



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA – MECATRÓNICA

DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MUESTREO ISOCINÉTICO PARA LA  
MEDICIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN FUENTES FIJAS

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
CARLOS VARGAS ROJAS

TUTOR PRINCIPAL  
DR. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

MÉXICO, CDMX. Octubre 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

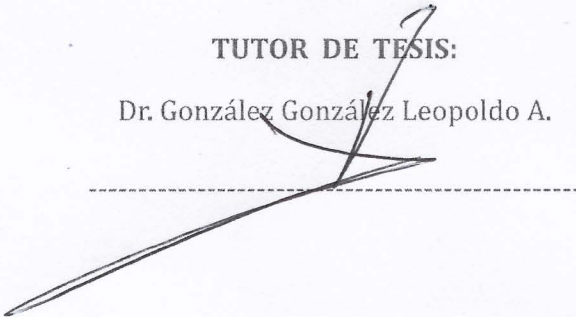
**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente  
Secretario: Dr. Rocha Cózatl Edmundo Gabriel  
Vocal: Dr. González González Leopoldo A.  
1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Dorador González Jesús Manuel  
2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Espinosa Bautista Adrián

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: **Ciudad Universitaria, CDMX**

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. González González Leopoldo A.



---

A mis padres, por su amor y apoyo incondicional.

A Dios y a la Virgen, por las oportunidades y enseñanzas.

A Mané por sus consejos y compañía.

A mis hermanas, sobrinos y amigos por la confianza y empuje constante.

A mi tutor por su invaluable soporte.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Corchita, por ser mi apoyo y confidente.

A todos ellos muchas gracias de todo corazón.

*“Las locuras que más se lamentan  
en la vida de un hombre  
son aquellas que no se cometieron  
cuando se tuvo la oportunidad.”*  
Helen Rowland

## Índice de contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción.....                             | 6  |
| 1. Objetivo .....                             | 8  |
| 2. Conceptos .....                            | 9  |
| 3. Metodología.....                           | 12 |
| 4. Desarrollo de la metodología.....          | 14 |
| 4.1 Definición del problema .....             | 14 |
| 4.2 Recopilación de información.....          | 15 |
| 4.3 Generación de conceptos .....             | 20 |
| 4.4 Evaluación de conceptos .....             | 25 |
| 4.5 Alternativas de solución .....            | 41 |
| 5. Arquitectura del producto .....            | 46 |
| 6. Selección de componentes comerciales ..... | 51 |
| 6.1 Bomba de pistones - biela manivela.....   | 51 |
| 6.2 Sensor de velocidad - chimenea.....       | 53 |
| 6.3 Válvulas de admisión .....                | 57 |
| 6.4 Accesorios cámara de almacenamiento.....  | 59 |
| 6.5 Motor DC .....                            | 62 |
| 6.6 Caja reductora.....                       | 64 |
| 6.7 <i>Encoder</i> .....                      | 65 |
| 6.8 <i>Raspberry Pi</i> .....                 | 67 |
| 6.9 Tuberías y conexiones.....                | 69 |
| 7. Componentes comerciales .....              | 71 |
| 8. Modelado mediante Euler-Lagrange .....     | 73 |
| 9. Resultados y conclusiones .....            | 83 |
| 10. Referencias.....                          | 86 |
| 11. Anexos.....                               | 89 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Emisión nacional de contaminantes por fuente..... | 6  |
| <i>Figura 2.</i> Tren de muestreo gravimétrico .....               | 7  |
| <i>Figura 3.</i> Muestreo isocinético .....                        | 10 |
| <i>Figura 4.</i> Proceso de diseño.....                            | 12 |
| <i>Figura 5.</i> Sistema caliente – húmedo.....                    | 17 |
| <i>Figura 6.</i> Sistema frío – seco.....                          | 17 |
| <i>Figura 7.</i> Bomba de diafragma .....                          | 18 |
| <i>Figura 8.</i> Bomba eyectora .....                              | 19 |
| <i>Figura 9.</i> Bombas de pistones.....                           | 20 |
| <i>Figura 10.</i> Esquematización del proceso .....                | 21 |
| <i>Figura 11.</i> Modelo de caja negra.....                        | 23 |
| <i>Figura 12.</i> Descomposición funcional .....                   | 23 |
| <i>Figura 13.</i> Sub-funciones “procesar información” .....       | 25 |
| <i>Figura 14.</i> Diagrama esquemático .....                       | 47 |
| <i>Figura 15.</i> Agrupación de elementos.....                     | 48 |
| <i>Figura 16.</i> Layout.....                                      | 48 |
| <i>Figura 17.</i> Arquitectura - componentes comerciales .....     | 72 |
| <i>Figura 18.</i> Prototipo esquematizado .....                    | 74 |
| <i>Figura 19.</i> Restricciones mecánicas .....                    | 75 |
| <i>Figura 20.</i> Entrada de flujo .....                           | 78 |
| <i>Figura 21.</i> Esquema simplificado motor DC.....               | 79 |

## Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Interpretación de necesidades</i> .....                          | 14 |
| Tabla 2 <i>Bombas comerciales</i> .....                                     | 20 |
| Tabla 3 <i>Modelado – convertir energía</i> .....                           | 28 |
| Tabla 4 <i>Velocidad – convertir energía</i> .....                          | 28 |
| Tabla 5 <i>Instalación – convertir energía</i> .....                        | 28 |
| Tabla 6 <i>Selección – convertir energía</i> .....                          | 28 |
| Tabla 7 <i>Mantenimiento – reducir / acoplar</i> .....                      | 30 |
| Tabla 8 <i>Espacio requerido – reducir / acoplar</i> .....                  | 30 |
| Tabla 9 <i>Peso – reducir/ acoplar</i> .....                                | 30 |
| Tabla 10 <i>Selección – reducir / acoplar</i> .....                         | 30 |
| Tabla 11 <i>Peso – convertir movimiento</i> .....                           | 32 |
| Tabla 12 <i>Cambio de dirección – convertir movimiento</i> .....            | 32 |
| Tabla 13 <i>Mantenimiento - convertir movimiento</i> .....                  | 32 |
| Tabla 14 <i>Selección - convertir movimiento</i> .....                      | 32 |
| Tabla 15 <i>Riesgo de contaminación – generar vacío</i> .....               | 34 |
| Tabla 16 <i>Control de volumen – generar vacío</i> .....                    | 34 |
| Tabla 17.- <i>Continuidad de flujo – generar vacío</i> .....                | 34 |
| Tabla 18 <i>Selección – generar vacío</i> .....                             | 35 |
| Tabla 19 <i>Precisión – sensar velocidad muestra</i> .....                  | 38 |
| Tabla 20 <i>Versatilidad – sensar velocidad muestra</i> .....               | 38 |
| Tabla 21 <i>Selección - sensar velocidad muestra</i> .....                  | 38 |
| Tabla 22 <i>Complejidad de programación</i> .....                           | 40 |
| Tabla 23 <i>Complejidad de montaje</i> .....                                | 40 |
| Tabla 24 <i>Selección / procesamiento</i> .....                             | 41 |
| Tabla 25 <i>Tabla de combinaciones</i> .....                                | 41 |
| Tabla 26 <i>Criterios de selección - combinaciones</i> .....                | 42 |
| Tabla 27 <i>Continuidad de flujo</i> .....                                  | 43 |
| Tabla 28 <i>Control de volumen</i> .....                                    | 43 |
| Tabla 29 <i>Capacidad de Almacenamiento</i> .....                           | 43 |
| Tabla 30 <i>Peso</i> .....  | 43 |
| Tabla 31 <i>Velocidad de procesamiento de datos</i> .....                   | 44 |
| Tabla 32 <i>Evaluación de configuración</i> .....                           | 44 |
| Tabla 33 <i>Detalle de configuración</i> .....                              | 45 |
| Tabla 34 <i>Interacción módulos 1 y 2</i> .....                             | 49 |
| Tabla 35 <i>Interacción módulos 1 y 4</i> .....                             | 49 |
| Tabla 36 <i>Interacción módulos 2 y 3</i> .....                             | 49 |
| Tabla 37 <i>Interacción módulos 2 y 4</i> .....                             | 49 |
| Tabla 38 <i>Interacción módulos 3 y 4</i> .....                             | 49 |
| Tabla 39 <i>Interacción módulo 4 y sensor de velocidad - chimenea</i> ..... | 49 |
| Tabla 40 <i>Pistones comerciales</i> .....                                  | 51 |
| Tabla 41 <i>Datos bombas comerciales</i> .....                              | 52 |
| Tabla 42 <i>Pistones – mercado local</i> .....                              | 52 |
| Tabla 43 <i>Pistones – dimensiones nominales</i> .....                      | 52 |
| Tabla 44 <i>Selección pistones comerciales</i> .....                        | 52 |

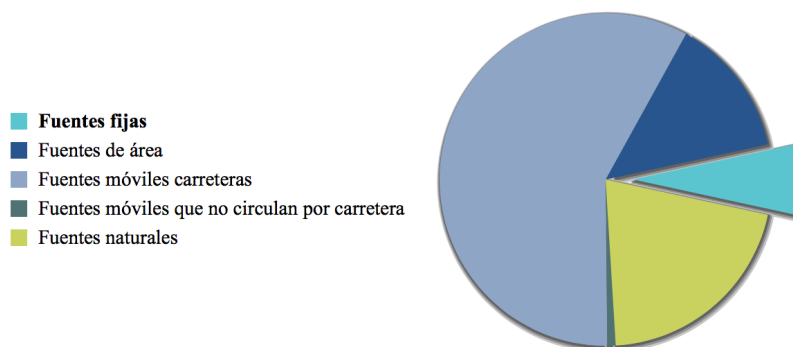
|   |    |
|---|----|
| Tabla 45 <i>Accesorios pistón</i> .....                             | 53 |
| Tabla 46 <i>Transductores de presión</i> .....                      | 53 |
| Tabla 47. <i>Tubos de Pitot tipo S</i> .....                        | 54 |
| Tabla 48 <i>Transductor de presión – instalación</i> .....          | 54 |
| Tabla 49 <i>Transductor de presión – disponibilidad</i> .....       | 54 |
| Tabla 50 <i>Transductor de presión - alimentación</i> .....         | 55 |
| Tabla 51 <i>Transductor de presión – comunicación</i> .....         | 55 |
| Tabla 52 <i>Transductor de presión - gases</i> .....                | 55 |
| Tabla 53 <i>Selección transductor de presión</i> .....              | 55 |
| Tabla 54 <i>Tubo de Pitot - capacidad de extensión</i> .....        | 56 |
| Tabla 55 <i>Tubo de Pitot - facilidad de extensión</i> .....        | 56 |
| Tabla 56 <i>Tubo de Pitot - medición de temperatura</i> .....       | 56 |
| Tabla 57 <i>Tubo de Pitot - facilidad de instalación</i> .....      | 56 |
| Tabla 58 <i>Selección tubo de Pitot tipo S</i> .....                | 57 |
| Tabla 59 <i>Válvulas solenoide comerciales</i> .....                | 57 |
| Tabla 60 <i>Válvulas solenoide – precio</i> .....                   | 58 |
| Tabla 61 <i>Válvulas solenoide – interfaz de conexión</i> .....     | 58 |
| Tabla 62 <i>Válvulas solenoide – material</i> .....                 | 58 |
| Tabla 63 <i>Selección válvulas solenoide</i> .....                  | 58 |
| Tabla 64 <i>Sensores de temperatura comerciales</i> .....           | 59 |
| Tabla 65 <i>Sensores de temperatura – resistencia al agua</i> ..... | 59 |
| Tabla 66 <i>Sensores de temperatura – método de montaje</i> .....   | 60 |
| Tabla 67 <i>Selección sensores de temperatura</i> .....             | 60 |
| Tabla 68 <i>Calentadores flexibles</i> .....                        | 61 |
| Tabla 69 <i>Calentadores – montaje</i> .....                        | 61 |
| Tabla 70 <i>Calentadores – resistencia química</i> .....            | 61 |
| Tabla 71 <i>Calentadores – voltaje</i> .....                        | 61 |
| Tabla 72 <i>Selección calentador</i> .....                          | 62 |
| Tabla 73 <i>Motores DC</i> .....                                    | 63 |
| Tabla 74 <i>Motor DC - corriente alimentación</i> .....             | 63 |
| Tabla 75 <i>Motor DC - peso</i> .....                               | 63 |
| Tabla 76 <i>Motor DC - disponibilidad</i> .....                     | 63 |
| Tabla 77 <i>Selección motor DC</i> .....                            | 64 |
| Tabla 78 <i>Cajas reductoras</i> .....                              | 64 |
| Tabla 79 <i>Caja reductora – diámetro de ejes</i> .....             | 65 |
| Tabla 80 <i>Caja reductora – número de salidas</i> .....            | 65 |
| Tabla 81 <i>Selección caja reductora</i> .....                      | 65 |
| Tabla 82 <i>Encoders incrementales</i> .....                        | 66 |
| Tabla 83 <i>Encoder – temperatura de trabajo</i> .....              | 66 |
| Tabla 84 <i>Encoder – rango de alimentación</i> .....               | 66 |
| Tabla 85 <i>Encoder – resistencia a la vibración</i> .....          | 66 |
| Tabla 86 <i>Selección encoder</i> .....                             | 67 |
| Tabla 87 <i>Unidad de procesamiento</i> .....                       | 67 |
| Tabla 88 <i>Convertidor analógico – digital</i> .....               | 68 |
| Tabla 89 <i>Raspberry Pi - velocidad</i> .....                      | 68 |
| Tabla 90 <i>Raspberry Pi - precio</i> .....                         | 68 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 91 <i>Raspberry Pi -sSelección</i> .....         | 68 |
| Tabla 92 <i>Racor</i> .....                            | 69 |
| Tabla 93 <i>Tuberías</i> .....                         | 69 |
| Tabla 94 <i>Componentes comerciales</i> .....          | 71 |
| Tabla 95 <i>Datos pistones</i> .....                   | 73 |
| Tabla 96 <i>Datos cigüeñal</i> .....                   | 74 |
| Tabla 97 <i>Conjunto completo de coordenadas</i> ..... | 74 |
| Tabla 98 <i>Restricciones mecánicas</i> .....          | 75 |
| Tabla 99 <i>Coordenadas generalizadas</i> .....        | 75 |
| Tabla 100 <i>Almacenadores y disipadores</i> .....     | 76 |
| Tabla 101 <i>Componentes comerciales</i> .....         | 84 |
| Tabla 102 <i>Peso componentes comerciales</i> .....    | 84 |

## Introducción

La calidad del aire está directamente relacionada con el volumen y la característica de los contaminantes emitidos, de acuerdo a los datos publicados en el año 2013, por el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM), en el año 2008 se emitieron alrededor de 58.99 millones de toneladas de contaminantes atmosféricos, de los cuales, 21% provinieron de fuentes naturales y 79% de fuentes antropogénicas. En particular el impacto de éstas últimas es el que requiere más atención, ya que se generan en o cerca de las ciudades y poblados, aumentando así la cantidad de personas expuestas a contaminantes. En la Figura 1, se muestra la distribución de fuentes de acuerdo a su impacto en la generación de emisiones, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).



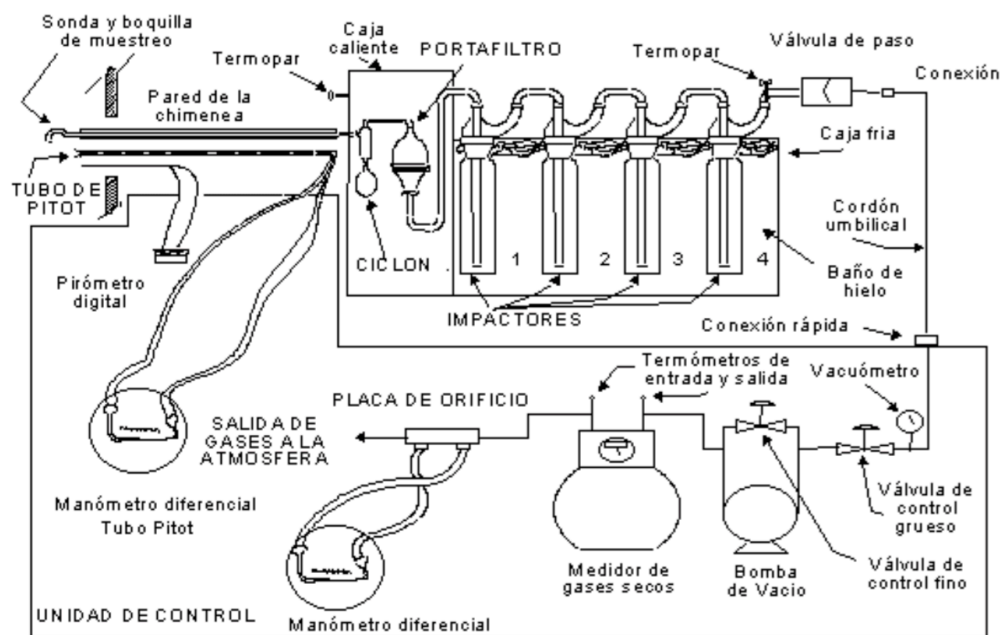
**Figura 1. Emisión nacional de contaminantes por fuente.**  
(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

Como se observa en la Figura 1 alrededor del 58% del total de las emisiones fueron emitidas por fuentes móviles carreteras y el 7% fueron emitidas por fuentes fijas. Considerando que se emitieron 58.99 millones de toneladas de contaminantes, en el año de análisis, se tiene que aproximadamente 4.13 millones de toneladas fueron generadas por fuentes fijas.

El control de la emisión de Partículas Suspendidas Totales (PST) es de suma importancia para la industria. No solo porque el mismo se encuentra normado, un control adecuado de las emisiones proporciona indicadores importantes del proceso

productivo. En el caso de las plantas generadoras de electricidad los resultados obtenidos del estudio de PST ayudan a controlar la eficiencia de los quemadores. Por lo tanto, al contar con un sistema de control en tiempo real los ajustes pueden ser inmediatos, logrando de este modo aumentar la eficiencia de los equipos de manera significativa.

Actualmente el método utilizado en México para la medición de PST se basa en un análisis gravimétrico de la muestra obtenida, en la Figura 2 se puede apreciar un ejemplo del tren de muestreo utilizado para tal actividad.



**Figura 2. Tren de muestreo gravimétrico.**  
(NMX-AA-010-SCFI-2001, 2001)

Dicho de otra manera, actualmente el proceso consiste en pasar la muestra por una serie de impactores los cuales son pesados al iniciar la prueba y al concluirla, con el fin de realizar el análisis gravimétrico de las partículas recolectadas.

El problema con este método es el tiempo de espera requerido para obtener los resultados, debido a que los filtros deben ser secados completamente antes de ser pesados. Lo cual deriva en un ajuste tardío a los parámetros de combustión, por tanto, el manejo de los quemadores no es eficiente, causando así un importante impacto ambiental y económico para la industria.

## **1. Objetivo**

Desarrollar un sistema automático de muestreo isocinético para la medición de partículas suspendidas totales (PST) en fuentes fijas. El cual formará parte de un laboratorio portátil para la medición en línea de las emisiones de PST en fuentes fijas. El cual surge de la necesidad de satisfacer el proyecto “Desarrollo tecnológico de un laboratorio portátil para la medición en línea de las emisiones de partículas suspendidas totales en fuentes fijas (LAPEM-PST)” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Interpretar los requerimientos del cliente
- Desarrollar el diseño conceptual del dispositivo
- Seleccionar elementos comerciales capaces de satisfacer las necesidades determinadas
- Desarrollar el modelo dinámico del mecanismo generador de vacío mediante las ecuaciones de Euler-Lagrange

## **2. Conceptos**

Antes de iniciar es importante definir algunos términos para facilitar la comprensión del presente trabajo:

### **Partículas suspendidas totales (PST)**

Las partículas suspendidas forman una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño de las partículas suspendidas varía desde 0.005 hasta 100 micras de diámetro; esto es, desde unos cuantos átomos hasta aproximadamente el grosor de un cabello humano.

Las partículas pueden tener un origen natural (como la polinización de las plantas, procesos geológicos e incendios forestales), y también antropogénico (puede incluir desde la quema de combustibles hasta la fertilización de campos agrícolas). Las partículas pueden ser directamente emitidas de la fuente, las llamadas partículas primarias, o bien formarse en la atmósfera cuando en ésta reaccionan algunas sustancias (óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, amoníaco, compuestos orgánicos, etc.), siendo consideradas partículas secundarias.

El estudio y la regulación ambiental de las partículas empezó centrándose en las PST, las cuales son menores de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, (Zuk, Tzintzun Cervantes, & Rojas Bracho, 2007).

### **Fuentes fijas**

Toda instalación o actividad establecida en un solo lugar o área, que desarrolle operaciones o procesos industriales, comerciales y/o de servicios que emitan o puedan emitir contaminantes a la atmósfera, el agua o el suelo, (Ministerio del Medio Ambiente, Chile, s.f.).

### **Fuentes móviles carreteras**

Incluyen autos particulares (tipo sedán), camionetas pick-up, vehículos privados y comerciales, autobuses de transporte urbano, tractocamiones, taxis, camionetas de transporte público de pasajeros y motocicletas, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

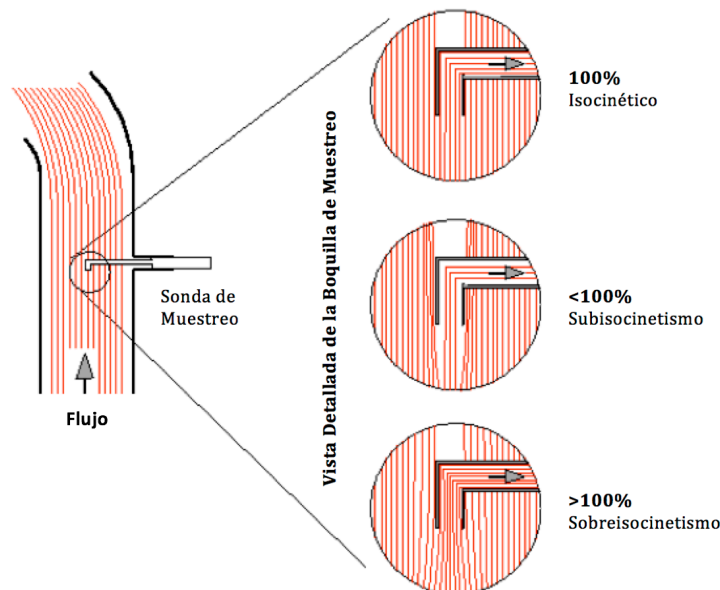
## Muestreo isocinético

Para que la muestra de gas extraída de la chimenea sea representativa, debe ser una pequeña porción del gas expulsado con las mismas características promedio que el resto de la masa de gas. Considerando que la velocidad, la temperatura y la concentración de impurezas del gas pueden variar con el tiempo y de un lugar a otro a través de la sección transversal de la chimenea, el método de muestreo debe contemplar estas variaciones para determinar los puntos de muestreo. En cada uno de los puntos de muestreo la velocidad de succión a través de la boquilla ( $V_n$ ) debe ser igual a la velocidad del gas en el punto de muestreo ( $V_s$ ).

