor producido por un arco eléctrico, entre un electrodo continuo de metal de aporte y la pieza de trabajo, los cuales están protegidos por una atmósfera inerte suministrada externamente.
- e) Los componentes del proceso MIG son:
  - Máquina para soldar de voltaje constante.

- Alimentador de alambre sólido.
  - Pistola.
  - Gases y Mezclas para soldar STARGAS.
  - Alambre sólido como soldadura.
- f) Escogimos este proceso porque en el campo de las laminas delgadas (2-3 mm.) con una preparación de costura uniforme y correcta, se pueden alcanzar con técnica TANDEM, velocidades de hasta 6m/min. En el caso de laminas gruesas, se consiguen rendimientos de fusión de 24 kg/h. y velocidades de 80 cm/min. para una cota "a" de 8 mm. en una pasada con, al mismo tiempo, una zona térmicamente afectada muy favorable. También en aluminio -según la pieza- se puede duplicar la velocidad de soldadura.
- g) Trabajamos con CO<sub>2</sub> con una presión 750 PSI.
- h) El amperaje se coloca en la posición 6 de la perilla que es para espesores de 1/20" a 1/16" y 2mm.
- i) La velocidad del alambre se regula a 4.5 m/min.
- j) Después de realizar los puntos de suelda procedemos a retirar una de las tapas del cilindro (Figura 5-13).
- k) Finalmente la tapa del silenciador que esta en el cilindro la debemos soldar detenidamente para que este herméticamente sellada.



**Figura 5-12 Ubicación de tapas en el extremo del cilindro.**



**Figura 5-13 Cilindro listo para unión.**

### **5.8.- Proceso de corte de Compartimiento**

Con las dimensiones del cilindro procedemos:

- a) A realizar una mediciones internas del cilindro (Figura 5-14).
- b) Luego realizamos un corte de una placa con características similares a la de las tapas, el número de estas dependerá del número de cámaras y diseño del silenciador (Figura 5-14).
- c) Estas placas deben llevar agujeros similares a la de los tubos del silenciador.

- d) Todo este proceso debemos realizarlo con mucho cuidado para que las mediciones y cortes sean lo mas exacto posible, para que cuando debamos introducir las tapas de los compartimientos ingresen con facilidad.



**Figura 5-14 Señalización de compartimientos para luego cortar.**

### **5.9.- Proceso de unión compartimiento-tubos.**

Para realizar este proceso utilizamos la soldadura MIG de la siguiente manera:

- a) Se unen los tubos a las divisiones de los compartimiento, todo esto se realiza en el exterior del silenciador para obtener una mayor facilidad del proceso de unión entre placa y tubos (Figura 5-15).
- b) Los tubos se sueldan al compartimiento con la disposición de menor número de agujeros hacia la parte externa del cilindro (Figura 5-16).

- c) La regulación de la soldadura es la misma que para la unión de las tapas y el cilindro.
- d) La regulación del amperaje es la posición número 6, la velocidad del alambre es de 4.5 o 5 m/min, el gas utilizado es CO<sub>2</sub>.
- e) Después de este armador procedemos a introducirlo en el interior del cilindro (Figura 5-17).
- f) Finalmente cuando este ubicado en su posición correcta procedemos a fijarlo por medio de puntos de suelda que realizaremos con la soldadura MIG (Figura 5-17).



**Figura 5-15 Soldando tubos con compartimiento.**



**Figura 5-16 Tubos y compartimientos unidos.**



**Figura 5-17 Tubos y compartimientos ubicados en el interior del cilindro.**

### 5.10.- Sellado del silenciador.

Este es último paso que se realiza en el proceso de elaboración de un silenciador, se realiza con ayuda de la suelda MIG.

- a) La regulación del amperaje es la posición número 6, la velocidad del alambre es de 5 m/min, el gas utilizado es CO<sub>2</sub>.
- b) Debemos coloca el cilindro en una prensa y que este se encuentre en una posición con los dos puntos de suelda que se realizó anteriormente hacia arriba para obtener una mayor facilidad de la suelda (Figura 5-18).
- c) Luego se debe soldar toda la junta del cilindro, los bornes de las tapas para que se obtenga una buena hermeticidad en el silenciador (Figura 5-19).
- d) Finalmente obtenemos un producto con una buena calidad (Figura 5-20).