Para que la toma sea considerada isocinética se debe cumplir con la Ecuación 1:

$$V_n = V_s \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $V_n$  representa a la velocidad de succión y  $V_s$  la velocidad del fluido en el punto de muestreo. Si las velocidades no son iguales las líneas de flujo del gas serán perturbadas cerca de la boquilla de aspiración. Usualmente las partículas suspendidas en el gas tienen una gran variedad de tamaños, las más pequeñas tenderán a seguir las líneas de flujo del gas, sin embargo, debido a que las partículas más grandes tienen más inercia no se desviarán junto con el flujo de gas si no que tenderán a seguir un camino recto. La Figura 3, ejemplifica dicho fenómeno.



**Figura 3. Muestreo isocinético**  
(Airflow Sciences Corporation, 2015)

- Isocinético ( $V_n = V_s$ ) → Todas las partículas, sin importar el tamaño, siguen las líneas de flujo. Por lo tanto, la muestra obtenida es representativa.
- Sobre-Isocinetismo ( $V_n > V_s$ ) → Se introduce una mayor cantidad de gas a través de la boquilla, pero las partículas grandes no siguen el flujo de gas. De modo que se recolecta una menor cantidad de masa por volumen de gas y la concentración no es representativa (es menor a la de la chimenea).
- Sub-Isocinetismo ( $V_n < V_s$ ) → Se absorbe una menor cantidad de gas a través de la boquilla, sin embargo, las partículas más grandes no siguen las líneas de flujo alrededor de la boquilla aspiración, estas entran a través de ella. De esta manera se recolecta una mayor cantidad de masa por volumen de gas, por tanto, la concentración obtenida no es representativa (es mayor a la de la chimenea).

Está claro que la velocidad de muestreo debe mantenerse igual a la velocidad con la que fluye el gas dentro de la chimenea en todo momento, con el objetivo de asegurar que la muestra obtenida sea representativa. Como se sabe la velocidad del gas puede cambiar con el transcurso del tiempo, o cuando se cambia de punto de muestro, por lo cual se requiere de una medición en tiempo real de la velocidad del gas dentro de la chimenea y de un control automático de la velocidad de muestreo, (Wigth, 1994).

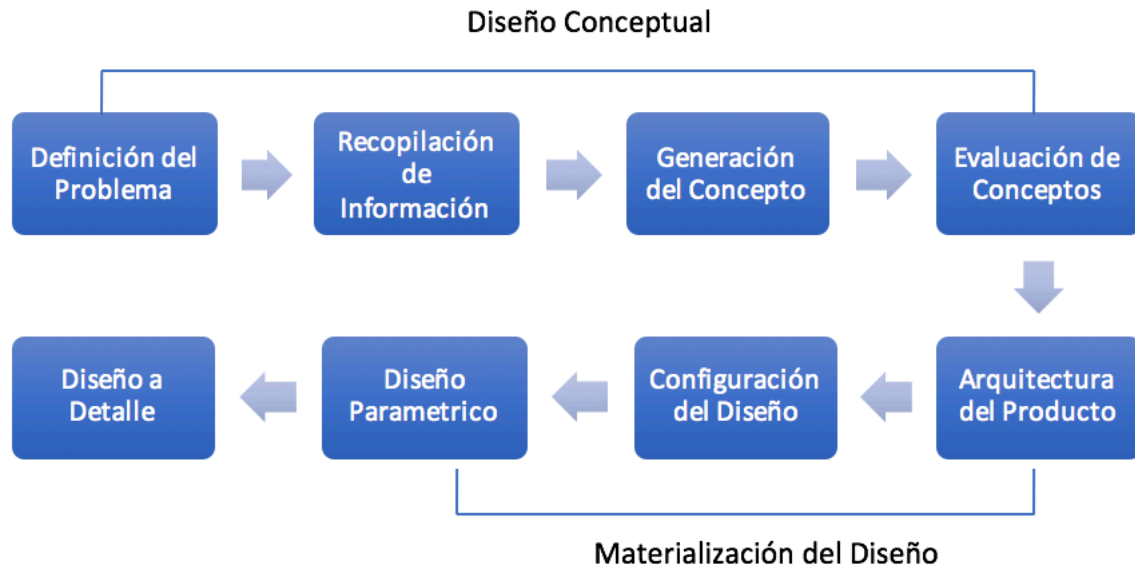
El porcentaje de isocinétismo está dado por la Ecuación 2.

$$\% \text{ Isocinetismo} = \frac{V_n}{V_s} \quad \text{Ecuación 2}$$

La norma mexicana, NMX-AA-010-SCFI-2001, define las pautas a seguir durante la determinación de partículas contendidas en los gases que fluyen por un ducto mediante el método isocinético. Dicha norma está basada en el Método 5 (*Method 5 - Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources*), el cual indica que para que una muestra sea considerada Isocinética, la velocidad a la cual fue obtenida debe tener una variación no mayor a 10% respecto a la velocidad del gas dentro de la chimenea, (California Environmental Protection Agency, 1997).

### 3. Metodología

La metodología utilizada para llevar a cabo el diseño conceptual corresponde a la presentada por *Dieter & Schmidt* en su libro "*Engineering Design*", la cual se encuentra representada en la Figura 4. Posteriormente se describen brevemente las diferentes etapas, (Dieter & Schmidt, Engineering Design, 2009).



**Figura 4. Proceso de diseño.**  
(Dieter & Schmidt, Engineering Design, 2009)

**Definición del problema:** El desarrollo de un producto comienza por establecer cuáles son las necesidades que éste debe satisfacer, una vez precisadas las necesidades se definen las características de ingeniería que permiten satisfacer las mismas.

**Recopilación de la información:** En esta etapa se consolida la información correspondiente a los procesos envueltos en la satisfacción de las necesidades del cliente, requerimientos implícitos debido al lugar de trabajo y otros factores que puedan alterar el diseño del producto.

**Generación de los conceptos:** Dentro de la ingeniería no existe tarea que requiera de mayor creatividad que el diseño conceptual, en esta fase los esfuerzos se concentran en desarrollar conceptos capaces de garantizar el cumplimiento de los requerimientos del cliente. Para poder alcanzar el objetivo de la etapa se emplean una serie de técnicas, en el presente trabajo se utiliza la técnica de Descomposición Funcional. Esta



técnica permite analizar el problema desde su forma más abstracta y así evitar caer en diseños sesgados.

Evaluación y selección de conceptos: Para realizar una correcta evaluación éstos deben estar desarrollados en el mismo nivel de abstracción, el objetivo de esta fase consiste en determinar que alternativa satisface de mejor manera las necesidades del cliente.

Arquitectura del producto: Busca determinar el arreglo físico de los diferentes componentes del dispositivo destinados a realizar las funciones requeridas. La misma está determinada por la relación que existe entre cada componente y la función que estos realizan, sin embargo, no tiene que ser idéntica a la descomposición funcional propuesta.

Configuración del diseño: En esta etapa se diseñan las piezas de propósitos especiales, en caso de que sean requeridas, y se seleccionan los componentes comerciales que formaran parte del dispositivo.

Diseño a detalle: En esta etapa se presentan de manera concreta los planos constructivos, lista de piezas y cualquier otra documentación requerida para proceder con la construcción del dispositivo, los planos deben incluir las tolerancias geométricas y especificar los acabados superficiales en caso de ser necesario.

## 4. Desarrollo de la metodología

### 4.1 Definición del problema

El desarrollo de un producto comienza con la determinación de las necesidades que se deben satisfacer, es por esto que la definición del problema consiste en el paso más importante del proceso de desarrollo de un producto. Existen una serie de técnicas desarrolladas para dicho fin, entre las cuales se encuentran el despliegue de la función de calidad o QFD por sus siglas en inglés y las entrevistas dedicadas al cliente. En esta ocasión el trabajo se realiza con base en las entrevistas realizadas a personal de la CFE encargado del proyecto LAPEM-PST y a los requerimientos solicitados por el cliente. Como resultado de las mismas se obtiene la tabla de interpretación de las necesidades (Tabla 1).

**Tabla 1**  
*Interpretación de necesidades*

| <b>Solicitud del Cliente</b>   | <b>Interpretación de la Necesidad</b>   | <b>Jerarquía</b> |
|--|---|------------------|
| Necesito un equipo de extracción de gases de una chimenea en funcionamiento.   | Extraer muestra de gases en el lugar de trabajo.  | 1                |
| La muestra solo debe ser aceptada cuando se alcance el isoconietismo.  | Direccionar la muestra de acuerdo al isocinetismo del proceso.                                    | 1                |
| El equipo debe ser portátil y liviano (peso máximo 30 Kg) ya que será montado a gran altura por medio de una brida de 4" ubicada en la pared de la chimenea. | Peso máximo: 30 Kg.<br>Equipo desmontable, con interfaz de sujeción por medio de una brida de 4". | 1                |
| El equipo debe estar conectado a una fuente de 110 V CA.   | Energía Suministrada: 110V CA.  | 2                |
| Los gases tendrán una temperatura máxima de 200° C.  | Los elementos que estarán en contacto con el gas deben soportar al menos 200° C.                  | 1                |
| La temperatura ambiente oscila entre -5°C y 60°C.  | El equipo debe ser capaz de trabajar a entre -5° C y 60°C.  | 2                |
| La muestra dentro del contenedor no debe condensarse.  | La temperatura del contenedor nunca debe ser inferior a la temperatura de rocío de la muestra.    | 2                |

Se sabe que todas las necesidades del cliente son importantes para poder desarrollar el dispositivo de muestreo, sin embargo, es importante definir la importancia que tienen cada una dentro del proceso de diseño. Para así poder enfocar mejor los esfuerzos durante el mismo. La Tabla 1 indica la importancia de cada necesidad, donde las necesidades primaras están identificadas con el número 1 y las secundarias con el número 2.

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 1 se determinan las especificaciones preliminares del dispositivo de muestro isocinético. Las cuales son presentadas a continuación:

### **Especificaciones preliminares**

- Dispositivo portátil de fácil montaje/desmontaje, mediante brida de 4"
- Porcentaje de variación de isocinetismo requerido:  $\pm 10\%$
- Válvulas automáticas para direccionar la muestra
- Interfaz de sujeción por brida
- Energía suministrada: 110 V CA
- Peso máximo: 30 Kg
- Las piezas en contacto con la muestra deben ser capaces de soportar al menos 200°C
- La temperatura del contenedor debe ser superior a la de rocío.
- El equipo debe ser capaz de trabajar con una temperatura ambiente que oscile entre -5° y 60° C

### **4.2 Recopilación de información**

#### **Sistemas de extracción**

Existen tres tipos de sistemas para el análisis de emisiones en fuentes fijas:

- Sistemas de extracción: cuya interfaz consiste en un sistema diseñado para extraer la muestra y acondicionarla antes de ingresar al analizador.
- Sistemas in-situ: compuestas por un sistema de bridas las cuales soportan tanto al monitor como al extractor con el objetivo de minimizar la interferencia

del material en suspensión. Estos realizan la medición dentro de la fuente generadora de emisiones.

- Sistemas de medición remota: en efecto el equipo no tiene ninguna interfaz entre el gas de la fuente y el sistema de medición.

Dentro de los sistemas de extracción existen dos tipos básicos:

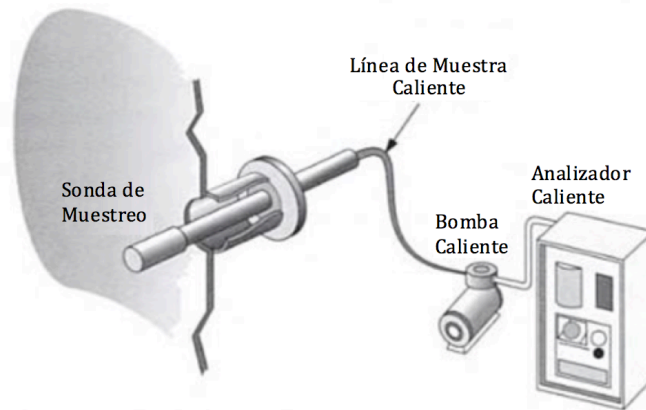
- Sistemas de extracción a nivel de la fuente
- Sistemas de dilución

Los requerimientos del cliente definen que el sistema propuesto debe realizar la extracción al nivel de la fuente, estos sistemas remueven el gas directamente del ducto, filtran las partículas (en caso de que sea requerido) y transporta el gas para el análisis. Dentro de esta familia existen tres tipos de sistemas disponibles comercialmente:

- Sistemas caliente - húmedo
- Sistemas frío - seco con acondicionamiento en la sonda de muestreo
- Sistemas frío - seco con acondicionamiento en el receptáculo del sistema de análisis

Los sistemas de extracción más simples son los sistemas caliente - húmedo, utilizan una línea caliente para transportar el gas hasta un analizador el cual incorpora una celda de muestreo calentada por encima de la temperatura del gas transportado (Figura 5). El gas se entrega caliente y húmedo. Esta técnica es requerida cuando los valores se deben reportar en base húmeda, debido a que no se retira el agua de la muestra de gas, existen ciertos problemas asociados a la condensación del gas. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en mantener la temperatura de la muestra por encima del punto de rocío desde la sonda hasta llegar al analizador.

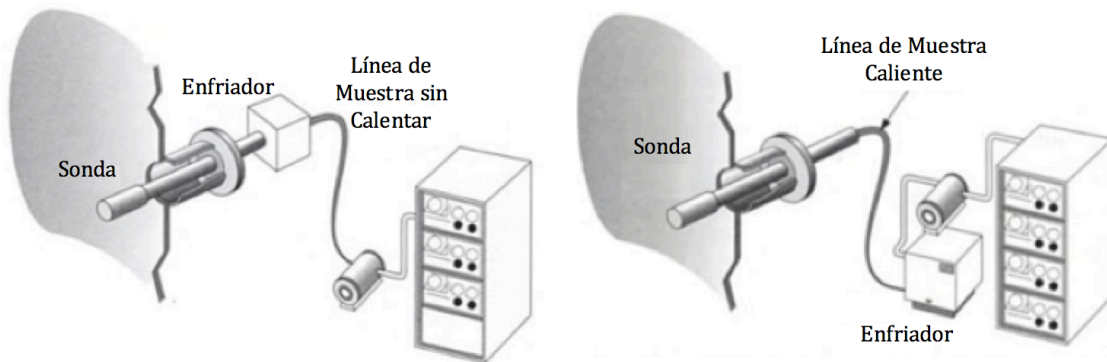
Si el sistema de calefacción falla, fácilmente se condensará la humedad presente en el gas, lo cual puede derivar en corrosión o daños al analizador.



**Figura 5. Sistema caliente – húmedo.**  
(Jahnke, 1992)

Por otro lado, los sistemas frío – seco acondicionan la muestra antes de que ingrese al analizador, es decir se baja la temperatura del gas hasta la temperatura ambiente y se retira la humedad. De modo que la muestra queda fría y seca. Dicho acondicionamiento puede ser realizado en la sonda de muestreo o antes de ingresar al analizador.

La ventaja de acondicionar la muestra en la sonda es que ya no se requiere de una línea caliente para transportar la muestra, sin embargo, realizar el acondicionamiento a la entrada del analizador brinda la ventaja de un monitoreo más sencillo para el operador, ver Figura 6. (Jahnke, 1992)



**Figura 6. Sistema frío – seco**  
(Jahnke, 1992)

### **Sistema de bombeo**

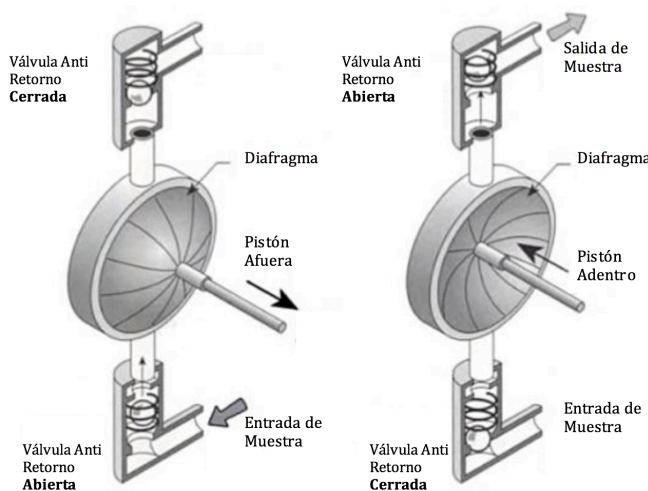
La bomba de muestreo es un elemento sumamente importante está encargada de transportar la muestra del ducto al analizador. La misma debe estar diseñada para

poder satisfacer la demanda del analizador de gases y no debe tener fugas de aire con el fin de evitar variaciones en la muestra. Los tipos de bombas más comunes para cumplir este propósito son las siguientes:

- Bomba de diafragma
- Bomba eyectora
- Bomba de pistones

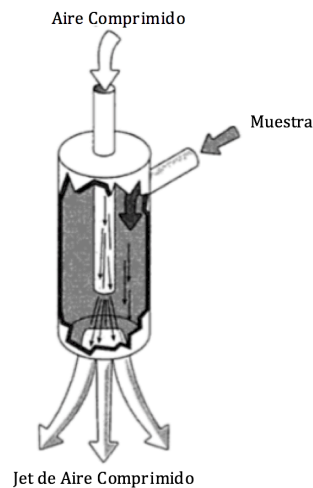
La bomba de diafragma funciona al accionar un pistón o una biela para mover el diafragma flexible, Figura 7, el diafragma es circular y puede estar construido de una placa metálica flexible, teflón, poliuretano o de otro tipo de elastómero. La acción oscilante del diafragma mueve el gas mediante pequeñas ráfagas. Cuando el diafragma es jalado el gas ingresa a través de la válvula de succión hacia la cavidad de la bomba. Cuando el diafragma es empujado se cierra la válvula de succión y se abre la de descarga, de esta forma el gas es desplazado hacia la línea de transporte. Debido a la forma constructiva de este tipo de bombas, se disminuye notablemente las posibilidades de contaminación de la muestra.

Este tipo de bombas pueden ser utilizadas antes del sistema de acondicionamiento de la muestra, incluso pueden ser operadas calientes. Sin embargo, las partículas presentes en la muestra y el ácido condensado pueden deteriorar considerablemente el diafragma lo cual podría llegar a ocasionar un deterioro prematuro del equipo.



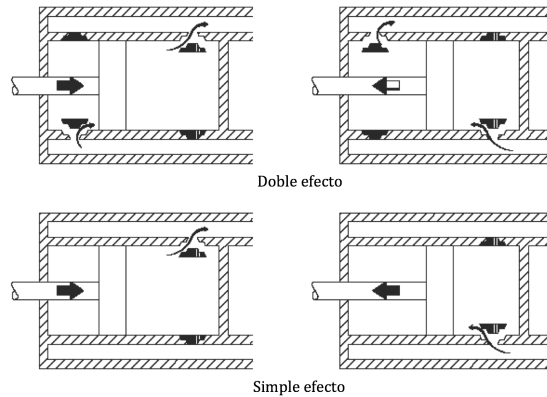
**Figura 7. Bomba de diafragma (Jahnke, 1992)**

La bomba eyectora funciona con el principio de Bernoulli al crear vacío dentro del sistema de muestreo, Figura 8. El principio se basa en generar una diferencia de presiones por medio de un chorro de aire a presión, esta baja de presión sirve para succionar la muestra de gas por medio de la sonda. Si se aumenta la velocidad del chorro de aire aumenta la presión de vacío generada, usualmente se utiliza aire filtrado para realizar esta operación, (Jahnke, 1992).



**Figura 8. Bomba eyectora.**  
(Jahnke, 1992)

Las bombas de pistón, al igual que las de diafragma, se encuentran dentro de la categoría de bombas de desplazamiento positivo por accionamiento recíproco. Entregan un volumen dado por cada ciclo de operación, el funcionamiento de este tipo de bombas consiste en el desplazamiento recíproco de un pistón dentro de un cilindro. A medida que el pistón se mueve hacia fuera, se incrementa el volumen disponible en el cilindro y el fluido ingresa a través de la válvula unidireccional, mientras que al mover el pistón hacia adentro decrece el volumen disponible y el fluido es expulsado por la válvula de salida. Las fluctuaciones en la velocidad de bombeo se pueden reducir al utilizar bombas de doble efecto o al utilizar más de un pistón durante el proceso de bombeo. La Figura 9 presenta el esquema de funcionamiento tanto de las bombas de pistón de efecto simple como de doble efecto, (The Editors of Encyclopædia Britannica, 2002).



**Figura 9. Bombas de pistones  
(Engineers Edge, 2000)**

La Tabla 2 presenta las principales características de las bombas utilizadas en los equipos de muestro isocinético.

**Tabla 2  
Bombas comerciales  
(Apex Instruments, 2002) (CleanAir, 2016)**

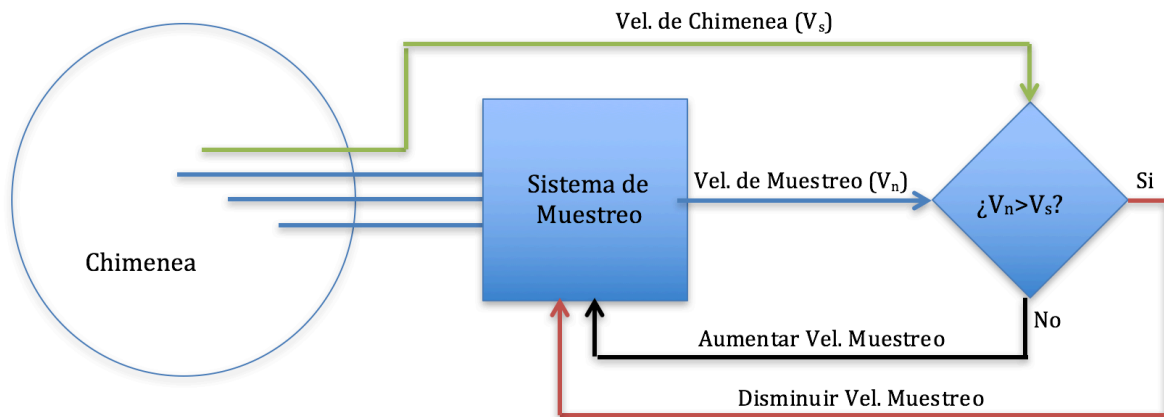
| Modelo      | Marca            | Tipo de Bomba     | Potencia | RPM  | Peso [Kg] | Flujo Mayor [CFM] | Flujo Menor [CFM] | cm <sup>3</sup> /revolución Flujo Mayor | cm <sup>3</sup> /revolución Flujo Menor |
|-------------|------------------|-------------------|----------|------|-----------|-------------------|-------------------|---|---|
| E-0523      | Apex Instruments | Paletas rotativas | 1/4 Hp   | 1725 | 16        | 3.1 @ 1" Hg       | 1.5 @ 15" Hg      | 50,89                                   | 24,62                                   |
| 0523 SERIES | Clean Air        | Paletas rotativas | 1/4 Hp   | 1725 | ND        | No disponible     | 2 @ 15" Hg        | No disponible                           | 32,83                                   |
| XE-DAA      | Apex Instruments | Doble Diafragma   | 1/2 Hp   | ND   | 14        | 2.9 @ 1" Hg       | 1.4 @ 15" Hg      | No disponible                           | No disponible                           |

### 4.3 Generación de conceptos

La metodología utilizada para el proceso de generación de conceptos, corresponde a la descomposición de funciones, (Dieter & Schmidt, Engineering Design, 2009).

Se utiliza esta metodología debido a que permite trabajar con los niveles básicos funcionales, analizando el problema desde diversos ángulos sin enfrascarse en una solución previamente idealizada. Como paso previo a la descomposición funcional se realiza una esquematización del proceso, para así identificar los subsistemas involucrados (Figura 10).





**Figura 10. Esquemización del proceso**

Con base en el esquema mostrado en la Figura 10 y al análisis a la norma NMX-AA-010-SCFI-2001, se procede a identificar los distintos subsistemas que componen un dispositivo de muestreo isocinético. Los mismos son presentados a continuación:

- Subsistema de sujeción
- Subsistema extracción
- Subsistema potencia
- Subsistema control

**Subsistema de sujeción**

Está encargado de sujetar tanto el sistema de extracción como los componentes del sistema de medición a la chimenea.

**Subsistema de extracción**

Encargado de extraer los gases de la chimenea. Dicho sistema debe garantizar que la muestra obtenida no es contaminada por agentes externos, así como debe ser auto limpiante para evitar la acumulación de partículas en su interior.

**Subsistema de potencia**

Está encargado de alimentar al actuador que acciona el subsistema de extracción.

**Subsistema de control**

Encargado de regular la velocidad de succión de acuerdo a la velocidad del gas dentro de la chimenea.

Una vez identificados los subsistemas involucrados se procede a desarrollar la descomposición funcional del dispositivo, partiendo del modelo de caja negra propuesto en la Figura 11.

El objetivo de la descomposición funcional es determinar las funciones elementales, que nos permite llevar a cabo las acciones planteadas en el modelo de caja negra.

La Figura 12 presenta el resultado obtenido de la descomposición funcional, como se puede observar la misma contiene todas las funciones necesarias para satisfacer las necesidades del cliente, el subsistema de sujeción no es considerado dentro de la descomposición funcional ya que los requerimientos especifican que debe realizarse por medio de una brida de 4". A continuación, se detallan cada una de las funciones y la relación entre éstas.

### **Acondicionar**

Función encargada de acondicionar la energía eléctrica de entrada y entregarla a la función "*convertir energía*". La misma tiene dos entradas, por un lado, energía eléctrica la cual es suministrada por la red de distribución de la instalación y por otro una señal de control la cual es generada por la función "*procesar información*". Así mismo, tiene como salida la potencia regulada en forma de energía eléctrica.

### **Convertir energía**

Esta función tiene como objetivo convertir la energía eléctrica entregada por la función "*acondicionar*" en energía mecánica. Como se puede apreciar, en la Figura 11, tiene como entrada energía eléctrica y como salida energía mecánica.

### **Reducir – acoplar**

El objetivo de esta función es acondicionar la energía mecánica entregada por la función "*convertir energía*" y permitir el acoplamiento entre el sistema que desarrolla esta función y el dispositivo que realiza la función de "*convertir movimiento*". Tiene como entrada energía mecánica entregada por la función "*convertir energía*" y como salida energía mecánica acondicionada, la cual sirve como entrada para las funciones "*convertir movimiento*" y "*sensar velocidad – muestra*".

### **Convertir movimiento**

La entrada de esta función es la energía mecánica proporcionada por la función descrita líneas arriba y está encargada de transformar la misma en otro tipo de energía mecánica. Por lo tanto, la salida de dicha función es energía mecánica, en la Figura 12 se puede ver como dicha salida sirve como entrada para la función "*generar vacío*".

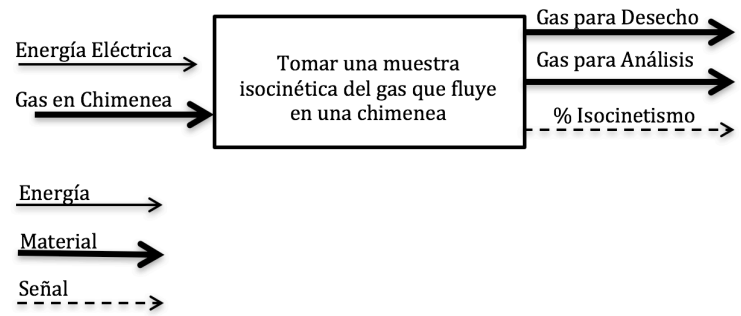


Figura 11. Modelo de caja negra

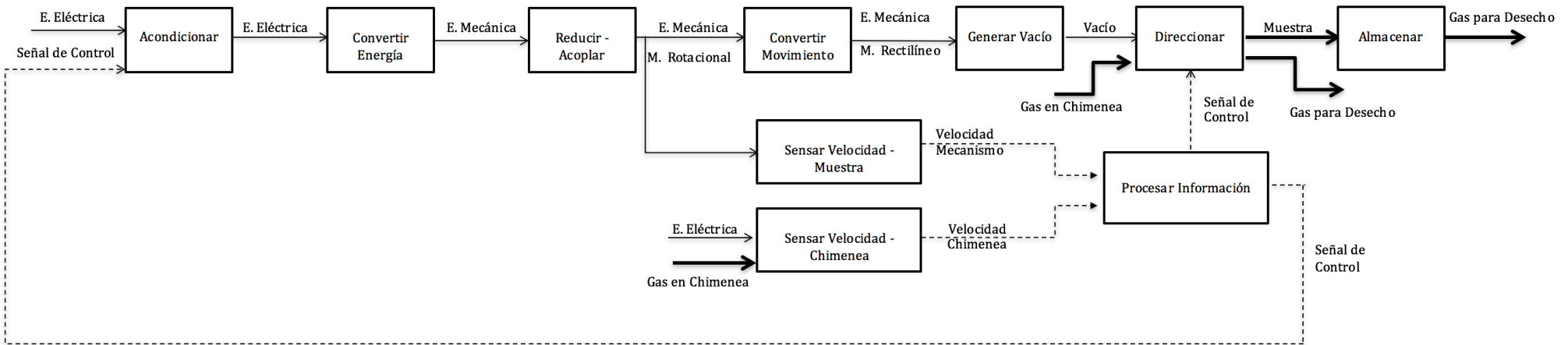


Figura 12. Descomposición funcional

### **Generar vacío**

Esta función tiene como objetivo generar el vacío necesario para captar la muestra de gas que corre por la chimenea, dicha generación es realizada por medio de la transformación de energía mecánica entregada por la función de “*convertir movimiento*”. La salida de esta función corresponde el vacío generado y sirve como entrada para la siguiente función.

### **Direccionar**

La función tiene como objetivo captar la muestra de gas que circula por la chimenea y permitir el paso de la misma hacia la cámara de volumen conocido. La misma tiene tres entradas: Energía en forma de vacío, el gas que circula por la chimenea y por último la señal de porcentaje de isocinetismo, entregada por la función “*procesar información*”. Como se puede apreciar en la Figura 12, esta función tiene dos salidas, una de los gases para desecho (los cuales se generan cuando los valores de isocinetismo no son aceptables) y otra de la muestra hacia la función de almacenar (esta salida se genera cuando el valor de isocinetismo está dentro del margen aceptado).

### **Almacenar**

Esta función tiene como objetivo almacenar la muestra, para ser posteriormente analizada por el Sistema de Análisis. La entrada para esta función corresponde a la muestra obtenida por “*direccionar*” y tiene como salida la muestra para análisis la cual ingresa al sistema de análisis.

### **Sensar velocidad – muestra**

Como se aprecia en la Figura 12, esta función tiene como entrada la energía mecánica entregada por la función de “*reducir –acoplar*” y transforma la misma en una señal la cual es interpretada como velocidad del mecanismo generador de vacío. Dicha señal se considera la salida de la función.

### **Sensar velocidad – chimenea**

Esta función tiene dos entradas, por un lado, energía eléctrica y por otro el gas que corre dentro de la chimenea. El objetivo de la misma es obtener la velocidad de dicho gas, por lo cual tiene como salida la señal de velocidad del gas que corre por la chimenea y los gases para desecho.

## Procesar información

Para facilitar la comprensión de la presente función se presenta la Figura 13, la cual representa las sub-funciones que contempla la misma. Como se puede apreciar la función “procesar información” tiene como entradas las señales “velocidad mecanismo” y “velocidad chimenea”. A su vez, la primera sirve como entrada para la sub-función “convertir velocidad”, la cual está encargada de interpretar la señal generada para poder así obtener la velocidad con la cual la muestra es absorbida. Una vez obtenida la señal “velocidad muestra” esta es contrastada con la señal de entrada “velocidad chimenea”, la cual entrega el valor de la velocidad con la cual fluye el gas dentro de la chimenea. Dichas señales sirven como entrada para la sub-función “comparar velocidad”, la cual está encargada de verificar si se cumple o no el isocinetismo de la muestra obtenida y en función a dicho resultado se procede a generar la “señal de control” requerida para garantizar el isocinetismo especificado. La señal de salida generada por esta función sirve de entrada para las funciones “direccionar” y “acondicionar”.



*Figura 13. Sub-funciones “procesar información”*

### 4.4 Evaluación de conceptos

A continuación, se presentan una serie de alternativas para desarrollar cada función, así como una breve descripción de las mismas. Para seleccionar la mejor opción se utiliza el método de escalas de medición, el cual requiere de una escala ordinal en la cual los criterios de comparación son ordenados según su rango de importancia y tienen como objetivo comparar, de dos en dos, las alternativas bajo cada criterio de diseño seleccionado. De este modo se obtiene la alternativa que satisfaga de mejor manera la función analizada, (Dieter & Schmidt, Engineering Design, 2009).

## **Acondicionar**

Para satisfacer la función de acondicionar la energía eléctrica se plantean las siguientes alternativas:

- Modulación de ancho de pulso (PWM)
- Variador de frecuencia

Modulación de ancho de pulso (PWM): Esta técnica permite modificar el periodo de trabajo de una fuente de señal, regulando la cantidad de energía que se entrega a la carga. De este modo podemos variar la velocidad de un motor de corriente continua (DC).

Variador de frecuencia: Convierte la frecuencia fija suministrada por la fuente en una salida de voltaje y frecuencia variable. Esto permite controlar la velocidad de un motor de corriente alterna (AC). Un variador de frecuencia ahorra energía, reduce el shock mecánico y permite al usuario un control continuo sobre la velocidad del motor, (Basics of AC Drives, Siemens, 2016).

La selección depende de la alternativa seleccionada para satisfacer la siguiente función, por lo tanto, esta dictara la alternativa a ser utilizada para satisfacer la función "acondicionar".

## **Convertir energía**

Con el fin de convertir la energía eléctrica entregada por la función anterior en energía mecánica se proponen las siguientes alternativas:

- Motor DC
- Motor AC

Un motor es una máquina destinada a transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Una señal eléctrica es aplicada en la entrada del motor y como salida el motor produce un torque determinado en función a las características del motor.

Motor DC: Precisan una fuente de corriente continua, o un dispositivo que convierta la corriente alterna en continua. Pueden funcionar con velocidad ajustable, entre amplios límites y se prestan a controles de gran flexibilidad y precisión, (WEG, 2015).

Ventajas:

- Modelado dinámico más sencillo
- Velocidad ajustable con gran facilidad

- Control preciso y flexible

Desventajas:

- Costo elevado cuando se requieren grandes potencias
- Requieren un rectificador de señal

Motor AC: Son los más utilizados, debido a que normalmente la distribución de energía eléctrica es hecha en corriente alterna. Dentro de esta categoría los principales son los siguientes.

Motor síncrono: Funciona con velocidad fija, o sea, sin interferencia del deslizamiento; utilizado normalmente para grandes potencias (debido a su alto costo en tamaños menores).

Motor de inducción: Funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez y bajo costo, es el motor más utilizado de todos, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas accionadas, encontradas en la práctica. Actualmente es posible el control de la velocidad de los motores de inducción con el auxilio de convertidores de frecuencia, (WEG, 2015).

Ventajas:

- Mejor relación costo – potencia para motores grandes
- No requieren rectificador de señal para su funcionamiento

Desventajas:

- Modelado matemático más complejo
- El equipo requerido para el control es más costoso que el que requieren los motores DC.

Los criterios de selección determinados para la selección del tipo de motor a ser utilizado son los siguientes:

- Facilidad de modelado del dispositivo
- Facilidad de controlar la velocidad
- Facilidad de instalación

Los resultados obtenidos del análisis se presentan en las Tablas 3, 4 y 5.

**Tabla 3**  
*Modelado – convertir energía*

|          | Motor DC | Motor AC | Total |
|----------|----------|----------|-------|
| Motor DC | ---      | 1        | 1     |
| Motor AC | 0        | ---      | 0     |

**Tabla 4**  
*Velocidad – convertir energía*

|          | Motor DC | Motor AC | Total |
|----------|----------|----------|-------|
| Motor DC | ---      | 1        | 1     |
| Motor AC | 0        | ---      | 0     |

**Tabla 5**  
*Instalación – convertir energía*

|          | Motor DC | Motor AC | Total |
|----------|----------|----------|-------|
| Motor DC | ---      | 0        | 0     |
| Motor AC | 1        | ---      | 1     |

La Tabla 6 presenta el resumen del análisis realizado.

**Tabla 6**  
*Selección – convertir energía*

|          | Modelado | Velocidad | Instalación | Total |
|----------|----------|-----------|-------------|-------|
| Motor DC | 1        | 1         | 0           | 2     |
| Motor AC | 0        | 0         | 1           | 1     |

Como se aprecia en la Tabla 6 el dispositivo que cumple mejor con los criterios de selección es el motor DC. Por lo tanto, se determina utilizar dicha alternativa para cumplir con la función de convertir energía. Esto a su vez define la alternativa que cumplirá con la función de controlar la velocidad, en este caso se debe utilizar un PWM.

### **Reducir – acoplar**

Con el objetivo de satisfacer la función se proponen las siguientes alternativas:

- Caja Reductora (CR)
- Correas de Transmisión (CT)



Caja Reductora: La caja reductora es un dispositivo para reducir o aumentar la velocidad entregada por un eje y transmitirla hacia otro. El eje de entrada se acopla al eje del motor y por medio de una serie de engranes se transmite el torque hacia el eje de salida, la relación entre dichos engranes determina la relación de velocidades entre la entrada y a salida del dispositivo. Dichos engranes suelen estar instalados dentro de un baño de aceite, el cual garantiza la correcta lubricación de los mismos. A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de este dispositivo.

Ventajas:

- Bajo mantenimiento
- No existe deslizamiento
- Compactas

Desventajas:

- Generan mucho ruido durante la operación
- Peso elevado debido a la gran cantidad de componentes

Correas de Transmisión: Este sistema de transmisión se basa en las fuerzas de fricción para transmitir la potencia de un eje a otro. Consta básicamente de un cinta o correa continua, la cual abraza a una serie de ruedas una de las cuales está unida al eje de entrada y otra al eje de salida. La presión con la cual las ruedas son abrazadas es la encargada de generar la fricción necesaria para generar la transmisión de potencia. A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de este método.

Ventajas:

- Funcionamiento silencioso
- Poco peso

Desventajas:

- Requiere de alineación cada vez que son montadas
- Pueden tener deslizamiento
- Requieren de mucho espacio para el montaje

Los criterios de diseño utilizados para seleccionar la mejor alternativa son los siguientes:

1. Mantenimiento
2. Espacio Requerido
3. Peso

**Tabla 7**  
*Mantenimiento - reducir / acoplar*

|    | CR  | CT  | Total |
|----|-----|-----|-------|
| CR | --- | 1   | 1     |
| CT | 0   | --- | 0     |

**Tabla 8**  
*Espacio requerido - reducir / acoplar*

|    | CR  | CT  | Total |
|----|-----|-----|-------|
| CR | --- | 1   | 1     |
| CT | 0   | --- | 0     |

**Tabla 9**  
*Peso - reducir/ acoplar*

|    | CR  | CT  | Total |
|----|-----|-----|-------|
| CR | --- | 0   | 0     |
| CT | 1   | --- | 1     |

En función a los resultados de las comparaciones se elaboran las Tablas 7, 8 y 9, la Tabla 10 presenta el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 10**  
*Selección - reducir / acoplar*

|    | Mantenimiento | Espacio Requerido | Peso | Total |
|----|---------------|-------------------|------|-------|
| CR | 1             | 1                 | 0    | 2     |
| CT | 0             | 0                 | 1    | 1     |

Como se aprecia en la Tabla 10, la alternativa que mejor satisface los criterios de selección propuestos es la Caja Reductora, ya que a pesar de ser más pesada que las correas de transmisión ocupa menos espacio y requiere de menos mantenimiento.

## **Convertir movimiento**

Las alternativas propuestas para satisfacer esta función son las siguientes:

- Biela – manivela (BM)
- Piñón – cremallera (PC)
- Eje excéntrico – biela (EE)

Biela – manivela: El mecanismo permite convertir el movimiento giratorio continuo de un eje en uno lineal alternativo al pie de la manivela o viceversa, convirtiéndolo en un sistema ampliamente utilizado en la industria. Este sistema puede ser encontrado en los motores a combustión, en las máquinas de coser y compresor de pistón por nombrar algunas de sus aplicaciones, (MecanESO, 2005).

La forma de trabajo de este mecanismo permite el cambio brusco de dirección sin mayores inconvenientes, ya que por su principio de funcionamiento el movimiento lineal obtenido es alternativo.

Piñón – cremallera: Este mecanismo permite convertir el movimiento rotacional en lineal o viceversa, aunque generalmente solo es utilizado para convertir el movimiento rotacional en lineal. Es comúnmente utilizado en aplicaciones que requieren de movimientos lineales de gran precisión como es el caso de los microscopios, (MecanESO, 2005).

Debido a que el mecanismo deberá realizar cambios bruscos y contantes de dirección este sistema podría llegar a sufrir daños en los dientes de la cremallera o del piñón.

Eje excéntrico - Biela: El sistema de eje excéntrico tiene el mismo principio de funcionamiento que el de Biela – Manivela, solo que en lugar de utilizar una biela se utiliza un disco conectado al eje de giro el cual tiene un eje excéntrico. De esta forma el eje excéntrico acciona la biela y produce de esta forma el movimiento lineal alternativo.

Se utilizó la metodología de las escalas de medición para determinar cuál es la solución más adecuada para llevar a cabo la función de “convertir movimiento”. Para esto se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Peso
2. Cambio de dirección
3. Mantenimiento

**Tabla 11**  
*Peso – convertir movimiento*

|           | <b>BM</b> | <b>PC</b> | <b>EE</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BM</b> | ---       | 0         | 1         | 1            |
| <b>PC</b> | 1         | ---       | 1         | 2            |
| <b>EE</b> | 0         | 0         | ---       | 0            |

**Tabla 12**  
*Cambio de dirección – convertir movimiento*

|           | <b>BM</b> | <b>PC</b> | <b>EE</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BM</b> | ---       | 1         | 0         | 1            |
| <b>PC</b> | 0         | ---       | 0         | 0            |
| <b>EE</b> | 0         | 1         | ---       | 1            |

**Tabla 13**  
*Mantenimiento - convertir movimiento*

|           | <b>BM</b> | <b>PC</b> | <b>EE</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BM</b> | ---       | 1         | 1         | 2            |
| <b>PC</b> | 0         | ---       | 0         | 0            |
| <b>EE</b> | 0         | 1         | ---       | 1            |

Los resultados del análisis se encuentran en las Tablas 11, 12 y 13.

**Tabla 14**  
*Selección - convertir movimiento*

|           | <b>Peso</b> | <b>DC</b> | <b>Mantenimiento</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-------------|-----------|----------------------|--------------|
| <b>BM</b> | 1           | 1         | 2                    | 4            |
| <b>PC</b> | 2           | 0         | 0                    | 2            |
| <b>EE</b> | 0           | 1         | 1                    | 2            |

La Tabla 14 presenta el resumen de los resultados obtenidos, como se puede apreciar en la misma, la alternativa más adecuada para desempeñar la función es la “biela-manivela”. A pesar de que este puede llegar a ser más pesado que el arreglo “piñón – cremallera” la facilidad que tiene para realizar el cambio de dirección le da una ventaja sustancial.

## **Generar vacío**

Las alternativas analizadas para satisfacer esta función son las siguientes:

- Bomba de paletas rotativas (BR)
- Bomba de inyección (BI)
- Bomba de pistón (BP)
- Bomba de diafragma (BD)

**Bomba de paletas rotativas:** Las bombas de vacío con paletas rotativas tiene una estructura técnica simple, permitiendo un alto nivel de vacío en funcionamiento continuo, (Bush Group, s.f.).

La ventaja de este tipo de bombas es que permiten obtener un alto nivel de vacío cuando se trabaja de forma continua, sin embargo, si se quiere trabajar con bombas libres de lubricación se deben utilizar paletas fabricadas con materiales auto lubricantes.

**Bomba de inyección:** Esta bomba funciona bajo el principio de Bernoulli, utiliza aire a presión con el fin de generar un chorro de aire el cual a su vez genera un vacío el cual fuerza a la muestra a ingresar por la boquilla de aspiración. La desventaja de este método es que el volumen que ingresa a la muestra se mezcla con el aire a presión que es inyectado, por lo tanto, no es factible para el tipo de análisis que se desea desarrollar, (Jahnke, 1992).

**Bomba de pistón:** El principio de funcionamiento de las bombas de pistones se basa en el movimiento alternativo de un cilindro, el cual cuenta con un sistema de válvulas las cuales permiten el ingreso y la salida de los gases a la cámara. La ventaja de este sistema es que dicha cámara podría ser utilizada como cámara de análisis, sin embargo, el cilindro del pistón deberá estar construido de un material auto lubricante para disminuir la posibilidad de contaminar la muestra.

**Bomba de diafragma:** Un diafragma flexible es accionado por el vástago de un pistón, el cual mediante un movimiento oscilatorio mueve el aire mediante pequeñas ráfagas. Como fue descrito en secciones anteriores la gran ventaja de este tipo de bombas es que no requieren de lubricantes, en el diafragma, por lo cual la posibilidad de contaminación externa se reduce notablemente.

Los criterios para evaluar las alternativas antes mencionadas se tienen los siguientes criterios de diseño:

1. Riesgo de contaminación (RC)
2. Control de volumen (CV)
3. Continuidad de flujo (CF)

No se tomará en cuenta la bomba de inyección ya que la misma no es una solución viable para el problema que se desea solucionar.

**Tabla 15**  
*Riesgo de contaminación - generar vacío*

|           | <b>BR</b> | <b>BP</b> | <b>BD</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BR</b> | ---       | 0         | 0         | 0            |
| <b>BP</b> | 0         | ---       | 0         | 0            |
| <b>BD</b> | 1         | 1         | ---       | 2            |

**Tabla 16**  
*Control de volumen - generar vacío*

|           | <b>BR</b> | <b>BP</b> | <b>BD</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BR</b> | ---       | 0         | 0         | 0            |
| <b>BP</b> | 1         | ---       | 1         | 2            |
| <b>BD</b> | 1         | 0         | ---       | 1            |

**Tabla 17.-**  
*Continuidad de flujo - generar vacío*

|           | <b>BR</b> | <b>BP</b> | <b>BD</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BR</b> | ---       | 1         | 1         | 0            |
| <b>BP</b> | 0         | ---       | 0         | 2            |
| <b>BD</b> | 0         | 0         | ---       | 1            |

Las Tablas 15, 16 y 17 presentan los resultados obtenidos durante las comparaciones respectivas, mientras que la Tabla 18 es un resumen de los resultados expuestos en estas últimas.