**Figura 5-18 Soldando cilindro principal.**



**Figura 5-19 Tapas listas para soldar con el cilindro.**



**Figura 5-20 Silenciador terminado.**

## VI.- DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN SERIE PARA LA FABRICACIÓN DE SILENCIADORES

### 6.1.- DIAGRAMA DE FLUJO.

**El diagrama de flujo muestra el camino recorrido por un componente de la recepción, a los almacenes, la fabricación, el ensamble final. Cada trayectoria se traza sobre la disposición física de la planta. En el diagrama se pueden mostrar varios componentes, pero quizá hagan falta muchas páginas son útiles las hojas transparentes que se superponen.**

#### 6.1.1.- Procedimiento

Dado que los diagramas de flujo se trazan sobre la disposición física de la planta, no hay una forma única de hacerlos. Con todo, algunas convenciones restringen al diseñador.

Nuestro objetivo es mostrar todas las distancias recorridas por cada uno de los componentes y encontrar maneras de reducirlas.

El diagrama de flujo se elabora a partir de la información de las hojas de ruta, balanceados de línea de ensamble y planos. Con la hoja de ruta nosotros especificamos la secuencia de fabricación de cada componente del silenciador. La secuencia de los pasos requeridos para fabricar el silenciador es práctica y da cierta flexibilidad. Un paso puede hacerse antes o después de otro, dependiendo de ciertas condiciones.

6.1.2.- Procedimiento paso a paso para la elaboración del diagrama de flujo.

**Para mayor entendimiento de la elaboración de flujo fijarse en plano que se ubica en ANEXOS 19.**

Paso 1: El diagrama de flujo iniciamos con una disposición física actual y propuesta a escala.

Paso 2: A partir de la hoja de ruta, trazamos cada paso en la fabricación del silenciador en cada uno de los componentes y se conectan con una línea que se pueda distinguirlos.

Paso 3: Una vez fabricados los componentes, reunimos en una secuencia específica en la línea de ensamble. La posición de la línea de ensamble quedará determinada por el sitio de donde provienen los componentes. En la línea de ensamble, todas las líneas de flujo reúnen y recorren de manera unificada hacia el control de calidad del silenciador.

Un diagrama de flujo bien concebido será la mejor técnica para organizar la disposición física de una planta.

## **6.2.- DIAGRAMA DE PROCESOS**

**El diagrama de procesos muestra todo el manejo, inspección, operaciones, almacenaje y retraso que ocurre con cada componente del ensamblaje del silenciador conforme se mueve por la planta del departamento de recepción al control de calidad del mismo .**

Empleamos símbolos convencionales para describir los pasos del proceso. Estos símbolos han sido aceptados por todas las organizaciones profesionales que realizan estudios de tiempos y movimientos.

### **6.2.1.- Descripción paso a paso para el uso del diagrama de procesos**

Para la descripción de estos pasos es necesario fijarse en la tabla 6.1

1.- Marcamos el recuadro en el que señala método propuesto ya que es una buena opción para comparar y mejorar.

2.- Ponemos siempre la fecha del trabajo. Nuestro trabajo se guarda años, y algún día usted querrá saber cuándo hizo esa obra de arte. Los números de las páginas son importantes en trabajos grandes, a fin de mantenerlas en un orden adecuado.

*3.- Descripción del componente.*

Ésta es la información de mayor importancia del formulario.

Nuestro componente en sí es el ensamblaje del silenciador.

*4.-Descripción de la operación*

En este recuadro registramos los límites del estudio (por ejemplo, de recepción hasta ensamble), es decir, el ensamble del silenciador.

### *5.-Detalles del proceso*

Cada renglón del diagrama de proceso de flujo tiene un número. Cada paso es totalmente independiente y aparte. En dichos renglones pusimos la acción o lo que se realiza en cada proceso.

### *6.-Método*

El método por lo general se refiere a la forma en que fue transportado el material (monta cargas, carro de mano, a mano, etc.) también pusimos en donde se va a colocar el material.

### *7.-Símbolos*

Aquí anotamos todos los símbolos de diagrama de proceso. Nosotros clasificamos cada paso y sombreamos el símbolo para indicar a todos a qué se refiere el paso.

### *8.-Recorrido en metros*

Este paso se utiliza sólo junto con el símbolo del transporte. La suma de esta columna es la distancia recorrida con este método. Esta columna es una de las mejores indicaciones de la productividad.