**Tabla 18**  
*Selección – generar vacío*

|           | <b>RC</b> | <b>CV</b> | <b>CF</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>BR</b> | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>BP</b> | 0         | 2         | 2         | 4            |
| <b>BD</b> | 2         | 1         | 1         | 4            |

Considerando que el criterio de diseño de control de volumen tiene más peso que el de Continuidad de Flujo y con base a los resultados obtenidos en la Tabla 19, se determina analizar tanto las bombas de diafragma, como las de pistón considerándolas posibles alternativas para llevar a cabo la función de “generar vacío”.

### **Direccional**

Para llevar a cabo esta función se presentan las siguientes opciones de apertura de válvulas:

- Accionadas por árbol de levas
- Accionada por solenoide

Accionadas por árbol de levas: Este tipo de válvulas de admisión son ampliamente utilizadas en la industria automotriz, ya que el funcionamiento de los motores a combustión requiere de puntos precisos de admisión y expulsión para su correcto funcionamiento. En algunos casos la apertura y cierre de las mismas se puede atrasar o adelantar un poco para ajustarse mejor al requerimiento de potencia. El mecanismo que acciona las mismas es un árbol de levas el cual se encuentra sincronizado con el cigüeñal, (Ugalde, 2007).

Ventajas:

- Sistema confiable y ampliamente utilizado
- Permite una ligera regulación de los tiempos de apertura y cierre

Desventajas:

- Los ciclos de apertura y cierre son periódicos, impidiendo de este modo el control preciso de la admisión de la muestra

Accionadas por solenoide: La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas

motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo, aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula, (IMCOSA, 2013).

Ventajas:

- Permite controlar con precisión la apertura y el cierre de la válvula.

Se determinó como alternativa de solución las válvulas accionadas por solenoide, ya que estas permiten realizar un control preciso del paso de la muestra de acuerdo a la señal de entrada que tiene la función.

### **Almacenar**

Con el fin de satisfacer dicha función se plantean dos posibles alternativas:

- Parte del sistema de vacío
- Externa al sistema de vacío

Parte del sistema de vacío: Esta opción hace referencia a unir la cámara de volumen conocido y el sistema de vacío en un solo elemento, esta opción puede ser implementada en las bombas de pistones.

Externa al sistema de vacío: En esta ocasión se propone utilizar una cámara de volumen conocida ajena al sistema de vacío, dicha opción puede ser más viable en sistemas de vacío que trabajen de forma continua.

Ambas serán consideradas durante el proceso de generación de alternativas de solución.

### **Sensar velocidad muestra**

La función de sensar la velocidad de la muestra se realizará de manera indirecta, es decir se calculará la velocidad del mecanismo y por medio de un análisis del mismo se obtendrá la velocidad a la cual ingresa la muestra al sistema de admisión. Para satisfacer dicha función se analizan las siguientes alternativas:

- Encoder (EN)
- Sensor inductivo (SI)
- Sensor capacitivo (SC)



*Encoder*: Es un transductor rotativo el cual transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o lineal, si se asocian a cremalleras o husillos. Las principales aplicaciones de estos transductores están en las maquinas herramienta o de elaboración de materiales, en los robots, en los sistemas de motores, en los aparatos de medición y control, (Eltra, 2000).

La ventaja de este sistema respecto a los otros que serán analizados radica en que este permite la ubicación exacta del mecanismo al momento de realizar la medición. La desventaja es que al ser un dispositivo óptico se debe tomar en cuenta la atmosfera de trabajo, ya que en caso de ser expuesto a atmosferas con mucho polvo sin contar con la protección adecuada podría llegar a interferirse la lectura.

*Sensor inductivo*: Puede detectar objetos metálicos que se acercan al sensor, sin tener contacto físico con los mismos. Los sensores de proximidad inductivos se clasifican más o menos en los siguientes tres tipos, de acuerdo con su principio de funcionamiento: el tipo de oscilación de alta frecuencia que utiliza la inducción electromagnética; el tipo magnético que emplea un imán; y el tipo de capacitancia que aprovecha los cambios en la capacidad eléctrica, (Keyence, 2017).

Los sensores inductivos tienen una gran cantidad de aplicaciones en la industria, entre las cuales se encuentra la medición de velocidades, la cual se realiza con la ayuda de una rueda dentada la cual sirve para contabilizar las RPM (revoluciones por minuto) de un eje.

*Sensor capacitivo*: Al igual que los sensores inductivos estos tienen la capacidad de detectar sin contacto, pero con la capacidad de detectar cualquier tipo de material debido a que su funcionamiento se basa en la detección de cambios de la capacidad eléctrica cuando se aproxima el material.

Para la selección de la mejor alternativa se procede a utilizar la misma metodología que en casos anteriores, para lo cual se definieron los siguientes criterios de diseño:

1. Precisión
2. Versatilidad

**Tabla 19**  
*Precisión - sensar velocidad muestra*

|    | EN  | SI  | SC  | Total |
|----|-----|-----|-----|-------|
| EN | --- | 1   | 1   | 2     |
| SI | 0   | --- | 0   | 0     |
| SC | 0   | 0   | --- | 0     |

**Tabla 20**  
*Versatilidad - sensar velocidad muestra*

|    | EN  | SI  | SC  | Total |
|----|-----|-----|-----|-------|
| EN | --- | 1   | 1   | 2     |
| SI | 0   | --- | 0   | 0     |
| SC | 0   | 1   | --- | 1     |

Los resultados presentados en las Tablas 19 y 20 fueron compilados en la siguiente tabla.

**Tabla 21**  
*Selección - sensar velocidad muestra*

|    | Precisión | Versatilidad | Total |
|----|-----------|--------------|-------|
| EN | 2         | 2            | 4     |
| SI | 0         | 0            | 0     |
| SC | 0         | 1            | 1     |

Como se puede observar en la Tabla 21, el *encoder* representa la mejor alternativa para llevar a cabo la función de “sensar velocidad muestra”.

### **Sensar velocidad chimenea**

Según la norma NMX-AA-009-1993-SCFI, esta función debe ser llevada a cabo por un tubo de Pitot tipo S junto con un transductor de presión. A continuación, se presenta una descripción de dichos elementos.

**Tubo de Pitot:** Este instrumento nos permite calcular la velocidad de un fluido en un punto específico dentro de una tubería. Para poder realizar dicho cálculo se utiliza el siguiente principio. Cuando un fluido se detiene, porque encuentra un objeto estacionario, se crea una presión mayor que la de la corriente del fluido. La magnitud

de dicho incremento se relaciona con la velocidad del fluido en movimiento, dicha relación se encuentra dada por la ecuación de energía, (Mott, 2006).

Transductor de presión: Es un transductor que convierte presión en una señal eléctrica analógica. La conversión de presión en una señal eléctrica se logra mediante la deformación física de medidores de tensión que están unidos al diafragma del transductor de presión y cableados a una configuración de puente de *Wheatstone*. La presión aplicada produce una deflexión del diafragma que introduce tensión en los calibradores, de este modo la tensión produce un cambio en la resistencia eléctrica proporcional a la presión, (OMEGA, 2017).

### **Procesar información**

Para poder satisfacer la función se utilizará un sistema que nos permitirá procesar toda la información captada por las funciones previas y así implementar una acción en base al análisis de la misma. Las opciones analizadas son las siguientes:

- Microcontrolador PIC (*Peripheral Interface Controller*)
- Arduino (AR)
- *Raspberry Pi* (RP)

Microcontrolador PIC: Estos microcontroladores son fabricados por *Microchip Technology Inc.* Existe una gran gama de familias, cada una con prestaciones diferentes las cuales permiten su uso en diferentes áreas. A diferencia de los otros sistemas analizados estos requieren de muchos elementos para su puesta en marcha, por otro lado, requiere de muchos comandos para realizar las tareas lo cual se puede complicar al momento de llevar a cabo funciones demasiado complejas.

Arduino: Es una plataforma para la creación de prototipos de código abierto basada en hardware y software de fácil uso. Las placas Arduino son capaces de leer entradas como la luz que incide en un sensor, un dedo presionando un botón o un mensaje de Twitter y convertir esta entrada en una salida como la activación de un motor, encender un LED o publicar algo en internet. Uno es capaz de decirle a la placa que tiene que hacer al enviar una serie de instrucciones al microcontrolador que se encuentra en la misma. Para realizar esto se utilizan el lenguaje de programación Arduino (basado en *Wiring*) y el *software* Arduino (IDE), basado en *Processing*, (Arduino, 2016).

Dentro de las ventajas de esta placa podemos resaltar el idioma de programación, el cual nos permite realizar las tareas con una cantidad de líneas de código considerablemente menor comparando con los PIC. Por otro lado, el montaje de los elementos es más sencillo ya que únicamente los sensores deberán ser acoplados a la placa, debido a que esta incluye todos los elementos necesarios para su funcionamiento.

*Raspberry Pi*: Las *Raspberry Pi* son pequeñas computadoras del tamaño de una tarjeta de crédito las cuales brindan una gran capacidad de computo a un muy bajo costo, el modelo *Raspberry Pi 3* tiene un procesador de 1.2 Ghz 64-bit de cuatro núcleos y una memoria RAM de 1GB. Cuentan con hasta 26 pines de uso general para entrada/salida, lo cual permite una fácil interacción entre la computadora e interfaces externas.

Para poder seleccionar la mejor alternativa se utilizará los siguientes criterios de diseño:

1. Complejidad de programación (CP)
2. Complejidad de montaje (CM)

**Tabla 22**  
*Complejidad de programación*

|     | PIC | AR  | RP  | Total |
|-----|-----|-----|-----|-------|
| PIC | --- | 0   | 0   | 0     |
| AR  | 1   | --- | 0   | 1     |
| RP  | 1   | 0   | --- | 1     |

**Tabla 23**  
*Complejidad de montaje*

|     | PIC | AR  | RP  | Total |
|-----|-----|-----|-----|-------|
| PIC | --- | 0   | 0   | 0     |
| AR  | 1   | --- | 0   | 1     |
| RP  | 1   | 0   | --- | 1     |

**Tabla 24**  
*Selección / procesamiento*

|     | CP | CM | Total |
|-----|----|----|-------|
| PIC | 0  | 0  | 0     |
| AR  | 1  | 1  | 2     |
| RP  | 1  | 1  | 2     |

La Tabla 24 agrupa los resultados obtenidos en las Tablas 22 y 23. Como se puede apreciar en la misma, tanto los dispositivos Arduino como las computadoras *Raspberry Pi* obtuvieron el mismo puntaje, por lo cual ambas alternativas serán consideradas para el análisis de configuraciones.

#### 4.5 Alternativas de solución

En función a los resultados obtenidos durante la evaluación se procede a desarrollar una tabla de alternativas, Tabla 25, la cual sirve de base para proceder con la generación de configuraciones. Las filas de dicha tabla representan las funciones a satisfacer y las columnas representan las alternativas propuestas.

**Tabla 25**  
*Tabla de combinaciones*

| Función              | Alternativa              |                    |
|----------------------|--------------------------|--------------------|
|                      | 1                        | 2                  |
| Acondicionar (A)     | PWM                      |                    |
| C. Energía (B)       | Motor DC                 |                    |
| Reducir Acoplar (C)  | Caja reductora           |                    |
| C. Movimiento (D)    | Biela-manivela           |                    |
| Generar Vacío (E)    | Bomba de Pistones        | Bomba de Diafragma |
| Direccionar (F)      | Accionado por solenoides |                    |
| Almacenar (G)        | Parte del sistema        | Externo            |
| S. Vel. Muestra (H)  | Encoder                  |                    |
| S. Vel. Chimenea (I) | Tubo de Pitot tipo S     |                    |
| Procesar Info. (J)   | Arduino                  | Raspberry Pi       |

A partir de la Tabla 25 se procede a plantear una serie de combinaciones con el objetivo de identificar posibles arreglos conceptuales, a continuación, se presentan las combinaciones propuestas. Las letras indican la función y el número la alternativa.

Configuración 1 (P1):

A1 - B1 - C1 - D1 - E1 - F1 - G1 - H1 - I1 - J1

Configuración 2 (P2):

A1 - B1 - C1 - D1 - E1 - F1 - G2 - H1 - I1 - J1

Configuración 3 (P3):

A1 - B1 - C1 - D1 - E2 - F1 - G2 - H1 - I1 - J1

Configuración 4 (P4):

A1 - B1 - C1 - D1 - E1 - F1 - G1 - H1 - I1 - J2

Configuración 5 (P5):

A1 - B1 - C1 - D1 - E1 - F1 - G2 - H1 - I1 - J2

Configuración 6 (P6):

A1 - B1 - C1 - D1 - E2 - F1 - G2 - H1 - I1 - J2

Una vez más el proceso de selección se basa en contrastar una a una las posibles configuraciones, respecto a los criterios de diseño planteados. La Tabla 26 presenta dichos criterios de diseño, los cuales son utilizados para determinar cuál de los prototipos es el más adecuado. Como se puede apreciar, los mismos se encuentran jerarquizados de acuerdo al impacto final considerando los requerimientos del cliente.

**Tabla 26**  
*Criterios de selección - combinaciones*

|           | <b>Criterio</b>                       | <b>Jerarquía</b> |
|-----------|---------------------------------------|------------------|
| <b>C1</b> | Continuidad de flujo                  | 1                |
| <b>C2</b> | Control de volumen                    | 2                |
| <b>C3</b> | Capacidad de almacenamiento (muestra) | 3                |
| <b>C4</b> | Peso                                  | 4                |
| <b>C5</b> | Velocidad de procesamiento de datos   | 5                |

Las Tablas 27 – 31 presentan los resultados del análisis correspondiente.

**Tabla 27**  
*Continuidad de flujo*

|           | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> | <b>P6</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>P1</b> | ---       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P2</b> | 1         | ---       | 0         | 1         | 0         | 0         | 2            |
| <b>P3</b> | 1         | 0         | ---       | 1         | 0         | 0         | 2            |
| <b>P4</b> | 0         | 0         | 0         | ---       | 0         | 0         | 0            |
| <b>P5</b> | 1         | 0         | 0         | 1         | ---       | 0         | 2            |
| <b>P6</b> | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         | ---       | 2            |

**Tabla 28**  
*Control de volumen*

|           | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> | <b>P6</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>P1</b> | ---       | 0         | 1         | 0         | 0         | 1         | 2            |
| <b>P2</b> | 0         | ---       | 1         | 0         | 0         | 1         | 2            |
| <b>P3</b> | 0         | 0         | ---       | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P4</b> | 0         | 0         | 1         | ---       | 0         | 1         | 2            |
| <b>P5</b> | 0         | 0         | 1         | 0         | ---       | 1         | 2            |
| <b>P6</b> | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | ---       | 0            |

**Tabla 29**  
*Capacidad de Almacenamiento*

|           | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> | <b>P6</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>P1</b> | ---       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P2</b> | 1         | ---       | 0         | 1         | 0         | 0         | 2            |
| <b>P3</b> | 1         | 0         | ---       | 1         | 0         | 0         | 2            |
| <b>P4</b> | 0         | 0         | 0         | ---       | 0         | 0         | 0            |
| <b>P5</b> | 1         | 0         | 0         | 1         | ---       | 0         | 2            |
| <b>P6</b> | 1         | 0         | 0         | 1         | 0         | ---       | 2            |

**Tabla 30**  
*Peso*

|           | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> | <b>P6</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>P1</b> | ---       | 1         | 1         | 0         | 1         | 1         | 4            |
| <b>P2</b> | 0         | ---       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P3</b> | 0         | 1         | ---       | 0         | 1         | 0         | 2            |
| <b>P4</b> | 0         | 1         | 1         | ---       | 1         | 1         | 4            |
| <b>P5</b> | 0         | 0         | 0         | 0         | ---       | 0         | 0            |
| <b>P6</b> | 0         | 1         | 0         | 0         | 1         | ---       | 2            |

**Tabla 31**  
*Velocidad de procesamiento de datos*

|           | <b>P1</b> | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> | <b>P6</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>P1</b> | ---       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P2</b> | 0         | ---       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P3</b> | 0         | 0         | ---       | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>P4</b> | 1         | 1         | 1         | ---       | 0         | 0         | 3            |
| <b>P5</b> | 1         | 1         | 1         | 0         | ---       | 0         | 3            |
| <b>P6</b> | 1         | 1         | 1         | 0         | 0         | ---       | 3            |

En función a los resultados obtenidos en las tablas anteriores se elabora la Tabla 32, la cual aglomera los resultados obtenidos.

**Tabla 32**  
*Evaluación de configuración*

|           | <b>C1</b> | <b>C2</b> | <b>C3</b> | <b>C4</b> | <b>C5</b> | <b>Total</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>P1</b> | 0         | 2         | 0         | 4         | 0         | 6            |
| <b>P2</b> | 2         | 2         | 2         | 0         | 0         | 6            |
| <b>P3</b> | 2         | 0         | 2         | 2         | 0         | 6            |
| <b>P4</b> | 0         | 2         | 0         | 4         | 3         | 9            |
| <b>P5</b> | 2         | 2         | 2         | 0         | 3         | 9            |
| <b>P6</b> | 2         | 0         | 2         | 2         | 3         | 9            |

Como se puede observar en la Tabla 32, tres configuraciones obtuvieron el puntaje máximo, sin embargo, la configuración 5 (P5) obtuvo el mejor puntaje en los criterios de mayor jerarquía, por lo tanto, la configuración que satisface mejor las necesidades está conformada por los elementos especificados en la Tabla 33.



**Tabla 33**  
*Detalle de configuración*

| <b>Función</b>                  | <b>Alternativa</b>       |
|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Acondicionar<br/>(A)</b>     | PWM                      |
| <b>C. Energía<br/>(B)</b>       | Motor DC                 |
| <b>Reducir Acoplar<br/>(C)</b>  | Caja reductora           |
| <b>C. Movimiento<br/>(D)</b>    | Biela-manivela           |
| <b>Generar Vacío<br/>(E)</b>    | Bomba de Pistones        |
| <b>Direccionar<br/>(F)</b>      | Accionado por solenoides |
| <b>Almacenar<br/>(G)</b>        | Externo                  |
| <b>S. Vel. Muestra<br/>(H)</b>  | Encoder                  |
| <b>S. Vel. Chimenea<br/>(I)</b> | Tubo de Pitot tipo S     |
| <b>Procesar Info.<br/>(J)</b>   | Raspberry Pi             |

## 5. Arquitectura del producto

La arquitectura del producto se entiende como un arreglo físico de los elementos del producto con el fin de llevar acabo las diferentes funciones. Está dada por la relación entre los diferentes componentes de un producto y las funciones que realiza el mismo. Cabe recalcar que la arquitectura del producto está diseñada en función a la interacción entre los componentes y no así a la descomposición funcional planteada. Existen dos tipos de arquitectura, totalmente opuestos, los cuales se describen a continuación:

Arquitectura modular: Cada módulo realiza pocas funciones, incluso una sola, la interacción entre los distintos módulos está bien definida. Este tipo de arquitectura facilita la evolución del producto con el tiempo, así mismo facilita el cambio de módulos para el manteamiento del producto.

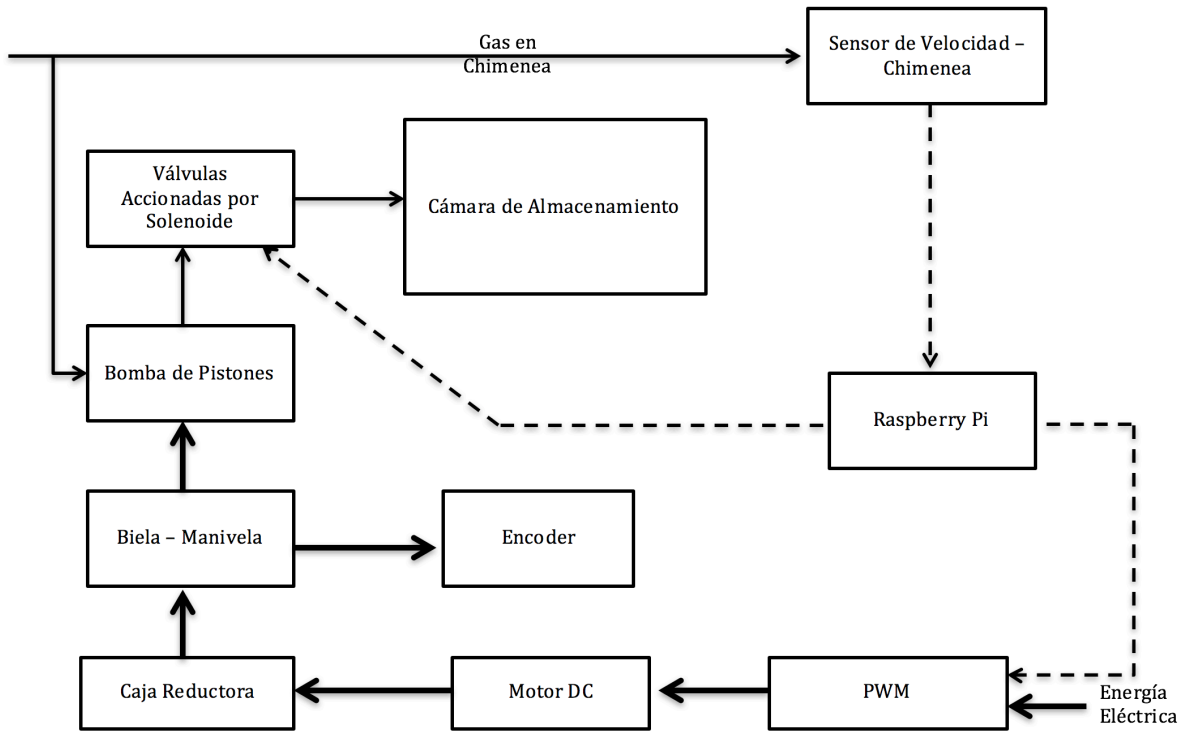
Arquitectura integral: La ejecución de las funciones es llevada a cabo por un número de módulos muy reducido, en algunos casos por un solo módulo. Ésta suele ser escogida cuando se tienen ciertas restricciones de diseño como ser el peso del producto o el espacio disponible, sin embargo, esto impacta de gran manera en los costos de manufactura.

Los productos generalmente son una mezcla de ambas arquitecturas. Otro aspecto importante a tomar en cuenta durante esta etapa son las interfaces entre componentes, debido a que si las mismas no están bien diseñadas pueden ser fuentes de corrosión y desgaste, generando un deterioro prematuro en el producto, (Dieter & Schmidt, Engineering Design, 2009).

Para desarrollar la arquitectura del producto se seguirán las cuatro etapas planteadas por Ulrich y Eppinger, (Ulrich & Eppinger, 2004):

- Crear un diagrama esquemático del producto
- Agrupar los elementos del esquema
- Crear un *layout* geométrico, poco detallado, del esquema
- Identificar las interacciones entre los módulos

En las Figuras 14 y 15, se puede apreciar tanto el diagrama esquemático del proyecto, como la agrupación de los distintos elementos por módulos.



**Figura 14. Diagrama esquemático**

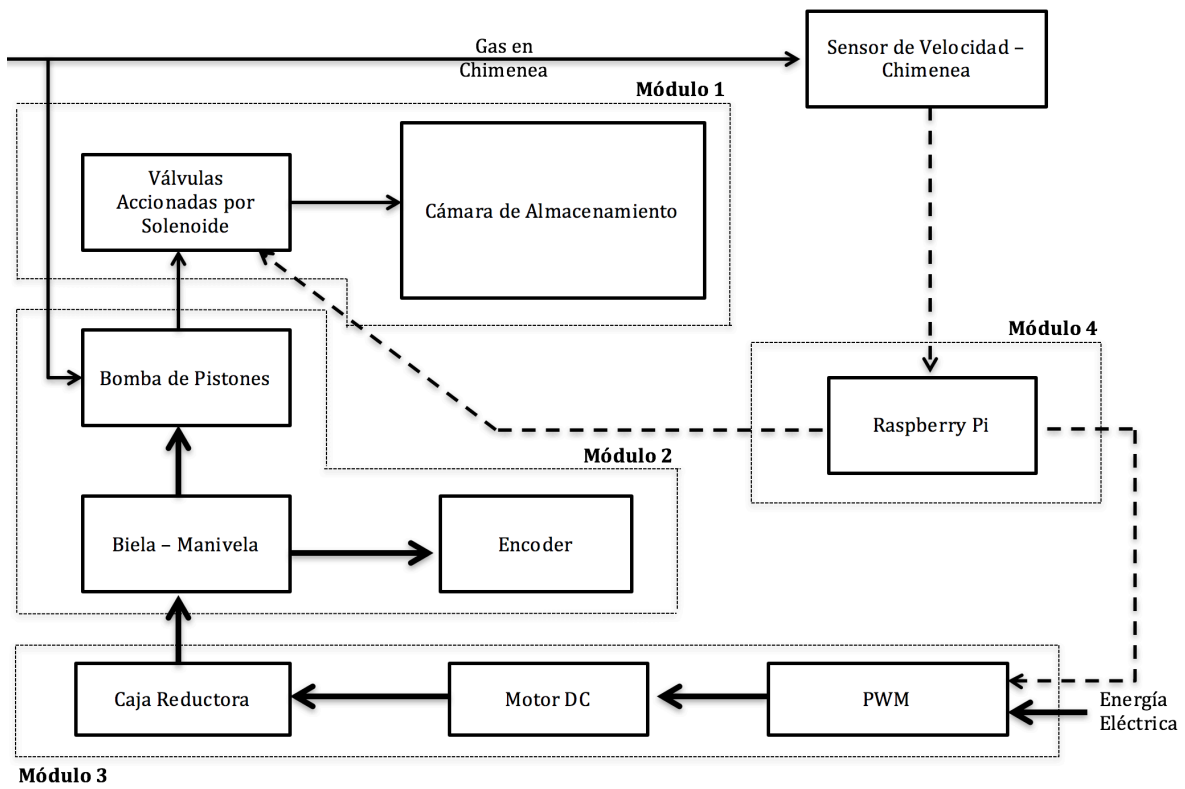


Figura 15. Agrupación de elementos

La Figura 16 representa el *layout* del esquema planteado.

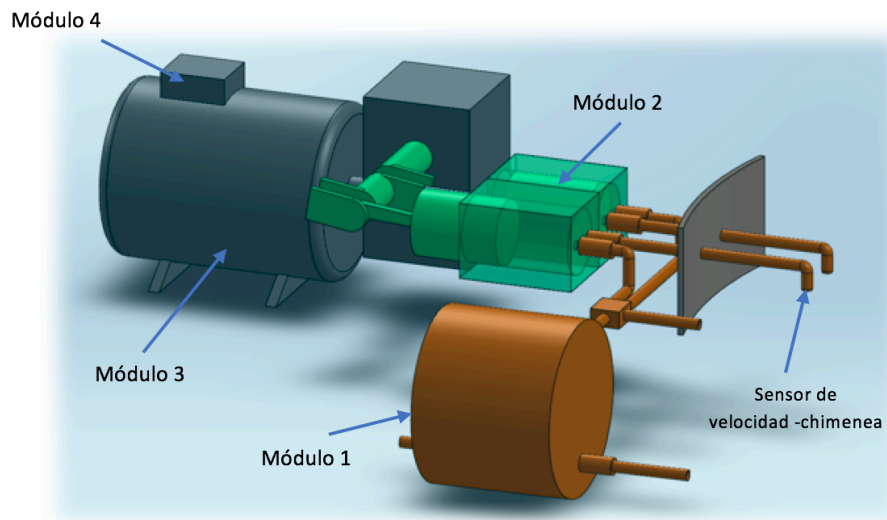


Figura 16. Layout

A continuación, se presentan las interacciones presentes entre los distintos elementos.

**Tabla 34**  
*Interacción módulos 1 y 2*

| <b>Interacción</b> |  | <b>Descripción</b>               |  |
|--------------------|--|----------------------------------|--|
| <b>Interfaz</b>    | Conexión cámara de bomba con válvulas de admisión. | Conexión entre ductos y válvulas | Conexión entre ductos y cámara de almacenamiento |
| <b>Señal</b>       |  | Ninguna                          |  |
| <b>Material</b>    |  | Gas extraído                     |  |

**Tabla 35**  
*Interacción módulos 1 y 4*

| <b>Interacción</b> |  | <b>Descripción</b>                           |  |
|--------------------|--|--|--|
| <b>Interfaz</b>    |  | Conexión válvulas con <i>Raspberry Pi</i> .  |  |
| <b>Señal</b>       |  | Señal de accionamiento de válvulas solenoide |  |
| <b>Material</b>    |  | Ninguno                                      |  |

**Tabla 36**  
*Interacción módulos 2 y 3*

| <b>Interacción</b> |                                   | <b>Descripción</b>                       |                                  |
|--------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| <b>Interfaz</b>    | Conexión caja reductora con biela | Conexión eje de motor con caja reductora | Conexión eléctrica motor con PWM |
| <b>Señal</b>       |                                   | Ninguna                                  |                                  |
| <b>Material</b>    |                                   | Ninguno                                  |                                  |

**Tabla 37**  
*Interacción módulos 2 y 4*

| <b>Interacción</b> |   | <b>Descripción</b>                                |                               |
|--------------------|---|---|-------------------------------|
| <b>Interfaz</b>    | Conexión <i>encoder</i> con <i>Raspberry Pi</i> |   | Conexión <i>encoder</i> biela |
| <b>Señal</b>       |   | Señal del <i>encoder</i> a la <i>Raspberry Pi</i> |                               |
| <b>Material</b>    |   | Gas extraído                                      |                               |

**Tabla 38**  
*Interacción módulos 3 y 4*

| <b>Interacción</b> |  | <b>Descripción</b>                            |  |
|--------------------|--|---|--|
| <b>Interfaz</b>    |  | Conexión <i>Raspberry Pi</i> con PWM          |  |
| <b>Señal</b>       |  | Señal de control de <i>Raspberry Pi</i> a PWM |  |
| <b>Material</b>    |  | Ninguno                                       |  |

**Tabla 39**  
*Interacción módulo 4 y sensor de velocidad - chimenea*

| <b>Interacción</b> |                                   | <b>Descripción</b>                    |   |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| <b>Interfaz</b>    | Conexión sensor con tubo de Pitot |                                       | Conexión Sensor con <i>Raspberry Pi</i> |
| <b>Señal</b>       |                                   | Señal de sensor a <i>Raspberry Pi</i> |   |
| <b>Material</b>    |                                   | Ninguno                               |   |

Las Tablas 33 a la 39, detallan las interacciones presentes entre los diferentes módulos que conforman la arquitectura del proyecto. Como se puede apreciar dichas interacciones contemplan tanto las interfaces de conexión como la señal transmitida o el material transportado entre los diferentes módulos. El objetivo de analizar las interacciones entre los distintos componentes radica en identificar los posibles puntos de conflicto ocasionados por el diseño, estos deben ser considerados en diseño a detalle para evitar posibles puntos de acumulación de material, malas conexiones y desgaste prematuro.

## 6. Selección de componentes comerciales

Con el objetivo de satisfacer las funciones mediante las alternativas seleccionadas se procede a seleccionar una serie de componentes comerciales, para así poder determinar cuál satisface en mayor medida los requerimientos del cliente. El proceso de análisis es similar al utilizado en secciones anteriores, el cual consiste en contrastar una a una las diferentes alternativas respecto a los criterios de selección.

### 6.1 Bomba de pistones – biela manivela

El proceso de selección comienza con la identificación de posibles alternativas comerciales, se toma como punto de partida que las mismas deben pertenecer a compresores de pistón libres de aceite, para así disminuir las probabilidades de contaminar la muestra. La Tabla 40 presenta las principales características de las alternativas analizadas, en caso de que los datos no estén disponibles los mismos serán remplazados por las letras NE (no especificado).

**Tabla 40**  
*Pistones comerciales*

| Característica<br>Modelo | Proveedor                                 | Datos Cámara del Pistón |                |                               |                               |
|--------------------------|---|-------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                          |   | Diámetro<br>[in]        | Altura<br>[in] | Volumen<br>[in <sup>3</sup> ] | Volumen<br>[cm <sup>3</sup> ] |
| <b>KK-4835</b>           | <i>Allparts Equipment and Accessories</i> | 2.365                   | 1.98           | 8.70                          | 142.53                        |
| <b>N036518</b>           | <i>eReplacementParts</i>                  | 1.875                   | 1.63           | 4.50                          | 73.75                         |
| <b>N038785</b>           | <i>eReplacementParts</i>                  | NE                      | NE             | NE                            | NE                            |

La Tabla 41 muestra algunas de las características de bombas utilizadas en equipos comerciales para la extracción isocinética de gases en fuentes fijas. Dichos parámetros permiten estimar el flujo requerido.

**Tabla 41**  
*Datos bombas comerciales*

| Característica<br>Modelo | Tipo de Bomba     | Potencia [Hp] | RPM  | Peso [Kg] | Flujo Mayor [cfm] | Flujo Menor [cfm] | Flujo Mayor [cm <sup>3</sup> /revolución] | Flujo Menor [cm <sup>3</sup> /revolución] |
|--------------------------|-------------------|---------------|------|-----------|-------------------|-------------------|---|---|
| E-0523                   | Paletas rotativas | ¼             | 1725 | 16        | 3.1 @ 1" Hg       | 1.5 @ 15" Hg      | 50,89                                     | 24,62                                     |
| 0523 SERIES              | Paletas rotativas | ¼             | 1725 | NE        | NE                | 2 @ 15" Hg        | NE  | 32,83                                     |
| XE-DAA                   | Doble Diafragma   | ½             | NE   | 14        | 2.9 @ 1" Hg       | 1.4 @ 15" Hg      | NE  | NE  |

A continuación, se presentan los criterios de selección utilizados para seleccionar el pistón a ser utilizado durante el presente proyecto:

- Disponibilidad en el mercado local (DML)
- Disponibilidad de dimensiones nominales (DDN)

Las Tablas 42 y 43 presentan el análisis correspondiente a dichos criterios, la Tabla 44 presenta el resumen del mismo.

**Tabla 42**  
*Pistones - mercado local*

|         | KK-4835 | N036518 | N038785 | Total |
|---------|---------|---------|---------|-------|
| KK-4835 | ---     | 1       | 1       | 2     |
| N036518 | 0       | ---     | 0       | 0     |
| N038785 | 0       | 0       | ---     | 0     |

**Tabla 43**  
*Pistones - dimensiones nominales*

|         | KK-4835 | N036518 | N038785 | Total |
|---------|---------|---------|---------|-------|
| KK-4835 | ---     | 0       | 1       | 1     |
| N036518 | 0       | ---     | 1       | 1     |
| N038785 | 0       | 0       | ---     | 0     |

**Tabla 44**  
*Selección pistones comerciales*

|         | DML | DDN | Total |
|---------|-----|-----|-------|
| KK-4835 | 2   | 1   | 3     |
| N036518 | 0   | 1   | 1     |
| N038785 | 0   | 0   | 0     |

Como se puede apreciar en la Tabla 44, el pistón KK-4835 obtuvo la mejor puntuación general. Dicho pistón es distribuido en México por la empresa *DeWalt México* y requiere de los accesorios que se encuentran detallados en la tabla 45 para su



correcto funcionamiento. Los datos técnicos de dicho pistón se encuentran en el anexo 10.2.

**Tabla 45**  
*Accesorios pistón*

| Accesorio          | Modelo          | Proveedor                                 | Observaciones                 |
|--------------------|-----------------|---|-------------------------------|
| Placa y válvulas   | Z-AC-0032       | <i>Allparts Equipment and Accessories</i> | El kit incluye juntas tóricas |
| Cabeza de la bomba | MAC2200 AC-0236 | <i>M&amp;M Tool and Machinery</i>         | Conexiones ¼ NPT              |
| Rodamiento         | 6203VV          | NSK                                       | Diámetro Interno 17 mm        |

Las conexiones de entrada y salida cabeza de la bomba se realizan por medio de roscas ¼ NPT. Por lo tanto, siempre que sea posible, se selecciona una interfaz compatible para los siguientes elementos.

### 6.2 Sensor de velocidad - chimenea

Como lo indica la norma mexicana, NMX-AA-009-1993-SCFI, para poder determinar adecuadamente la velocidad del gas que fluye dentro de la chimenea con diámetro mayor a 10 cm y una velocidad promedio superior a 3 [m/s] se requiere de dos elementos, un tubo de Pitot tipo S y un transductor de presión, (DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS, 1993).

La Tabla 46 presenta las características de los distintos transductores de presión considerados como posibles alternativas.

**Tabla 46**  
*Transductores de presión*

| Característica<br>Modelo | Proveedor  | Material  | Conexión         | Voltaje Alimentación | Gases   | Tiempo Respuesta | Precisión | Salida                                 |
|--------------------------|------------|-----------|------------------|----------------------|---------|------------------|-----------|--|
| Serie PX409              | OMEGA      | Inox 316L | ¼" NPT           | 10 - 30 V DC         | Húmedos | <1m Seg          | 0.08 %    | 0 a 5 V DC<br>0 a 10 V DC<br>4 a 20 mA |
| Serie PX138              | OMEGA      | Plástico  | Presión (4.8 mm) | 8 V DC               | Secos   | NE               | 0.10 %    | 1 a 6 V DC                             |
| DMD 331                  | BD SENSORS | Inox 316L | 7/16" UNF        | 12 - 36 V DC         | Húmedos | <5m Seg          | 0.5 %     | 0 a 10 V DC<br>4 a 20 mA               |

De igual manera, la Tabla 47 presenta las principales características de las opciones consideradas para el tubo de Pitot tipo S.

**Tabla 47.**  
**Tubos de Pitot tipo S**

| <b>Modelo</b> | <b>Característica</b> | <b>Proveedor</b>    | <b>Material</b> | <b>Conexión</b>              | <b>Observaciones</b>                                 |
|---------------|-----------------------|---------------------|-----------------|------------------------------|--|
| Serie 160S    |                       | Dwyer               | Inox            | 1/8" NPT                     | Longitud fija  |
| Serie TPS-08  |                       | KIMOCANADA          | Inox            | 6 mm (Presión)               | Longitud fija, incluye sonda de temperatura          |
| PTB           |                       | APEX<br>Instruments | Inox            | ¼" Conexión rápida           | Extensible mediante módulos                          |
| U-PTX         |                       | APEX<br>Instruments | Inox            | ¼" o 3/8"<br>Conexión rápida | Extensible telescópico, incluye sonda de temperatura |

Los criterios de selección utilizados para seleccionar el transductor de presión son los siguientes:

- Facilidad de instalación (FI)
- Disponibilidad en el mercado local (DM)
- Rango de alimentación (RA)
- Comunicación (COM)
- Capacidad de manejar gases húmedos (GH)

Con base a estos criterios se procedió a seleccionar el componente a ser utilizado, los resultados se pueden observar de la Tabla 48 a la 52.

**Tabla 48**  
**Transductor de presión - instalación**

|                    | <b>Serie PX409</b> | <b>Serie PX138</b> | <b>DMD 331</b> | <b>Total</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <b>Serie PX409</b> | ---                | 1                  | 1              | 2            |
| <b>Serie PX138</b> | 0                  | ---                | 0              | 0            |
| <b>DMD 331</b>     | 0                  | 1                  | ---            | 1            |

**Tabla 49**  
**Transductor de presión - disponibilidad**

|                    | <b>Serie PX409</b> | <b>Serie PX138</b> | <b>DMD 331</b> | <b>Total</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <b>Serie PX409</b> | ---                | 0                  | 1              | 1            |
| <b>Serie PX138</b> | 0                  | ---                | 1              | 1            |
| <b>DMD 331</b>     | 0                  | 0                  | ---            | 0            |

**Tabla 50**  
*Transductor de presión - alimentación*

|                    | <b>Serie PX409</b> | <b>Serie PX138</b> | <b>DMD 331</b> | <b>Total</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <b>Serie PX409</b> | ---                | 1                  | 0              | 1            |
| <b>Serie PX138</b> | 0                  | ---                | 0              | 0            |
| <b>DMD 331</b>     | 0                  | 1                  | ---            | 1            |

**Tabla 51**  
*Transductor de presión - comunicación*

|                    | <b>Serie PX409</b> | <b>Serie PX138</b> | <b>DMD 331</b> | <b>Total</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <b>Serie PX409</b> | ---                | 1                  | 0              | 1            |
| <b>Serie PX138</b> | 0                  | ---                | 0              | 0            |
| <b>DMD 331</b>     | 0                  | 1                  | ---            | 1            |

**Tabla 52**  
*Transductor de presión - gases*

|                    | <b>Serie PX409</b> | <b>Serie PX138</b> | <b>DMD 331</b> | <b>Total</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <b>Serie PX409</b> | ---                | 1                  | 0              | 1            |
| <b>Serie PX138</b> | 0                  | ---                | 0              | 0            |
| <b>DMD 331</b>     | 0                  | 1                  | ---            | 1            |

La Tabla 53 muestra el resultado final del análisis presentado en las tablas anteriores.

**Tabla 53**  
*Selección transductor de presión*

|                    | <b>FI</b> | <b>DM</b> | <b>RA</b> | <b>COM</b> | <b>GH</b> | <b>Total</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|--------------|
| <b>Serie PX409</b> | 2         | 1         | 1         | 1          | 1         | 6            |
| <b>Serie PX138</b> | 0         | 1         | 0         | 0          | 0         | 1            |
| <b>DMD 331</b>     | 1         | 0         | 1         | 1          | 1         | 4            |

Como se puede apreciar en la anterior tabla, el modelo que cumple de mejor manera con los criterios de selección es el de la serie PX409. Se trata de un transductor de presión diferencial construido en acero inoxidable 306L, el cual es capaz de trabajar con gases húmedos en ambas entradas y la interfaz de conexión es de ¼ NPT.

A continuación, se presentan los criterios de selección definidos para el tubo de Pitot:

- Capacidad de extensión (CE)
- Facilidad de extensión (FE)

- Capacidad de medir temperatura (MT)
- Facilidad de instalación (FI)

Los resultados del análisis correspondiente se presentan de la Tabla 54 a la 57, en la Tabla 58 se puede observar el resumen de los mismos.

**Tabla 54**  
*Tubo de Pitot - capacidad de extensión*

|                     | <b>Serie 160S</b> | <b>Serie TPS-08</b> | <b>PTB</b> | <b>U-PTX</b> | <b>Total</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Serie 160S</b>   | ---               | 0                   | 0          | 0            | 0            |
| <b>Serie TPS-08</b> | 0                 | ---                 | 0          | 0            | 0            |
| <b>PTB</b>          | 1                 | 1                   | ---        | 0            | 2            |
| <b>U-PTX</b>        | 1                 | 1                   | 0          | ---          | 2            |

**Tabla 55**  
*Tubo de Pitot - facilidad de extensión*

|                     | <b>Serie 160S</b> | <b>Serie TPS-08</b> | <b>PTB</b> | <b>U-PTX</b> | <b>Total</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Serie 160S</b>   | ---               | 0                   | 0          | 0            | 0            |
| <b>Serie TPS-08</b> | 0                 | ---                 | 0          | 0            | 0            |
| <b>PTB</b>          | 1                 | 1                   | ---        | 0            | 2            |
| <b>U-PTX</b>        | 1                 | 1                   | 1          | ---          | 3            |

**Tabla 56**  
*Tubo de Pitot - medición de temperatura*

|                     | <b>Serie 160S</b> | <b>Serie TPS-08</b> | <b>PTB</b> | <b>U-PTX</b> | <b>Total</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Serie 160S</b>   | ---               | 0                   | 0          | 0            | 0            |
| <b>Serie TPS-08</b> | 1                 | ---                 | 1          | 0            | 2            |
| <b>PTB</b>          | 0                 | 0                   | ---        | 0            | 0            |
| <b>U-PTX</b>        | 1                 | 0                   | 1          | ---          | 2            |

**Tabla 57**  
*Tubo de Pitot - facilidad de instalación*

|                     | <b>Serie 160S</b> | <b>Serie TPS-08</b> | <b>PTB</b> | <b>U-PTX</b> | <b>Total</b> |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Serie 160S</b>   | ---               | 1                   | 0          | 0            | 1            |
| <b>Serie TPS-08</b> | 0                 | ---                 | 0          | 0            | 0            |
| <b>PTB</b>          | 1                 | 1                   | ---        | 0            | 2            |
| <b>U-PTX</b>        | 1                 | 1                   | 0          | ---          | 2            |

**Tabla 58**  
*Selección tubo de Pitot tipo S*

|                     | CE | FE | MT | FI | Total |
|---------------------|----|----|----|----|-------|
| <b>Serie 160S</b>   | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     |
| <b>Serie TPS-08</b> | 0  | 0  | 2  | 0  | 2     |
| <b>PTB</b>          | 2  | 2  | 0  | 2  | 6     |
| <b>U-PTX</b>        | 2  | 3  | 2  | 2  | 9     |

En base al resultado obtenido en la Tabla 58, se determina utilizar el tubo de Pitot tipo S modelo U-PTX. Dicho tubo es comercializado por la empresa APEX Instrumentes, el cual está construido en acero inoxidable, cuenta con una sonda de temperatura y tiene la capacidad de extender su longitud gracias a su construcción telescópica. Los datos técnicos tanto del transductor de presión como del tubo de Pitot se encuentran en los anexos, 10.3 y 10.4, respectivamente.

### 6.3 Válvulas de admisión

Las válvulas de admisión son las encargadas de direccionar el gas obtenido hacia la cámara de almacenamiento o hacia la chimenea, el análisis previo concluyo que la mejor alternativa para satisfacer dicha función son las válvulas de paso activadas por solenoide. Los equipos comerciales considerados para satisfacer la función se encuentran en la Tabla 59.

**Tabla 59**  
*Válvulas solenoide comerciales*

| Característica<br>Modelo | Proveedor | Material    | Interfaz de<br>Conexión | Comando | Precio<br>(al 15/11/16) |
|--------------------------|-----------|-------------|-------------------------|---------|-------------------------|
| PDI01022                 | CEMATIC   | Inox 304    | ¼" NPT                  | 24 V DC | 977.76 MXN              |
| PD02022                  | CEMATIC   | Bronce      | ¼" NPT                  | 24 V DC | 798.84 MXN              |
| SV171                    | OMEGA     | Inox 316 SS | 3/8" NPT                | 24 V DC | 9,945.00 MXN            |
| SV125                    | OMEGA     | Inox        | ¼" NPT                  | 24 V DC | 3,450.00 MXN            |

Los criterios de selección para este componente son los siguientes:

- Precio
- Interfaz, como se mencionó líneas arriba siempre que sea posible se preferirá una interfaz ¼" NPT
- Material, siendo considerado como material más adecuado el acero inoxidable

Los resultados del análisis en base a los criterios presentados se pueden apreciar de la Tabla 60 a la 62, la Tabla 63 presenta un resumen de los mismo.