### *9.-Tiempo en horas por unidad (0.00001)*

Este paso utilizamos para el costeo de la mano de obra.

Y la calculamos de la siguiente manera:

A partir de los estándares de tiempo por piezas por hora, en nuestro caso tenemos 500 piezas por hora, divide una hora entre 500 piezas por hora y obtendremos 0.00200 horas por unidad. En nuestro diagrama de procesos, colocaremos 200 en la columna de tiempo, sabiendo que el decimal siempre estará en el quinto sitio.

Renglón uno

500 piezas \* hora

1 hora / 500 piezas = 0,00200

Y en la tabla ubicamos el valor de 200

Este calculo se realiza hasta el renglón cuarto.

Renglón número cinco.

32 tapas \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 32 = 0,03125$$

Renglón número nueve

32 taladros \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 32 = 0,03125$$

Renglón número seis

48 cortes \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 48 = 0,0208$$

Renglón número diez

24 uniones \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 24 = 0,0416$$

Renglón número siete

8 barolados \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 8 = 0,125$$

Renglón número once

8 controles \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 8 = 0,125$$

Renglón número ocho

48 prensados \* 1 hora

$$1 \text{ h} / 48 = 0,0208$$

#### *10.- Costo por unidad*

Las horas por unidad multiplicadas por una tasa de mano de obra por hora es igual al costo por unidad. En nuestro la mano de obra por hora para operarios es de 2 dólares por hora:

Renglón dos

$$0,00200 * 2 \text{ dólares} = 0,004 \text{ dólares}$$

Este cálculo se realiza hasta el renglón cuatro.

Renglón cinco

$$0,03125 * 2 \text{ dólares} = 0,0625 \text{ dólares}$$

Renglón seis

$$0,0208 * 2 \text{ dólares} = 0,0416 \text{ dólares}$$

Renglón siete

$$0,125 * 2 \text{ dólares} = 0,25 \text{ dólares}$$

Renglón ocho

$$0,0208 * 2 \text{ dólares} = 0,0416 \text{ dólares}$$

Renglón nueve

$$0,03125 * 2 \text{ dólares} = 0,0625 \text{ dólares}$$

Renglón diez

$$0,0416 * 2 \text{ dólares} = 0,0832 \text{ dólares}$$

Renglón once

$$0,125 * 2 \text{ dólares} = 0,25 \text{ dólares}$$

El costo por unidad es la espina dorsal del diagrama de procesos. Estamos buscando una forma mejorada, por lo que el mejor método será el que tenga el procedimiento general más económico.

# ESPE

## DIAGRAMA DE PROCESOS

METODO ACTUAL **1.-**     METODO PROPUESTO    FECHA: **2.-**    PAGINA 1 DE \_\_\_\_

DESCRIPCION DE LA PARTE: **3.-**

DESCRIPCION DE LA OPERACION: **4.-**

RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS				DIAGRAMA DE FLUJO ADJUNTO (IMPORTANTE)		
	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	POR QUE QUE DONDE	CUANDO QUIEN COMO	ESTUDIADO POR: F. MEYERS    \$ 7.00 POR HR.				
OPERACIONES													
TRANSPORTE													
INSPECCIONES													
RETRASOS													
ALMACENAMIENTOS													
DIST. RECORRIDA	F.T.		F.T.		F.T.								
PASO	DETALLES DEL PROCESO		METODO	OPERA- CION	TRANS- PORTE	INSPEC- CION	RETRASO	ALMACE- NAMIENTO	DIST. EN metros	CANTIDAD	TIEMPO HRS/UNI	COSTO POR UNI.	CALCULOS DE TIEMPO/COSTO
1			T	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
2	<b>5.-</b>		<b>6.-</b>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	<b>8.-</b>		<b>9.-</b>	<b>10.-</b>	
3				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
4				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
5				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
6				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
7				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
8				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
9				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
10				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
11				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
12				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
13				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					
14				<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>					