**Tabla 60**  
*Válvulas solenoide - precio*

|                 | <b>PDI01022</b> | <b>PD02022</b> | <b>SV171</b> | <b>SV125</b> | <b>Total</b> |
|-----------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>PDI01022</b> | ---             | 0              | 1            | 1            | 2            |
| <b>PD02022</b>  | 1               | ---            | 1            | 1            | 3            |
| <b>SV171</b>    | 0               | 0              | ---          | 0            | 0            |
| <b>SV125</b>    | 0               | 0              | 1            | ---          | 1            |

**Tabla 61**  
*Válvulas solenoide - interfaz de conexión*

|                 | <b>PDI01022</b> | <b>PD02022</b> | <b>SV171</b> | <b>SV125</b> | <b>Total</b> |
|-----------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>PDI01022</b> | ---             | 0              | 1            | 0            | 1            |
| <b>PD02022</b>  | 0               | ---            | 1            | 0            | 1            |
| <b>SV171</b>    | 0               | 0              | ---          | 0            | 0            |
| <b>SV125</b>    | 0               | 0              | 1            | ---          | 1            |

**Tabla 62**  
*Válvulas solenoide - material*

|                 | <b>PDI01022</b> | <b>PD02022</b> | <b>SV171</b> | <b>SV125</b> | <b>Total</b> |
|-----------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>PDI01022</b> | ---             | 1              | 0            | 0            | 1            |
| <b>PD02022</b>  | 0               | ---            | 0            | 0            | 0            |
| <b>SV171</b>    | 0               | 1              | ---          | 0            | 1            |
| <b>SV125</b>    | 0               | 1              | 0            | ---          | 1            |

**Tabla 63**  
*Selección válvulas solenoide*

|                 | <b>Precio</b> | <b>Interfaz</b> | <b>Material</b> | <b>Total</b> |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------|
| <b>PDI01022</b> | 2             | 1               | 1               | 4            |
| <b>PD02022</b>  | 3             | 1               | 0               | 4            |
| <b>SV171</b>    | 0             | 0               | 1               | 1            |
| <b>SV125</b>    | 1             | 1               | 1               | 2            |

Como se puede apreciar en la Tabla 63 dos de las opciones obtuvieron el mismo puntaje. Sin embargo, se optó por escoger el modelo PDI01022 debido a que la misma está construida en acero inoxidable 304. Dicha válvula es distribuida por CEMATIC y tiene una presión máxima de trabajo de 1 MPa, las características de la válvula seleccionada se pueden encontrar en el anexo 10.5. Como se puede observar en la

Tabla 59, solo se consideraron válvulas que tengan un voltaje de accionamiento bajo, esta consideración fue realizada como medida de seguridad.

#### 6.4 Accesorios cámara de almacenamiento

Mantener la temperatura de la cámara de almacenamiento por encima de la temperatura es de vital importancia. Es por esto que se consideran como accesorios de la cámara de almacenamiento el sensor de temperatura y los calentadores flexibles eléctricos, con la finalidad de controlar la temperatura dentro de la misma.

Comenzaremos con la selección del sensor de temperatura, los criterios de selección fueron los siguientes:

- Resistencia al contacto con el agua
- Método de montaje (MM)

Los dispositivos tomados en cuenta para el análisis se encuentran descritos en la Tabla 64.

**Tabla 64**  
*Sensores de temperatura comerciales*

| <b>Característica</b><br><b>Modelo</b> | <b>Proveedor</b> | <b>Precisión</b> | <b>Resistencia al agua</b> | <b>Método de Montaje</b> | <b>Precio (al 07/09/16)</b> |
|--|------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Sensor RTD                             | OMEGA            | +/- 0,25 °C      | Si                         | Rosca                    | 2,035.00 MXN                |
| Serie G1/4                             | OMEGA            | No especificada  | Si                         | Rosca                    | 1,005.00 MXN                |
| Termopar Tipo K                        | Kinetronica      | No especificada  | No                         | Recipiente               | 200.00 MXN                  |

El resultado del análisis correspondiente se encuentra plasmado en las Tablas 65 y 66, en la Tabla 67 se puede encontrar el puntaje final obtenido por cada alternativa.

**Tabla 65**  
*Sensores de temperatura - resistencia al agua*

|                        | <b>Sensor RTD</b> | <b>Serie G1/4</b> | <b>Termopar Tipo K</b> | <b>Total</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|
| <b>Sensor RTD</b>      | ---               | 0                 | 1                      | 1            |
| <b>Serie G1/4</b>      | 0                 | ---               | 1                      | 1            |
| <b>Termopar Tipo K</b> | 0                 | 0                 | ---                    | 0            |

**Tabla 66**  
*Sensores de temperatura – método de montaje*

|                        | <b>Sensor RTD</b> | <b>Serie G1/4</b> | <b>Termopar Tipo K</b> | <b>Total</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------|
| <b>Sensor RTD</b>      | ---               | 0                 | 1                      | 1            |
| <b>Serie G1/4</b>      | 0                 | ---               | 1                      | 1            |
| <b>Termopar Tipo K</b> | 0                 | 0                 | ---                    | 0            |

**Tabla 67**  
*Selección sensores de temperatura*

|                        | <b>Resistencia al agua</b> | <b>MM</b> | <b>Total</b> |
|------------------------|----------------------------|-----------|--------------|
| <b>Sensor RTD</b>      | 1                          | 1         | 2            |
| <b>Serie G1/4</b>      | 1                          | 1         | 2            |
| <b>Termopar Tipo K</b> | 0                          | 0         | 0            |

Como se puede apreciar en la Tabla 67 tanto el sensor RTD como los de la serie G1/4 tienen el mismo puntaje, sin embargo, se determina que la mejor opción corresponde a la serie G1/4 debido a que su precio es considerablemente menor comparado con los sensores RTD. Este tiene como características principales su resistencia al agua, la facilidad de interpretación de los datos, el mecanismo de conexión mediante rosca y su capacidad de trabajar en entornos con alta vibración. Las características detalladas se pueden encontrar en el anexo 10.6.

Por otro lado, las opciones consideradas para el calentador eléctrico se encuentran en la Tabla 68. Los criterios de selección utilizados para escoger la mejor alternativa fueron los siguientes:

- Facilidad de montaje (FM)
- Resistencia química (RQ)
- Voltaje de operación (VO), por seguridad se consideró que la mejor opción es la que requiere de menos voltaje

Como se puede observar no se consideró la temperatura máxima como un criterio de selección, debido a que todos superan la temperatura del gas en el punto de muestreo.



**Tabla 68**  
**Calentadores flexibles**

| <b>Característica</b><br><b>Modelo</b> | <b>Proveedor</b> | <b>Aislante</b>                           | <b>Resistencia</b><br><b>Químicos</b> | <b>Modo de Montaje</b>                         | <b>Voltaje de</b><br><b>Operación</b> | <b>Temperatura</b><br><b>Máxima</b> |
|--|------------------|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Series STH, SST,<br>SWH                | OMEGA            | SamoxTM                                   | NE                                    | Contacto directo, ideal<br>para tubos delgados | 120 V AC                              | 760 °C                              |
| Serie KHLV                             | OMEGA            | Poliimida                                 | Alta                                  | Montaje mecánico o<br>mediante epoxi           | 28 V DC                               | 200 °C                              |
| Series SRF                             | OMEGA            | Silicona con fibra<br>de vidrio           | NE                                    | Adhesivo sensible a la<br>presión              | 115 V AC                              | 149°C                               |
| SILICONE RUBBER<br>HEATER (SRH)        | WATTCO           | Silicona con fibra<br>de vidrio de vidrio | Alta                                  | Montaje mecánico o<br>mediante adhesivos       | 12 V DC                               | 232 °C                              |

Las Tablas 69, 70 y 71 presentan los resultados para cada criterio de selección establecido.

**Tabla 69**  
**Calentadores - montaje**

|                             | <b>Series</b><br><b>STH, SST, SWH</b> | <b>Serie</b><br><b>KHLV</b> | <b>Series</b><br><b>SRF</b> | <b>SRH</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| <b>Series STH, SST, SWH</b> | ---                                   | 0                           | 0                           | 0          | 0            |
| <b>Serie KHLV</b>           | 1                                     | ---                         | 0                           | 0          | 1            |
| <b>Series SRF</b>           | 1                                     | 0                           | ---                         | 0          | 1            |
| <b>SRH</b>                  | 1                                     | 0                           | 0                           | ---        | 1            |

**Tabla 70**  
**Calentadores - resistencia química**

|                             | <b>Series</b><br><b>STH, SST, SWH</b> | <b>Serie</b><br><b>KHLV</b> | <b>Series</b><br><b>SRF</b> | <b>SRH</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| <b>Series STH, SST, SWH</b> | ---                                   | 0                           | 0                           | 0          | 0            |
| <b>Serie KHLV</b>           | 1                                     | ---                         | 1                           | 0          | 2            |
| <b>Series SRF</b>           | 0                                     | 0                           | ---                         | 0          | 0            |
| <b>SRH</b>                  | 1                                     | 0                           | 1                           | ---        | 2            |

**Tabla 71**  
**Calentadores - voltaje**

|                             | <b>Series</b><br><b>STH, SST, SWH</b> | <b>Serie</b><br><b>KHLV</b> | <b>Series</b><br><b>SRF</b> | <b>SRH</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|--------------|
| <b>Series STH, SST, SWH</b> | ---                                   | 0                           | 0                           | 0          | 0            |
| <b>Serie KHLV</b>           | 1                                     | ---                         | 1                           | 0          | 2            |
| <b>Series SRF</b>           | 0                                     | 0                           | ---                         | 0          | 0            |
| <b>SRH</b>                  | 1                                     | 0                           | 1                           | ---        | 2            |

La Tabla 72 presenta el resumen del análisis correspondiente a la selección del calentador flexible.

**Tabla 72**  
*Selección calentador*

|                             | <b>FM</b> | <b>RQ</b> | <b>VO</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>Series STH, SST, SWH</b> | 0         | 0         | 0         | 0            |
| <b>Serie KHLV</b>           | 1         | 2         | 2         | 5            |
| <b>Series SRF</b>           | 1         | 0         | 0         | 1            |
| <b>SRH</b>                  | 1         | 2         | 2         | 5            |

Como se puede apreciar en la tabla anterior dos alternativas tienen el mismo puntaje, sin embargo, en este caso la alternativa escogida corresponde a la ofrecida por OMEGA debido a que la misma se encuentra disponible en el mercado local. La serie KHLV ofrece calentadores flexibles de forma rectangular, los cuales tienen un recubrimiento de Poliamida el cual es altamente resistente al ataque de agentes químicos. La temperatura máxima que pueden alcanzar es de 200°C y el método de fijación puede ser tanto mecánico como mediante epoxi. En el anexo 10.7 se pueden encontrar más características del calentador seleccionado.

### **6.5 Motor DC**

Las bombas comerciales tienen un flujo promedio de 3 pies<sup>3</sup>/minuto, el cilindro seleccionado tiene un diámetro interno de 2.365" y una carrera útil de 25/32". Por lo tanto, por cada carrera de pistón se tiene un volumen desplazado de aproximadamente 2\*10<sup>-3</sup> pies<sup>3</sup>. El prototipo cuenta con dos pistones para incrementar la continuidad de flujo, por lo cual se requieren de alrededor de 750 rpm para obtener los 3 pies<sup>3</sup>/minuto generados por los equipos comerciales.

Tomando en cuenta este dato y una potencia promedio de 0.25 Hp en los equipos comerciales, se procede a seleccionar el motor más adecuado. La Tabla 73 presenta las características principales de los motores considerados para el análisis.

**Tabla 73**  
**Motores DC**

| Característica<br>Modelo | Marca                | Potencia<br>[Hp] | Voltaje<br>[V] | Corriente<br>[A] | Peso<br>[kg] | RPM  | Observaciones |
|--------------------------|----------------------|------------------|----------------|------------------|--------------|------|---------------|
| MXSLM-001                | Solar<br>Machine     | 0.25             | 10             | 21               | 10           | 1800 | Mercado local |
| MAE Z602                 | Marathon<br>Electric | 0.25             | 90             | 2.5              | 9            | 1750 | Importación   |
| MD01AL                   | Lexar                | 0.25             | 90             | 2.5              | 7.7          | 1750 | Importación   |

Los criterios de selección utilizados durante dicho análisis son los siguientes:

- Corriente de alimentación (CA)
- Peso
- Disponibilidad en el mercado local (DL)

Las Tablas 74, 75 y 76 presentan los resultados obtenidos, mientras que la Tabla 77 presenta el resumen de los mismos.

**Tabla 74**  
**Motor DC - corriente alimentación**

|                  | MXSLM-001 | MAE Z602 | MD01AL | Total |
|------------------|-----------|----------|--------|-------|
| <b>MXSLM-001</b> | ---       | 0        | 0      | 0     |
| <b>MAE Z602</b>  | 1         | ---      | 0      | 1     |
| <b>MD01AL</b>    | 1         | 0        | ---    | 1     |

**Tabla 75**  
**Motor DC - peso**

|                  | MXSLM-001 | MAE Z602 | MD01AL | Total |
|------------------|-----------|----------|--------|-------|
| <b>MXSLM-001</b> | ---       | 0        | 0      | 0     |
| <b>MAE Z602</b>  | 1         | ---      | 0      | 1     |
| <b>MD01AL</b>    | 1         | 1        | ---    | 2     |

**Tabla 76**  
**Motor DC - disponibilidad**

|                  | MXSLM-001 | MAE Z602 | MD01AL | Total |
|------------------|-----------|----------|--------|-------|
| <b>MXSLM-001</b> | ---       | 1        | 1      | 2     |
| <b>MAE Z602</b>  | 0         | ---      | 0      | 0     |
| <b>MD01AL</b>    | 0         | 0        | ---    | 0     |

**Tabla 77**  
*Selección motor DC*

|                  | CA | Peso | DL | Total |
|------------------|----|------|----|-------|
| <b>MXSLM-001</b> | 0  | 0    | 2  | 2     |
| <b>MAE Z602</b>  | 1  | 1    | 0  | 2     |
| <b>MD01AL</b>    | 1  | 2    | 0  | 3     |

El análisis determinó que el motor más adecuado es el MD01AL de 0.25 Hp de potencia, con un voltaje de alimentación de 90 V y 1750 rpm nominales, eje de 5/8" de diámetro y un peso de 7.7 kg. Las características del motor se presentan en el anexo 10.8.

### 6.6 Caja reductora

Como se vio debido a que el prototipo planteado requiere de dos pistones, se requieren alrededor de 750 RPM para obtener el flujo entregado por los dispositivos comerciales. El motor seleccionado genera aproximadamente el doble de las RPM requeridas para alcanzar los 3 pies<sup>3</sup>/minuto, por lo tanto, se requiere de una caja reductora con una relación 2:1 para así poder obtener las RPM necesarias sin sacrificar la potencia del motor. La Tabla 78 presenta las características principales de las cajas reductoras consideradas para el análisis.

**Tabla 78**  
*Cajas reductoras*

| Característica<br>Modelo | Potencia [Hp] | Relación | Angulo de Montaje | Número de Salidas | Diámetro Conexiones | Observaciones |
|--------------------------|---------------|----------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| R3200-2M                 | 0.42          | 2:1      | 90°               | 1                 | 15 mm               | Dos bridas    |
| R3300-2M                 | 0.42          | 2:1      | 90°               | 2                 | 15 mm               | Dos bridas    |
| R3200-2                  | 0.33          | 2:1      | 90°               | 1                 | 5/8"                | Dos bridas    |
| R3300-2                  | 0.33          | 2:1      | 90°               | 2                 | 5/8"                | Dos bridas    |

Los criterios de selección utilizados para determinar la mejor alternativa son los siguientes:

- Diámetro de los ejes (DE), considerando que el eje del motor es de 5/8"
- Número de salidas (NS)

Los resultados del análisis se presentan en las tablas 79 y 80.

**Tabla 79**  
*Caja reductora - diámetro de ejes*

|          | R3200-2M | R3300-2M | R3200-2 | R3300-2 | Total |
|----------|----------|----------|---------|---------|-------|
| R3200-2M | ---      | 0        | 0       | 0       | 0     |
| R3300-2M | 0        | ---      | 0       | 0       | 0     |
| R3200-2  | 1        | 1        | ---     | 0       | 2     |
| R3300-2  | 1        | 1        | 0       | ---     | 2     |

**Tabla 80**  
*Caja reductora - número de salidas*

|          | R3200-2M | R3300-2M | R3200-2 | R3300-2 | Total |
|----------|----------|----------|---------|---------|-------|
| R3200-2M | ---      | 0        | 0       | 0       | 0     |
| R3300-2M | 1        | ---      | 1       | 0       | 2     |
| R3200-2  | 0        | 0        | ---     | 0       | 0     |
| R3300-2  | 1        | 0        | 1       | ---     | 2     |

**Tabla 81**  
*Selección caja reductora*

|          | DE | NS | Total |
|----------|----|----|-------|
| R3200-2M | 0  | 0  | 0     |
| R3300-2M | 0  | 2  | 2     |
| R3200-2  | 2  | 0  | 2     |
| R3300-2  | 2  | 2  | 4     |

En la tabla 81 se encuentran los resultados obtenidos, los mismos indican que la caja reductora más adecuada es la R3300-2. La cual tiene 2 salidas, una relación de velocidades 2:1 entre la entrada y la salida, 1 kg de peso y ejes de 5/8" de diámetro. El anexo 10.9 presenta las características técnicas correspondientes.

### **6.7 Encoder**

El *encoder* es el dispositivo encargado de obtener las RPM del motor, en esta ocasión las opciones comerciales analizadas se encuentran detalladas en la tabla 82. Cabe recalcar que solo se analizaron *encoders* incrementales ya que solo se requiere conocer la velocidad y no así posición exacta durante la operación.

**Tabla 82**  
**Encoders incrementales**

| Característica<br>Modelo | Marca   | Diámetro de Hueco | Resolución [PPR] | Voltaje Alimentación [V DC] | Temperatura Operación | Protección IP | Comunicación           | Característica   |
|--------------------------|---------|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|------------------------|--|
| HS35R                    | Dynapar | Hasta 1-1/4"      | Hasta 5000       | 5 a 26                      | -40° a 85° C          | IP 67         | No disponible          | Resiste impactos hasta 400g                                |
| Serie 50H                | Hohner  | 6, 8, 10 o 12 mm  | Hasta 5000       | 5                           | -20° a 80° C          | IP 65         | RS422 (TTL compatible) | No programable   |
| Sendix 5020              | Kubler  | 8, 10, 12 o 15 mm | Hasta 5000       | 5 a 30                      | -40° a 85° C          | IP 67         | RS422 (TTL compatible) | Alta resistencia a la vibración y a errores de instalación |
| Sendix 5026              | Kubler  | 10, 12 o 15 mm    | Hasta 5000       | 5                           | -40° a 85° C          | IP 67         | RS422 (TTL compatible) | Construcción en Inox                                       |

Los criterios de selección utilizados para evaluar los *encoders* son los siguientes:

- Rango de temperatura de trabajo (TT)
- Rango de alimentación (RA)
- Resistencia a la vibración (RV)

**Tabla 83**  
**Encoder - temperatura de trabajo**

|                    | HS35R | Serie 50H | Sendix 5020 | Sendix 5026 | Total |
|--------------------|-------|-----------|-------------|-------------|-------|
| <b>HS35R</b>       | ---   | 1         | 0           | 0           | 1     |
| <b>Serie 50H</b>   | 0     | ---       | 0           | 0           | 0     |
| <b>Sendix 5020</b> | 0     | 1         | ---         | 0           | 1     |
| <b>Sendix 5026</b> | 0     | 1         | 0           | ---         | 1     |

**Tabla 84**  
**Encoder - rango de alimentación**

|                    | HS35R | Serie 50H | Sendix 5020 | Sendix 5026 | Total |
|--------------------|-------|-----------|-------------|-------------|-------|
| <b>HS35R</b>       | ---   | 1         | 0           | 1           | 2     |
| <b>Serie 50H</b>   | 0     | ---       | 0           | 0           | 0     |
| <b>Sendix 5020</b> | 1     | 1         | ---         | 1           | 3     |
| <b>Sendix 5026</b> | 0     | 0         | 0           | ---         | 0     |

**Tabla 85**  
**Encoder - resistencia a la vibración**

|                    | HS35R | Serie 50H | Sendix 5020 | Sendix 5026 | Total |
|--------------------|-------|-----------|-------------|-------------|-------|
| <b>HS35R</b>       | ---   | 0         | 0           | 0           | 0     |
| <b>Serie 50H</b>   | 0     | ---       | 0           | 0           | 0     |
| <b>Sendix 5020</b> | 1     | 1         | ---         | 1           | 3     |
| <b>Sendix 5026</b> | 0     | 0         | 0           | ---         | 0     |

Los resultados de las comparaciones realizadas se encuentran plasmados en las Tablas 83, 84 y 85.

**Tabla 86**  
*Selección encoder*

|                    | TT | RA | RV | Total |
|--------------------|----|----|----|-------|
| <b>HS35R</b>       | 1  | 2  | 0  | 3     |
| <b>Serie 50H</b>   | 0  | 0  | 0  | 0     |
| <b>Sendix 5020</b> | 1  | 3  | 3  | 7     |
| <b>Sendix 5026</b> | 1  | 0  | 0  | 1     |

La Tabla 86 resume los resultados del análisis correspondiente, el cual determino que la mejor alternativa pertenece a la Serie 5020, la misma tiene un rango de temperatura de trabajo de  $-40^{\circ}$  a  $85^{\circ}$  C, el voltaje de alimentación tiene un rango de 5 a 30 V y tienen una alta resistencia a la vibración y a errores de instalación. En el anexo 10.10 se pueden encontrar las características técnicas de dicho *encoder*.

### **6.8 Raspberry Pi**

La unidad de procesamiento, *Raspberry Pi*, está encargada de captar los datos generados por los distintos sensores, interpretar la información obtenida y tomar las decisiones correspondientes con el fin de garantizar el isocinetismo de la muestra obtenida. Las características principales de las alternativas consideradas se encuentran en la Tabla 87.

**Tabla 87**  
*Unidad de procesamiento*

| <b>Característica</b><br><b>Modelo</b> | <b>Voltaje Alimentación [V] DC</b> | <b>I/O Digitales</b> | <b>PWM</b> | <b>Entrada Analógica</b> | <b>Precio (al 22/05/17)</b> |
|--|------------------------------------|----------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|
| <i>Raspberry Pi 2</i>                  | 5                                  | 29                   | 29         | 0                        | 1.040 MXN                   |
| <i>Raspberry Pi 3</i>                  | 5                                  | 29                   | 29         | 0                        | 1.200 MXN                   |

**Tabla 87**  
*Unidad de procesamiento (continuación)*

| <b>Característica</b><br><b>Modelo</b> | <b>Procesador</b>                         | <b>RAM</b> | <b>Largo [mm]</b> | <b>Ancho [mm]</b> |
|--|---|------------|-------------------|-------------------|
| <i>Raspberry Pi 2</i>                  | <i>900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU</i> | 1GB        | 87.10             | 56                |
| <i>Raspberry Pi 3</i>                  | <i>1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU</i>  | 1 GB       | 87.10             | 56                |

Como se puede apreciar en la Tabla 87, las *Raspberry Pi* no tienen pines de entrada analógica, por lo cual, se requiere de un convertidor analógico digital para poder interpretar las señales analógicas. Las opciones disponibles en el mercado local se encuentran en la tabla 88.