**Tabla de explicación 6.1**

<b>ESPE</b>		<b>DIAGRAMA DE PROCESOS</b>											
<input type="checkbox"/> METODO ACTUAL <input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO    FECHA: 5/6    PAGINA 1 DE ____													
DESCRIPCION DE LA PARTE:		SILENCIADORES CONTROL DE CALIDAD											
DESCRIPCION DE LA OPERACION:		ENSAMBLAJE											
RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS				DIAGRAMA DE FLUJO ADJUNTO (IMPORTANTE)		
	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	NUM	TIEMPO	POR QUE QUE DONDE	CUANDO QUIEN COMO	ESTUDIADO POR:				
OPERACIONES													
TRANSPORTE													
INSPECCIONES													
RETRASOS													
ALMACENAMIENTOS													
DIST. RECORRIDA	F.T.		F.T.		F.T.		F. MEYERS				\$ 7.00 POR HR.		
PASO	DETALLES DEL PROCESO		METODO	OPERA- CION	TRANS- PORTE	INSPEC- CION	RETRASO	ALMACE- NAMIENTO	DIST. EN PIES	CANTIDAD	TIEMPO HRS/UNI	COSTO POR UNI.	CALCULOS DE TIEMPO/COSTO
1	RECEPCION DESCARGAR AUTOTRANSPORTE		TARMA CONT	○	▽	D	□	⇨			200	.004	
2	MOVER BODEGA		MONTA CARGA	⇨	□	D	▽	○	15		200	.004	
3	ALMACENAMIENTO		serie ría	⇨	□	D	▽	○	10		200	.004	
4	MOVER MATERIA PRIMA		Mano	⇨	□	D	▽	○	10		200	.004	
5	SEÑALAR		Mano	⇨	□	D	▽	○	5		125	.0625	
6	CORTAR		Mano	⇨	□	D	▽	○	5		08	.0416	
7	Barolar		BAR	⇨	□	D	▽	○	6		5	.25	
8	PRENSAR		PRE	⇨	□	D	▽	○	6		08	.0416	
9	TALADRAR		Taladr	○	□	D	▽	○	4		125	.0625	
10	UNION		Subt	□	D	▽	○	⇨	4		16	.0832	
11	CONTROL CALIDAD		Mano	⇨	□	D	▽	⇨	4		5	.25	

### **6.2.2.- Trabajo diario**

El término trabajo diario se refiere al del empleado a quien se le paga por hora, semana, o mes. El trabajo diario no tiene cálculos de estándares de tiempo ni desempeño. De hecho, los sistemas de paga de trabajo diario no son ningún sistema.

### **6.3.- DIAGRAMA DE OPERACIONES.**

El diagrama de operaciones ( véase en la figura 6.3 ) tenemos un círculo por cada operación requerida para fabricar cada uno de los componentes, para armar el ensamble final del silenciador y para terminar con el control de calidad.

Aquí tenemos incluidas todos los pasos de la producción, todas las tareas y todos los componentes.

Los diagramas de operación muestran la introducción de la acción principal en la parte superior del diagrama, sobre una línea horizontal.

#### **6.3.1.- Procedimiento paso a paso para preparar un diagrama de operaciones**

Paso 1.- Identificamos los componentes que se van a manufacturar y aquellos que se van a adquirir completos.

Paso 2.- Determinamos las operaciones y la secuencia necesaria para fabricar cada componente.

Paso 3.- Determinamos la secuencia de ensamble, para todos los componentes adquiridos.

Paso 4.- Encontramos la parte básica con la que se inicia el proceso de ensamble

del silenciador , luego colocamos verticalmente en manera ordenada seguida de una línea.