**Tabla 88**  
*Convertidor analógico - digital*

| <b>Modelo</b> | <b>Característica</b> | <b>Voltaje de Alimentación [V] DC</b> | <b>Resolución</b> | <b>Tiempo de Conversión</b> |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| ADC808        |                       | 6.5                                   | 8 Bits            | 100 $\mu$ s                 |
| ADC809        |                       | 6.5                                   | 8 Bits            | 100 $\mu$ s                 |

Los criterios de selección utilizados para determinar la mejor alternativa son la velocidad de procesamiento (VP) y el precio, las tablas 89 y 90 presentan los resultados obtenidos durante el análisis.

**Tabla 89**  
*Raspberry Pi - velocidad*

|                       | <b>Raspberry Pi 2</b> | <b>Raspberry Pi 2</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| <b>Raspberry Pi 2</b> | ---                   | 0                     | 0            |
| <b>Raspberry Pi 3</b> | 1                     | ---                   | 1            |

**Tabla 90**  
*Raspberry Pi - precio*

|                       | <b>Raspberry Pi 2</b> | <b>Raspberry Pi 2</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| <b>Raspberry Pi 2</b> | ---                   | 1                     | 1            |
| <b>Raspberry Pi 3</b> | 0                     | ---                   | 0            |

La Tabla 91 presenta el resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 91**  
*Raspberry Pi -sSelección*

|                       | <b>VP</b> | <b>Precio</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------|-----------|---------------|--------------|
| <b>Raspberry Pi 2</b> | 0         | 1             | 1            |
| <b>Raspberry Pi 3</b> | 1         | 0             | 1            |



Como se puede apreciar en la Tabla 91, las dos opciones obtuvieron el mismo puntaje, sin embargo, la velocidad de procesamiento tiene mayor impacto que la diferencia de precio, por lo cual, la opción más adecuada resulta ser la *Raspberry Pi 3*. El anexo 10.11 resume las características técnicas de las computadoras *Raspberry Pi 3*.

## 6.9 Tuberías y conexiones

Con el objetivo de estandarizar las interfaces se determina tomar en cuenta como parámetro la cabeza de la bomba, la cual cuenta con una interfaz de conexión de ¼" NPT. Por ende, siempre que sea posible se utilizaran interfaces con dicho diámetro.



Para esto se propone utilizar tuberías de acero inoxidable con diámetro exterior igual a ¼", con la finalidad de reducir la cantidad de operaciones requeridas para el montaje del dispositivo se selecciona un sistema de unión mediante racor, debido a que este tipo de uniones no requiere soldadura para garantizar la unión hermética entre las piezas.

En esta ocasión el dispositivo es seleccionado en base a los siguientes criterios:

- Construcción en acero inoxidable
- Conexiones NPT de ¼"
- Diámetro externo de tubería ¼"
- Disponibilidad en el mercado local

La Tabla 92 indica las características del racor seleccionado y la Tabla 93 indica algunas posibles alternativas para la selección de tubería. Las características de los racores se encuentran en los anexos 10.12 y 10.13.

**Tabla 92**  
**Racor**

| Distribuidor  | Modelo     | Foto  | Diámetro Ext. Tubería [in] | NPT [in] | Material | Observaciones |
|---------------|------------|---|----------------------------|----------|----------|---------------|
| HY-LOK México | SS-400-1-4 |  | 1/4"                       | 1/4"     | Inox 316 | NPT Macho     |
| HY-LOK México | SS-400-7-4 |  | 1/4"                       | 1/4"     | Inox 316 | NPT Hembra    |

**Tabla 93**  
**Tuberías**

| <b>Distribuidor</b> | <b>Diámetro Nominal [in]</b> | <b>Espesor de la Pared [in]</b> | <b>Largo [m]</b> | <b>Material</b> |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| Todo Inoxidable     | 1/4"                         | 0.065                           | 6,1              | Inox<br>304/316 |
| Todo Inoxidable     | 1/4"                         | 0.088                           | 6,1              | Inox<br>304/316 |
| Todo Inoxidable     | 1/4"                         | 0.119                           | 6,1              | Inox<br>304/316 |
| HY-LOK México       | 1/4"                         | 0.035                           | 6,1              | Inox<br>304/316 |
| HY-LOK México       | 1/4"                         | 0.049                           | 6,1              | Inox<br>304/316 |
| HY-LOK México       | 1/4"                         | 0.065                           | 6,1              | Inox<br>304/316 |

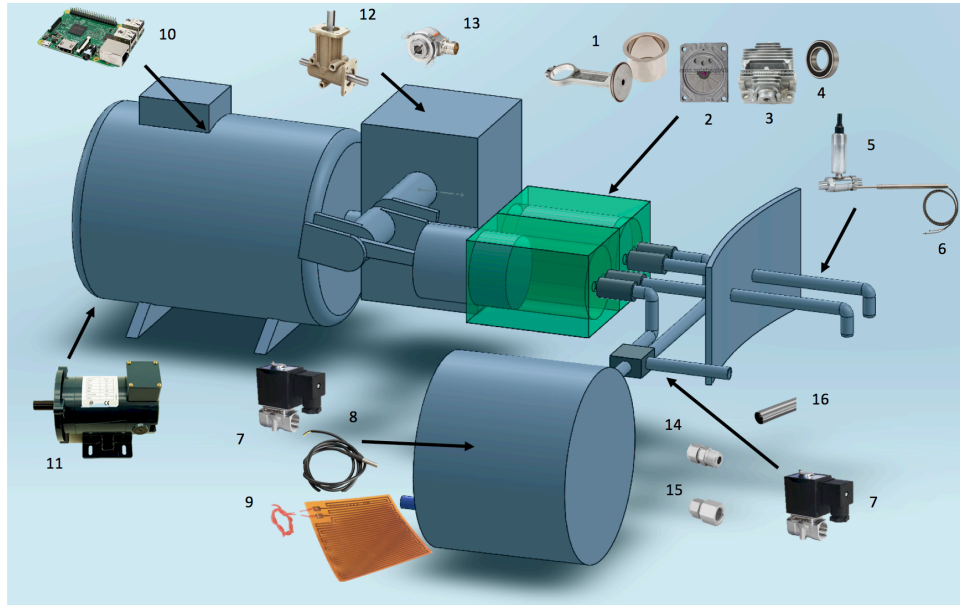
## 7. Componentes comerciales

Este capítulo tiene como objetivo presentar la selección de componentes finales, Tabla 94, seleccionados para satisfacer las diferentes funciones. La misma indica el componente, el modelo, la función que satisface y a que módulo pertenece.

**Tabla 94**  
*Componentes comerciales*

| No. | Componente               | Modelo          | Funciones                           | Módulo             |
|-----|--------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1   | Pistón                   | KK-4835         |                                     |                    |
| 2   | Placa y Válvulas         | Z-AC-0032       | Generar vacío                       | 2                  |
| 3   | Cabeza de la bomba       | MAC2200 AC-0236 |                                     |                    |
| 4   | Rodamiento               | 6203VV - NSK    |                                     |                    |
| 5   | Transductor de presión   | PX409           | Sensar Velocidad Chimenea           | Velocidad Chimenea |
| 6   | Tubo de Pitot            | U-PTX           |                                     |                    |
| 7   | Válvula solenoide        | PDI01022        | Direccionar                         |                    |
| 8   | Sensor de temperatura    | Serie G1/4      | Almacenar                           | 1                  |
| 9   | Calentador Flexible      | Serie KHLV      |                                     |                    |
| 10  | <i>Raspberry Pi</i>      | Raspberry Pi 3  | Procesar información - Acondicionar | 4                  |
| 11  | Motor DC                 | MD01AL          | Convertir energía                   | 3                  |
| 12  | Caja reductora           | R3300-2         | Reducir-Acoplar                     |                    |
| 13  | <i>Encoder</i>           | 5020            | Sensar velocidad                    | 2                  |
| 14  | Interface racor - macho  | SS-400-1-4      | Interface tubería - componente      | Varios             |
| 15  | Interface racor - Hembra | SS-400-7-4      | Interface tubería - componente      | Varios             |
| 16  | Tubería                  | Inox - ¼"       | Trasladar muestra                   | Varios             |

La Figura 17 muestra la arquitectura del dispositivo considerando los componentes comerciales seleccionados, los números presentes en la misma hacen referencia al número de componente de la Tabla 94.



**Figura 17. Arquitectura - componentes comerciales**

Tanto la Tabla 94, como la Figura 17 representan los resultados obtenidos como parte del análisis realizado para generar del diseño conceptual de un dispositivo capaz de satisfacer las necesidades del proyecto LAPEM-PST.

## 8. Modelado mediante Euler-Lagrange

El método utilizado para obtener el modelado dinámico del sistema de generación de vacío, fue el de Euler – Lagrange. Cabe resaltar que se dicho sistema está representado por el motor DC, una caja reductora, el mecanismo de biela – manivela y dos pistones. El objetivo del análisis es determinar las ecuaciones necesarias para, en un trabajo futuro, desarrollar el sistema de control del dispositivo. El cual debe utilizar las señales generadas por los distintos sensores con la finalidad de realizar los ajustes necesarios para garantizar el isocinetismo de la muestra.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial J}{\partial \dot{q}_i} = E_{Fi} \quad \text{Ecuación 3}$$

En la Ecuación 3 se aprecia la representación de Euler – Lagrange utilizada para el análisis, a continuación, se detallan los elementos de la misma:

- $q_i \rightarrow$  i-esima coordenada generalizada
- $L \rightarrow$  Lagrangiano,  $L = U^*(\dot{q}_i) - T(q_i)$
- $U^*(\dot{q}_i) \rightarrow$  Co-energía almacenada en los almacenadores de flujo
- $T(q_i) \rightarrow$  Energía almacenada en los almacenadores de esfuerzo
- $J \rightarrow$  Co-contenido disipado en los disipadores
- $E_{Fi} \rightarrow$  Entrada de flujo relacionada con la i-esima coordenada generalizada

En las Tablas 95 y 96 se enlistan los parámetros que serán considerados como datos:

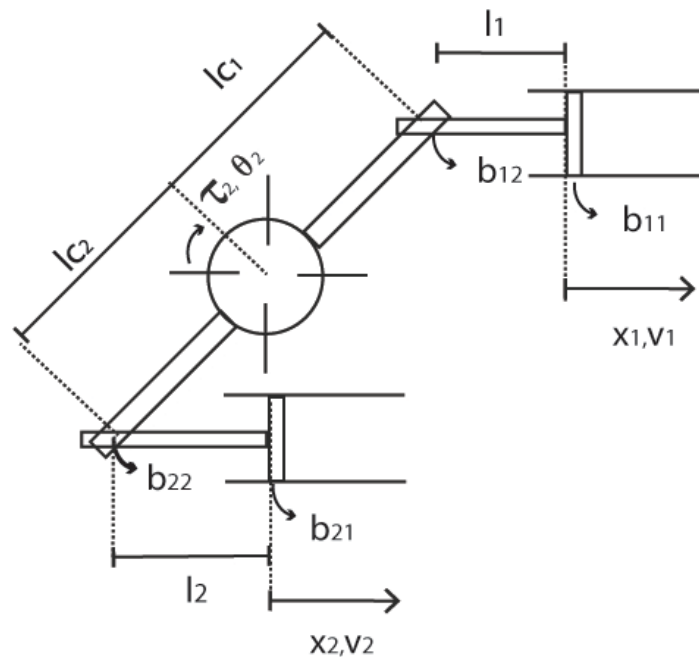
**Tabla 95**  
**Datos pistones**

| <b>Pistón 1</b>                                   | <b>Pistón 2</b>                                   |
|---|---|
| $m_1 \rightarrow$ Masa del pistón 1               | $m_2 \rightarrow$ Masa del pistón 2               |
| $l_1 \rightarrow$ Longitud del vástago pistón 1   | $l_2 \rightarrow$ Longitud del vástago pistón 2   |
| $b_{11} \rightarrow$ Fricción Pistón 2 - Camisa   | $b_{21} \rightarrow$ Fricción Pistón 2 - Camisa   |
| $b_{12} \rightarrow$ Fricción Rodamiento pistón 1 | $b_{22} \rightarrow$ Fricción Rodamiento pistón 2 |
| $x_1 \rightarrow$ Desplazamiento del pistón 1     | $x_2 \rightarrow$ Desplazamiento del pistón 2     |
| $v_1 \rightarrow$ Velocidad del pistón 1          | $v_2 \rightarrow$ Velocidad del pistón 2          |

**Tabla 96**  
**Datos cigüeñal**

| <b>Cigüeñal</b>                               |
|---|
| $l_{c1}$ → Longitud del brazo pistón 1        |
| $l_{c2}$ → Longitud del brazo pistón 2        |
| $b_{12}$ → Fricción rodamiento pistón 1       |
| $b_{22}$ → Fricción rodamiento pistón 2       |
| $m_{\theta}$ → Masa del pistón 1              |
| $\theta_m$ → Ángulo de giro del eje del motor |
| $\tau_m$ → Torque entregado por el motor      |

El esquema del prototipo se encuentra plasmado en la Figura 18, en la cual se pueden apreciar los dos cilindros, con sus respectivos sistemas biela - manivela.



**Figura 18. Prototipo esquematizado**

Como se puede apreciar en la figura 18, el conjunto completo de coordenadas está dado por (Tabla 97):

**Tabla 97**  
**Conjunto completo de coordenadas**

| <b>Conjunto Completo</b> |
|--------------------------|
| $x_1$                    |
| $x_2$                    |
| $\theta_m$               |

Sin embargo, debido a la construcción del mecanismo se tienen ciertas restricciones mecánicas, las mismas se encuentran detalladas en la Figura 19.

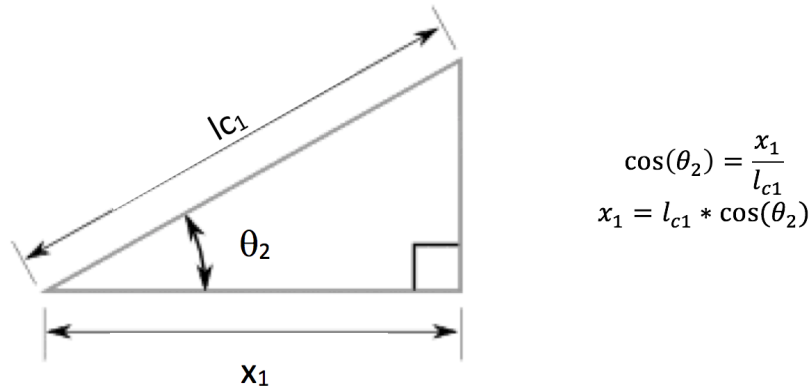


Figura 19. Restricciones mecánicas

A demás de las restricciones mecánicas planteadas en la Figura 19, se sabe que  $X_1=X_2$ , por lo cual las restricciones presentes se encuentran plasmadas en la Tabla 98.

Tabla 98  
Restricciones mecánicas

| Restricciones                   |
|---------------------------------|
| $x_1 = x_2$                     |
| $x_1 = l_{c1} * \cos(\theta_m)$ |

En función al conjunto completo de coordenadas y a las restricciones mecánicas se procede a plantear las coordenadas generalizadas que describen el comportamiento del sistema, las mismas se encuentran detalladas en la Tabla 99.

Tabla 99  
Coordenadas generalizadas

| Conjunto Completo | Restricciones                   | Coordenadas Generalizadas                           |
|-------------------|---------------------------------|---|
| $x_1$             | $x_1 = x_2$                     | $x_1 = q$   |
| $x_2$             | $x_1 = l_{c1} * \cos(\theta_m)$ | $x_2 = -q$  |
| $\theta_m$        |                                 | $\theta_m = \cos^{-1}\left(\frac{q}{l_{c1}}\right)$ |

Como indica la Ecuación 3, el Lagrangiano está en función tanto de los almacenadores de flujo presentes como de los almacenadores de esfuerzo y los disipadores. La Tabla 100 presenta las ecuaciones características de los distintos elementos que podrían comportarse de tal manera dentro de un mecánico tradicional.

**Tabla 100**  
*Almacenadores y disipadores*

|                                | Almacenadores de Flujo Masas | Almacenadores de Esfuerzo Resortes | Disipadores Amortiguadores        |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Traslación / Elongación</b> | $U^* = \frac{1}{2}mv^2$      | $T = \frac{1}{2}kx^2$              | $J = \frac{1}{2}bv^2$             |
| <b>Rotación</b>                | $U^* = \frac{1}{2}I\omega^2$ | $T = \frac{1}{2}k_\theta\theta^2$  | $J = \frac{1}{2}b_\theta\omega^2$ |

Como sabemos el Lagrangiano se encuentra representado por la siguiente ecuación.

$$L = U^*(\dot{q}_i) - T(q_i) \quad \text{Ecuación 4}$$

Tomando  $q = x_1$  se tiene que:

$$U^* = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}I\omega_m^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

Sabemos que:

$$v_1 = \dot{x}_1 = \dot{q} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$v_2 = \dot{x}_2 = -\dot{x}_1 = -\dot{q} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\omega_m = \dot{\theta} = \frac{\dot{q}}{l_{c1}} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$m_1 = m_2 \quad \text{Ecuación 9}$$

Por lo tanto, al remplazar las Ecuaciones 6 - 9 en la Ecuación 5:

$$U^* = \frac{1}{2}m_1\dot{q}^2 + \frac{1}{2}m_1\dot{q}^2 + \frac{1}{2}I \left( \frac{\dot{q}}{l_{c1}} \right)^2 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$U^* = m_1\dot{q}^2 + \frac{1}{2}I \left( \frac{\dot{q}^2}{l_{c1}^2} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$



$$U^* = m_1 \dot{q}^2 + \frac{1}{2} I \left( \frac{\frac{\dot{q}^2}{l_{c1}^2}}{\frac{l_{c1}^2 - q^2}{l_{c1}^2}} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$U^* = m_1 \dot{q}^2 + \frac{1}{2} I \left( \frac{\dot{q}^2}{l_{c1}^2 - q^2} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

No se consideran almacenadores de esfuerzo en el prototipo, por lo tanto:

$$T = 0 \quad \text{Ecuación 14}$$

Remplazando las Ecuaciones 13 y 14 en la Ecuación 4:

$$L = m_1 \dot{q}^2 + \frac{1}{2} I \left( \frac{\dot{q}^2}{l_{c1}^2 - q^2} \right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} = 2m_1 \dot{q} + I \frac{\dot{q}}{l_{c1}^2 - q^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) = 2m_1 \ddot{q} + I \frac{\ddot{q}(l_{c1}^2 - q^2) + 2\dot{q}^2 q}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\frac{\partial L}{\partial q} = \frac{Iq\dot{q}^2}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} \quad \text{Ecuación 18}$$

Posteriormente se procede a determinar el co-contenido disipado, asumiendo que la velocidad de los rodamientos (unión brazo - vástago) es igual a la del motor.

$$J = \frac{1}{2} b_{11} v_1^2 + \frac{1}{2} b_{21} v_2^2 + \frac{1}{2} b_{12} \omega_m^2 + \frac{1}{2} b_{22} \omega_m^2 \quad \text{Ecuación 19}$$

Sabemos que:

$$b_{11} = b_{12} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$b_{12} = b_{22} \quad \text{Ecuación 21}$$

Remplazando las Ecuaciones 6 y 7 en la Ecuación 19

$$J = \frac{1}{2} b_{11} \dot{q}^2 + \frac{1}{2} b_{11} \dot{q}^2 + \frac{1}{2} b_{12} \omega_m^2 + \frac{1}{2} b_{12} \omega_m^2 \quad \text{Ecuación 22}$$

Remplazando las Ecuaciones 8, 20 y 21 en la Ecuación 22:

$$J = b_{11} \dot{q}^2 + b_{12} \frac{\dot{q}^2}{l_{c1}^2 - q^2} \quad \text{Ecuación 23}$$

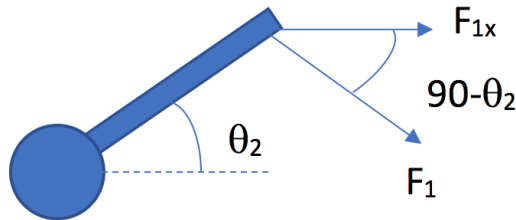
$$\frac{\partial J}{\partial \dot{q}} = 2b_{11} \dot{q} + 2b_{12} \frac{\dot{q}}{l_{c1}^2 - q^2} \quad \text{Ecuación 24}$$

Remplazando las Ecuaciones 17, 18 y 24 en la Ecuación 3:

$$2m_1\ddot{q} + I \frac{\ddot{q}(l_{c1}^2 - q^2) + 2\dot{q}^2 q}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} - \frac{Iq\dot{q}^2}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} + 2b_{11}\dot{q} + 2b_{12} \frac{\dot{q}}{l_{c1}^2 - q^2} = E_F \quad \text{Ecuación 25}$$

La ecuación 25 presenta el modelo de Euler - Lagrange del prototipo en función de la entrada de flujo referida a la coordenada  $X_1$ .

La entrada de flujo,  $E_f = F_{1x}$ , que afecta a la coordenada generalizada se determina en función al torque entregado por la caja reductora ( $\tau_2$ ). La misma debe estar representada en función al voltaje aplicado al motor DC, ya que este parámetro es el que deberá ser controlado con el fin de garantizar el isocinetismo de la muestra.



**Figura 20. Entrada de flujo**

Con base en la descomposición de fuerzas presenta en la figura 20, se procede a calcular la entrada de flujo.

Partiendo de la definición de los transformadores:

$$\begin{bmatrix} e_2 \\ f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ f_1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde,

$$e_2 = v_1 = \dot{q} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$f_2 = E_F = F_{1x} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$f_1 = \tau_2 \quad \text{Ecuación 29}$$

Tenemos que:

$$\tau_2 = F_1 * l_{c1} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$\cos(90^\circ - \theta_2) = \frac{F_{1x}}{F_1} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$\tau_2 = \frac{F_{1x}}{\cos(90^\circ - \theta_2)} * l_{C1} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$F_{1x} = \frac{\tau_2}{l_{C1}} * \cos(90^\circ - \theta_2) \quad \text{Ecuación 33}$$

Por lo tanto,

$$n = \frac{l_{C1}}{\cos(90^\circ - \theta_2)} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$F_{1x} = \frac{\tau_2}{l_{C1}} * (\cos(90^\circ) * \cos(\theta_2) + \sin(90^\circ) * \sin(\theta_2)) \quad \text{Ecuación 35}$$

Por lo tanto,

$$F_{1x} = \frac{\tau_2}{l_{C1}} * \sin(\theta_2) \quad \text{Ecuación 36}$$

$$F_{1x} = \frac{\tau_2}{l_{C1}} * \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{x_1}{l_{C1}}\right)\right) \quad \text{Ecuación 37}$$

$$F_{1x} = \frac{\tau_2}{l_{C1}} * \sin\left(\cos^{-1}\left(\frac{q}{l_{C1}}\right)\right) \quad \text{Ecuación 38}$$

$$F_{1x} = \frac{\tau_2}{l_{C1}} * \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{C1}^2}} \quad \text{Ecuación 39}$$

Sabemos que la caja reductora tiene una relación 2:1 ( $\tau_2=2\tau_m$ ), por lo tanto:

$$F_{1x} = \frac{2\tau_m}{l_{C1}} * \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{C1}^2}} \quad \text{Ecuación 40}$$

El modelo del motor DC se obtiene a partir del esquema simplificado presentado en la Figura 21.