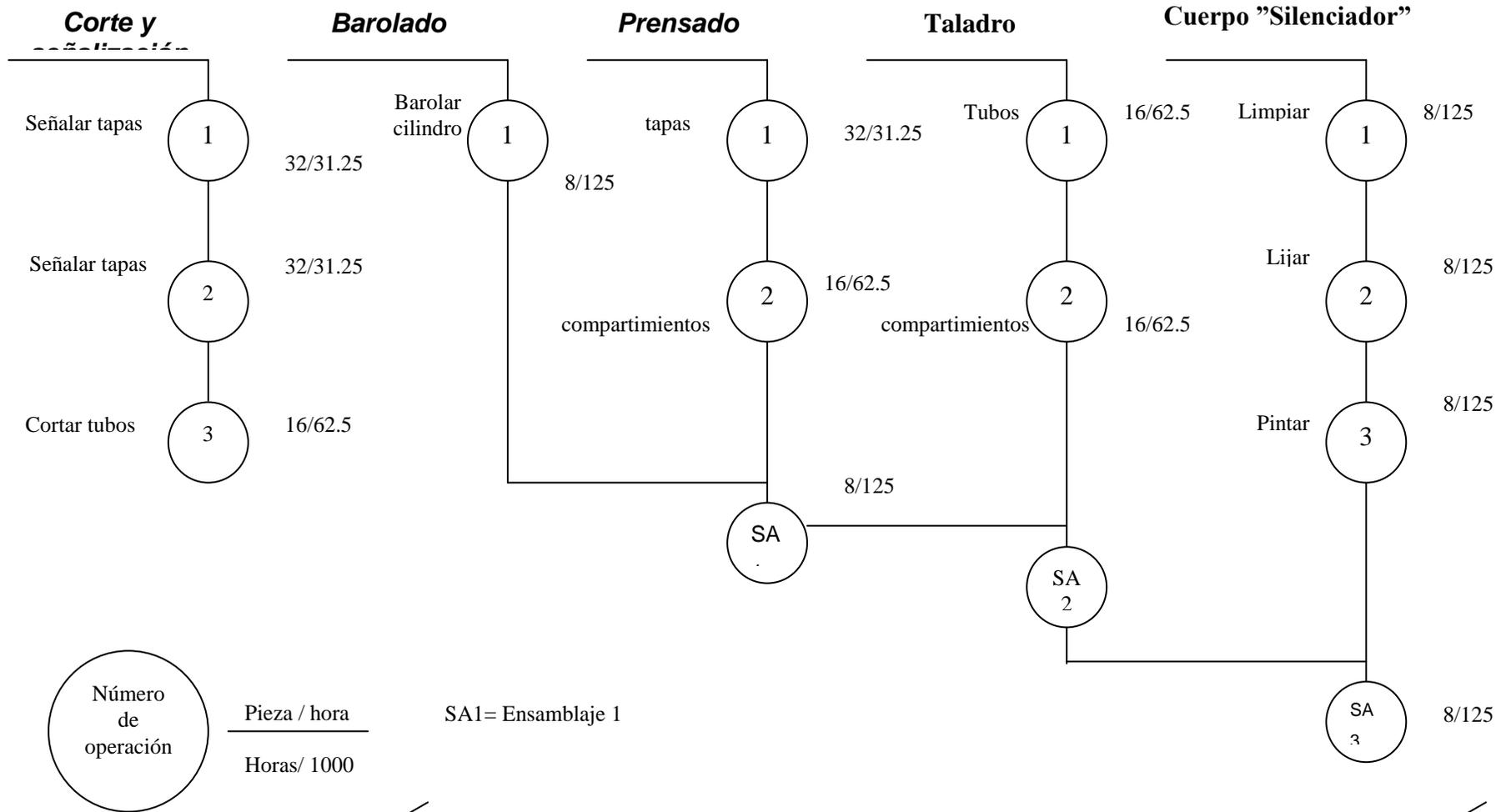
Paso 5.- Colocamos la segunda hasta la quinta columna de igual manera ordenada en secuencia de ensamble .

Paso 6.- Unimos con una línea horizontal las columnas que debemos ensamblar. En nuestro diagrama ensamblamos la segunda con la tercera columna, consecuentemente tercera con cuarta y finalmente cuarta con quinta columna.

Paso 7.-Indicamos los estándares de tiempos, los números de las operaciones y las descripciones de las mismas al lado y dentro del círculo.

Paso 8.- Sumamos el total de las horas de todas las acciones de todas las columnas y la ubicamos en la parte inferior derecha al final del ensamble total.

## DIAGRAMA DE OPERACIONES



Total de horas para  
fabricar 1000 piezas

**Fig. 6-3**

1218.75

#### **6.4.- CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE ENSAMBLE DE SILENCIADORES EN SERIE.**

Para la construcción de la planta necesitamos una división por zonas de trabajo y todos los materiales que se necesitarán para el ensamble de dichos silenciadores.

a.- MAQUINARIA Y EQUIPO :	Valor ( dólares )
Suelda MIG .....	1500
Suelda Oxiacetilénica.....	800
Suelda eléctrica.....	700
2 Taladros industriales.....	800
2 Prensas hidráulicas.....	950
2 Baroladoras.....	1250
Una cizalla ( 4mm max. ).....	300
10 Señaladores .....	100
Dobladora de tubos (15mm max ).....	500

#### **b.- CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES:**

Adecuación de terreno nivelación.....	2000
Áreas de trabajo cubiertas.....	25000
Oficinas.....	5000
Cerramiento de construcción.....	1900

#### **JUSTIFICACIÓN DE AREAS**

Se construyó la planta de un área de 1200 metros cuadrados por lo que se subdivide en ocho áreas de trabajo las mismas que tienen la función de ensamblar los silenciadores.

Cada sitio de trabajo tienen sus respectivas funciones y áreas como :

1. Área de bodega.
2. Área de corte y señalización.
3. Área de Barolado.
4. Área de prensado.

Aquí tenemos un área de 104.2 metros cuadrados porque tenemos las máquinas y mesas de trabajo más grandes y es necesario tener el espacio

suficiente para un buen ensamble y una excelente ergonomía.

5.- Área de taladrado.

6.- Área de unión.

7.- Área de control de calidad.

8.- Oficinas.

En estos últimos sitios de trabajo tenemos una menor área que es de 92.18 metros cuadrados cada uno ya que las maquinarias son de menor dimensión, es decir, no se necesita mucho espacio.

c.- MUEBLES Y ENCERES:	Valor ( dólares )
6 Escritorios, sillas y Estantes.....	800
3 Implementos varios lote.....	250
4 Armarios.....	900

d.- DIFERIDOS Y OTRAS:

Estudio técnico .....	400
Gastos de constitución.....	700
Gastos de capacitación.....	400
Gastos de puesta en marcha.....	1000

e.- RECURSOS HUMANOS:	Valor ( por mes )
1 Ingeniero .....	800
2 Mecánicos.....	800
10 Operarios.....	2500

Administrativos:	Valor ( dólares )
Gerente.....	1000
Guardianía.....	200
TOTAL.....	50550

Todo el personal de recursos humanos tienen la remuneración por cada mes que cumpla su trabajo en la empresa.

### **6.5.- Demanda**

Este diseño de construcción de la planta de ensamble de silenciadores en serie tiene como proyecto ofertar y vender los productos a las empresas de AYMESA y de OBNIBUS

AYMESA produce 30 autos al día ensamblados a los cuales vamos a proveer de nuestro producto que es de 30 silenciadores y también vamos a tener una proyección de vender a OBNIBUS 30 silenciadores más ya que esta empresa produce alrededor de 120 autos ensamblados al día por lo que dicha empresa necesita un proveedor más que seremos nosotros.

## VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- ❖ En el silenciador de Aluminio fluye menos calor porque está sometido a una menor diferencia de temperatura entre la superficie y la media del gas ( $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$ ); entonces por estar a menor temperatura el gas, es menos propenso a condensarse el vapor de agua contenido en los gases de escape y así se evita la corrosión. Mientras menos caliente esté el gas, menos calor conduce.
- ❖ El silenciador de lana de vidrio no conduce mucho calor, por lo que la lana de vidrio es un aislante térmico.
- ❖ Para el silenciador de tres cámaras de un material laminado en frío tiene una buena transferencia de calor pero es expuesto a mayor corrosión por consiguiente es el segundo silenciador con mejores características porque tiene una buena conductividad térmica después del de aluminio.
- ❖ En la construcción de nuestra planta para el ensamblaje de silenciadores en serie se produce sesenta y cuatro silenciadores, y ya que es un proyecto es factible proveer para AYMESA y OBNIBUS con facilidad y un producto de buena calidad.
- ❖ Se recomienda que el proceso de soldadura se lo realiza con la soldadura MIG, por la calidad de suelda, rapidez, y protección anticorrosiva que ofrece este tipo de suelda.
- ❖ Es aconsejable que cuando se construya un silenciador que no sea de un material aluminizado o inoxidable, se deberá dar un acabado con pintura.

- ❖ Si se desea cromar un silenciador deportivo es primordial que se envíe solo la estructura exterior del silenciador, porque si se envía armado el silenciador el relleno de lana de vidrio al someter a elevadas temperaturas se dañará.
- ❖ Para la producción en serie de silenciadores se recomienda llevar un estricto orden en la calidad de producción, los tiempos de producción y sobre todo en la motivación del empleado, para que los aspectos antes mencionados no bajen su rendimiento.