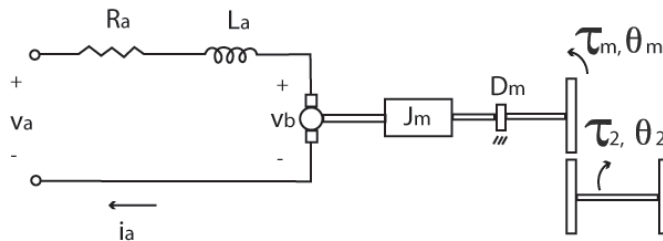


Figura 21. Esquema simplificado motor DC

Donde,

$v_b \rightarrow$  Contra Fuerza Electro Motriz (FEM)

$k_b \rightarrow$  Constante Contra FEM

$\tau_m \rightarrow$  Torque Generado por el Motor

$k_t \rightarrow$  Constante del Motor

$R_a \rightarrow$  Resistencia Armadura

$L_a \rightarrow$  Inductancia Armadura, se considera que es igual a 0

$i_a \rightarrow$  Corriente Armadura

$v_a \rightarrow$  Voltaje Armadura

Sabemos que,

$$v_b = v_b * \dot{\theta}_m \quad \text{Ecuación 41}$$

$$R_a * i_a + L_a * \frac{di_a}{dt} + v_b = v_a \quad \text{Ecuación 42}$$

$$\tau_m = k_t * i_a \quad \text{Ecuación 43}$$

Si consideramos  $L_a = 0$ ,

$$v_b = k_b * \dot{\theta}_m \quad \text{Ecuación 44}$$

$$R_a * i_a + v_b = v_a \quad \text{Ecuación 45}$$

$$\tau_m = k_t * i_a \quad \text{Ecuación 46}$$

De la ecuación 46,

$$i_a = \frac{\tau_m}{k_t} \quad \text{Ecuación 47}$$

Remplazando las Ecuaciones 44 y 47 en la Ecuación 45,

$$R_a * \frac{\tau_m}{k_t} + v_b * \dot{\theta}_m = v_a \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde,

$J_m \rightarrow$  Inercia del motor

$D_m \rightarrow$  Inercia del motor

$$\tau_m(s) = (J_m s^2 + D_m s) \theta_m(s) \quad \text{Ecuación 49}$$

$$\tau_m = J_m \ddot{\theta}_m + D_m \dot{\theta}_m \quad \text{Ecuación 50}$$

$$\ddot{\theta}_m = \frac{\ddot{q}}{l_{c1} \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}} + \frac{\dot{q}^2 q}{l_{c1}^3 \left(1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$\tau_m = \frac{2 * D_m \dot{q}}{l_{c1} \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}} + 2 * J_m \left( \frac{\dot{q}^2 q}{l_{c1}^3 \left(1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{\ddot{q}}{l_{c1} \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}} \right)$$

**Ecuación 52**

$$\dot{\theta}_m = \frac{\tau_m - J_m \ddot{\theta}_m}{D_m}$$

**Ecuación 53**

$$R_a * \frac{\tau_m}{k_t} + \frac{k_b}{D_m} * (\tau_m - J_m \ddot{\theta}_m) = v_a$$

**Ecuación 54**

$$\tau_m \left( \frac{R_a}{k_t} + \frac{k_b}{D_m} \right) = v_a + J_m \ddot{\theta}_m \frac{k_b}{D_m}$$

**Ecuación 55**

$$\tau_m = \frac{v_a + J_m \ddot{\theta}_m \frac{k_b}{D_m}}{\frac{R_a}{k_t} + \frac{k_b}{D_m}}$$

**Ecuación 56**

Remplazando  $\ddot{\theta}_m$ ,

$$\tau_m = \frac{v_a + 2 * J_m \left( \frac{\ddot{q}}{l_{c1} \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}} + \frac{\dot{q}^2 q}{l_{c1}^3 \left(1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \frac{k_b}{D_m}}{\frac{R_a}{k_t} + \frac{k_b}{D_m}}$$

**Ecuación 57**

Obteniendo  $F_{1x}$ ,

$$F_{1x} = \frac{2 * \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}} v_a + \frac{J_m k_b \left( \frac{\ddot{q}}{l_{c1} \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}} + \frac{q^2 q}{l_{c1}^3 \left(1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right)}{D_m}}{l_{c1} \left( \frac{R_a}{k_t} + \frac{k_b}{D_m} \right)} \quad \text{Ecuación 58}$$

Simplificando con la ayuda de Mathematica:

$$F_{1x} = \frac{4q^2 J_m k_b k_t q + 4\ddot{q} J_m k_b k_t (l_{c1}^2 - q^2) + 2D_m k_t l_{c1} (l_{c1}^2 - q^2) v_a \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}}{l_{c1}^2 (l_{c1}^2 - q^2) (k_b k_t + D_m R_a)} \quad \text{Ecuación 59}$$

Remplazando la Ecuación 59 en la Ecuación 25 para obtener la ecuación de Euler Lagrange en función del voltaje aplicado a las terminales del motor, se obtiene:

$$2m_1 \ddot{q} + I \frac{\ddot{q}(l_{c1}^2 - q^2) + 2\dot{q}^2 q}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} - \frac{I q \dot{q}^2}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} + 2b_{11} \dot{q} + 2b_{12} \frac{\dot{q}}{l_{c1}^2 - q^2} = \frac{4q^2 J_m k_b k_t q + 4\ddot{q} J_m k_b k_t (l_{c1}^2 - q^2) + 2D_m k_t l_{c1} (l_{c1}^2 - q^2) v_a \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}}{l_{c1}^2 (l_{c1}^2 - q^2) (k_b k_t + D_m R_a)} \quad \text{Ecuación 60}$$

La Ecuación 60 representa el modelo dinámico del sistema en función del voltaje aplicado a las terminales del motor. Dicha ecuación corresponde al punto de partida para el diseño del controlador, el cual por medio de la comparación de la velocidad del gas que fluye dentro de la chimenea y la señal generada por el *encoder* debe determinar el voltaje requerido para alimentar el motor con la finalidad de alcanzar el isocinetismo deseado. El diseño de la lógica de control necesaria para este proceso, se considera trabajo futuro.

## 9. Resultados y conclusiones

Como se menciona al inicio del presente trabajo la tecnología utilizada actualmente, en México, para la medición de PST está diseñada para seguir un proceso de análisis gravimétrico. El cual conlleva demasiado tiempo para obtener los resultados finales. Si bien en otros países existe tecnología disponible para realizar la medición de PST dentro de la chimenea mediante refracción laser, no se encontró ningún dispositivo comercial diseñado para extraer la muestra para su análisis dentro de una cámara de condiciones controladas. Motivo por el cual surge la necesidad de realizar el diseño conceptual de un sistema automático de muestreo isocinético para la medición de PST en fuentes fijas, objetivo principal de este trabajo de investigación.

El diseño es considerado una de las áreas más complicadas de desarrollar dentro de la ingeniería, debido a la gran capacidad de abstracción que requiere el mismo y a la dificultad que conlleva estructurar adecuadamente el proceso de diseño. Sin embargo, gracias al uso de las metodologías empleadas, éste puede ser estructurado de acuerdo a la necesidad del proyecto. Como resultado del análisis se obtienen un total de diez funciones y dos sub-funciones necesarias para satisfacer las necesidades del cliente, dentro de las cuales sobresalen la de “generar vacío”, “direccionar”, “senzar velocidad – muestra” y “senzar velocidad – chimenea”.

La función “generar vacío” sobresale debido a que es la encargada de mantener un ritmo de extracción adecuado para alcanzar el isocinetismo requerido, por otro lado, la función “direccionar” debe ser capaz de desviar el gas de manera oportuna para garantizar la representatividad de la muestra, mientras que las funciones “senzar velocidad – muestra” y “senzar velocidad – chimenea” proporcionan los parámetros necesarios para el ajuste de la velocidad de manera oportuna.

El resultado principal del presente trabajo está conformado tanto por el listado de partes comerciales, presentado en la tabla 101, como por el modelo de Euler – Lagrange del dispositivo, Ecuación 61. La función “generar vacío” es generada mediante repuestos comerciales, para compresores de pistón libres de aceite. Se determinó que esta es la alternativa más adecuada, debido a que los mismos garantizan el correcto funcionamiento del equipo sin la necesidad de invertir tiempo y dinero en el diseño de nuevos pistones.

**Tabla 101**  
**Componentes comerciales**

| <b>No.</b> | <b>Componente</b>        | <b>Modelo</b>   | <b>Funciones</b>                    | <b>Módulo</b>      |
|------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1          | Pistón                   | KK-4835         |                                     |                    |
| 2          | Placa y Válvulas         | Z-AC-0032       |                                     |                    |
| 3          | Cabeza de la bomba       | MAC2200 AC-0236 | Generar vacío                       | 2                  |
| 4          | Rodamiento               | 6203VV - NSK    |                                     |                    |
| 5          | Transductor de presión   | PX409           | Sensar Velocidad Chimenea           | Velocidad Chimenea |
| 6          | Tubo de Pitot            | U-PTX           |                                     |                    |
| 7          | Válvula solenoide        | PDI01022        | Direccionar                         |                    |
| 8          | Sensor de temperatura    | Serie G1/4      | Almacenar                           | 1                  |
| 9          | Calentador Flexible      | Serie KHLV      |                                     |                    |
| 10         | <i>Raspberry Pi</i>      | Raspberry Pi 3  | Procesar información - acondicionar | 4                  |
| 11         | Motor DC                 | MD01AL          | Convertir energía                   | 3                  |
| 12         | Caja reductora           | R3300-2         | Reducir-Acoplar                     |                    |
| 13         | <i>Encoder</i>           | 5020            | Sensar velocidad                    | 2                  |
| 14         | Interface racor - macho  | SS-400-1-4      | Interface tubería - componente      | Varios             |
| 15         | Interface racor - Hembra | SS-400-7-4      | Interface tubería - componente      | Varios             |
| 16         | Tubería                  | Inox - ¼"       | Trasladar muestra                   | Varios             |

Tomando en cuenta el peso de los principales componentes comerciales se obtiene que el prototipo pesa alrededor de 16.6 kg, por lo que se cumple satisfactoriamente el requerimiento del cliente, la tabla 102 contiene el resumen del peso de dichos componentes. Cabe recalcar que dicha tabla no incluye el peso de la brida ni el del chasis, esto se debe a que este debe incluir el de la cámara de almacenamiento sin embargo no se cuenta con las dimensiones de la misma ya que el presente trabajo forma parte de un proyecto mayor. El cual debido a temas administrativos no pudo ser desarrollado.



**Tabla 102**  
**Peso componentes comerciales**

| Pieza                  | Modelo          | Cantidad | Peso Unitario [kg] | Peso Total [kg] |
|------------------------|-----------------|----------|--------------------|-----------------|
| Pistón                 | KK-4835         | 2        | 0,29               | 0,58            |
| Placa y Válvulas       | Z-AC-0032       | 2        | 0,18               | 0,36            |
| Cabeza de la bomba     | MAC2200 AC-0236 | 2        | 0,3                | 0,6             |
| Rodamiento             | 6203VV - NSK    | 2        | 0,087              | 0,174           |
| Transductor de presión | PX409           | 1        | 0,2                | 0,2             |
| Motor DC               | MD01AL          | 1        | 7,7                | 7,7             |
| Caja reductora         | R3300-2         | 1        | 1                  | 1               |
| Tubería                | Inox - ¼"       | 6        | 1                  | 6               |
|                        |                 |          | Peso Total         | 16,614          |

El modelo de Euler – Lagrange en función del voltaje aplicado, ecuación 61, conforma el punto de partida para el trabajo futuro. Por medio de dicha ecuación y la comparación de los datos entregados por el sensor de velocidad del gas dentro de la chimenea y el *encoder* conectado al sistema biela – manivela, es posible desarrollar la lógica de control encargada de determinar el voltaje necesario que debe ser aplicado al motor, para así alcanzar el isocinetismo requerido.

$$2m_1\ddot{q} + I \frac{\ddot{q}(l_{c1}^2 - q^2) + 2\dot{q}^2 q}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} - \frac{Iq\dot{q}^2}{(l_{c1}^2 - q^2)^2} + 2b_{11}\dot{q} + 2b_{12}\frac{\dot{q}}{l_{c1}^2 - q^2} = \frac{4\dot{q}^2 J_m k_b k_t q + 4\ddot{q} J_m k_b k_t (l_{c1}^2 - q^2) + 2D_m k_t l_{c1} (l_{c1}^2 - q^2) v_a \sqrt{1 - \frac{q^2}{l_{c1}^2}}}{l_{c1}^2 (l_{c1}^2 - q^2) (k_b k_t + D_m R_a)} \quad \text{Ecuación 61}$$

El presente trabajo permite concluir que es posible diseñar un dispositivo automático de nuestro isocinético, por medio del proceso de diseño planteado por Dieter & Schmidt. El cual nos permite abordar el problema sin caer en soluciones preconcebidas, gracias al nivel de abstracción alcanzado durante el análisis. El trabajo de investigación desarrollado busca reducir el tiempo de análisis requerido por el método gravimétrico, para así incrementar el beneficio de los ajustes realizados al proceso productivo. Disminuyendo el costo de producción y la generación de contaminantes, por medio del ajuste oportuno de los quemadores. Tan conveniente y necesario para los requerimientos ambientales actuales.

## 10. Referencias

- Ministerio del Medio Ambiente, Chile. (s.f.). *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*. Recuperado el 11 de 10 de 2015, de <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-42137.html>
- Jahnke, J. A. (1992). Continuous Emission Monitoring. En J. A. Jahnke, *Continuous Emission Monitoring* (págs. 31-57). Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Apex Instruments. (01 de 11 de 2015). *Apex Instruments Source Testing Equipment*. Obtenido de Apex Instruments Source Testing Equipment: <http://www.apexinst.com/products/double-head-diaphragm-pumps/xe-daa-v>
- Environmental Supply Company. (01 de 11 de 2015). *Environmental Supply Company*. Obtenido de Environmental Supply Company: <http://www.environsupply.com/product/p-0523-101q-oil-less-rotary-vane-pump/#tab-events>
- Wigth, G. D. (1994). Fundamentals of Air Sampling. En G. D. Wigth, *Fundamentals of Air Sampling* (págs. 171-173). Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
- Basics of AC Drives, Siemens. (2016). *quickSTEP Online Courses*. Recuperado el 04 de Abril de 2016, de SIEMENS: <http://www.sitrain.us/step/flash/STEPACDrives/index.htm>
- WEG. (Diciembre de 2015). Motores Eléctricos: Guía de Especificación. Jaraguá do Sul, SC, Brasil.
- Ugalde, M. L. (Octubre de 2007). Nuevas tecnologías utilizadas en los sistemas de distribución valvular en los motores a gasolina para vehículos livianos. La Uraça, San José, Costa Rica.
- MecanESO. (2005). *Biela-manivela / Excéntrica-biela* . Recuperado el 11 de Abril de 2016, de [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_biela-manivela.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_biela-manivela.htm)
- MecanESO. (2005). *Cremallera-Piñón*. Recuperado el 11 de Abril de 2016, de [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cremallera-pinon.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinon.htm)
- Bush Group. (s.f.). *Bush Bombas y Sistemas de Vacío*. Recuperado el 11 de Abril de 2016, de <http://www.buschvacuum.com/cl/es/technology/oil-lubricated-rotary-vane-vacuum-pumps>
- Eltra. (2000). Encoder Incremental: Descripción General. Florida, Buenos Aires, Argentina.
- Mott, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos. En R. L. Mott, *Mecánica de Fluidos* (J. E. Brito, Trad., pág. 492). Naucalpan de Juárez, Edo. de México, México: Pearson Educación.
- Arduino. (2016). *Introduction: What is Arduino*. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. H. (2004). *Product Design and Development* . New York, USA: McGraw-Hill.

- Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). Engineering Design. En L. C. George E. Dieter, *Engineering Design* (págs. 280-282). New York, USA: McGraw-Hill.
- Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). *Engineering Design*. New York: McGraw Hill.
- Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). Engineering Design. En G. E. Dieter, & L. C. Schmidt, *Engineering Design* (págs. 301-309). New York, USA: McGraw-Hill.
- DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. (13 de Diciembre de 1993). NMX-AA-009-1993-SCFI. México D.F., México.
- IMCOSA. (2013). Recuperado el 16 de Febrero de 2017, de IMCOSA: <http://www.imcosamex.com/nueva/wp-content/uploads/2013/07/funcionan-valvulas-solenoides.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Atmósfera - Calidad de Aire*. Recuperado el 7 de Marzo de 2017, de [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/05\\_atmosfera/5\\_1\\_1.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_1_1.html)
- California Environmental Protection Agency. (27 de Julio de 1997). Method 5 - Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources . California, Estados Unidos de América.
- OMEGA. (2017). *OMEGA*. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de Sitio web de OMEGA México : <http://mx.omega.com/prodinfo/transductores-de-presion.html>
- The Editors of Encyclopædia Britannica. (31 de Mayo de 2002). *Encyclopædia Britannica*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de <https://www.britannica.com/technology/pump#ref17055>
- Keyence. (2017). *¿Qué es un sensor de proximidad inductivo?* Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de Fundamentos del sensor: <http://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/>
- Engineers Edge. (2000). *Engineers Edge Solutions by Design*. Recuperado el Septiembre de 2016, de [http://www.engineersedge.com/pumps/positive\\_disp\\_pump\\_reciprocating.htm](http://www.engineersedge.com/pumps/positive_disp_pump_reciprocating.htm)
- NMX-AA-010-SCFI-2001. (2001). *Secretaría de Economía*. Obtenido de Leyes y Normas SEMARNAT: [http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes\\_y\\_Normas\\_SEMARNAT/NMX/Atmósfera/1.2001.pdf](http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes_y_Normas_SEMARNAT/NMX/Atmósfera/1.2001.pdf)
- Airflow Sciences Corporation. (2015). *Isokinetic Particle Sampling*. Recuperado el 2016, de <http://www.airflowsciences.com/Services/FieldTesting/Isokinetic>
- Zuk, M., Tzintzun Cervantes, M. G., & Rojas Bracho, L. (2007). *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología . Recuperado el 11 de 10 de 2015, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/517/cap4.pdf>

- Apex Instruments. (2002). *Pumps*. Obtenido de Product: <http://old.apexinst.com/products/pumpassy.htm>
- CleanAir. (2016). *Accessories*. Obtenido de <http://www.store.cleanair.com/gast-lubricated-rotary-vane-pump-model-0523-series/>

## 11. Anexos

|   |     |
|---|-----|
| 10.1 XXII Congreso SOMIM – carta de aceptación..... | 90  |
| 10.2 Pistón – KK-4835 .....                         | 91  |
| 10.3 Transductor de presión – Serie PX409 .....     | 92  |
| 10.4 Tubo de Pitot tipo S – U-PTX .....             | 99  |
| 10.5 Válvula solenoide – PDI01022 .....             | 100 |
| 10.6 Sensor de temperatura – DS18B20 .....          | 101 |
| 10.7 Calentador Flexible – Serie KHLV .....         | 102 |
| 10.8 Motor DC – MD01AL .....                        | 103 |
| 10.9 Caja reductora – R3300-2 .....                 | 103 |
| 10.10 Encoder – Sendix 5020 .....                   | 104 |
| 10.11 Raspberry Pi 3 .....                          | 106 |
| 10.12 Racor – macho .....                           | 107 |
| 10.13 Racor – hembra .....                          | 108 |
| 10.14: Norma: NMX-AA-010-SCFI-2001 .....            | 109 |
| 10.15: Norma: <i>Method 5</i> .....                 | 110 |
| 10.16: Proyecto LAPEM-PST .....                     | 111 |

## 10.1: XXII Congreso SOMIM – carta de aceptación



# XXIII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM

### CONSEJO DIRECTIVO 2016-2018

DR. VÍCTOR HUGO JACOBO ARMENDÁRIZ  
Presidente

DR. ARTURO BARBA PINGARRÓN  
Tesorero

M. EN C. EDGAR ISAAC RAMÍREZ DÍAZ  
Secretario

DR. SIMÓN MARTÍNEZ MARTÍNEZ  
Vicepresidente de Termofluidos

M. EN C. OSVALDO RUIZ CERVANTES  
Vicepresidente de Mecánica Teórica

DR. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ  
Vicepresidente de Diseño Mecánico

DR. ÁLVARO AYALA RUIZ  
Vicepresidente de Manufactura y Materiales

DR. MIGUEL ÁNGEL FLORES RENTERÍA  
Vocal de educación

DRA. LAURA CASTRO GÓMEZ  
Vocal de Difusión

DR. CARLOS REYES RUIZ  
Vocal de Asuntos Estudiantiles

DR. ARTURO ABUNDEZ PLIEGO  
Coordinador Regional

### CARLOS VARGAS ROJAS Presente.

A la vez de saludarlo sirva este medio para informar a usted que el Comité Evaluador del 23 Congreso Internacional Anual de la SOMIM ha decidido aceptar para su presentación y publicación el trabajo titulado:

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MUESTREO ISOCINÉTICO PARA LA MEDICIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN FUENTES FIJAS**

Con clave de registro: A1\_24

A nombre de la SOMIM lo felicito por haber enviado un trabajo digno de ser publicado en las memorias del 23 Congreso Internacional Anual de la SOMIM que se llevará a cabo los días 20 al 22 de Septiembre de 2017 en Cuernavaca, Morelos, México.

Para poder registrar su artículo deberá seguir el procedimiento que se encuentra en el instructivo adjunto a la presente. Registrando el artículo y habiendo validado la información solicitada su trabajo será publicado en las memorias de este congreso.

En breve le enviaremos la información turística, ubicación de la sede, y en semanas próximas al evento el Programa General con la fecha, hora y lugar de la presentación de su artículo.

Para cualquier duda que pudiera surgir nos ponemos a sus órdenes en la siguiente dirección de correo electrónico [secretario@somim.org.mx](mailto:secretario@somim.org.mx)

En espera de que en el futuro podamos seguir contando con su decidida participación, reciba un cordial saludo.



Atentamente,  
México Cd. Mx., 11 de agosto del 2017

Dr. Víctor Hugo Jacobo Armendáriz  
PRESIDENTE DE LA SOMIM



## 10.2: Pistón – KK-4835



The approximate connecting rod dimensions are as follows:

Connecting rod length: 5.80 inches.

Connecting rod thickness: .465 inches.

Connecting rod width: 1.00 inches.

Rod Cap: 2.240 inches.

The approximate cylinder dimensions are as follows:

Inside Diameter 2.365 inches.

Outside Diameter 2.465 inches.

Outside Shoulder: 2.945 inches.

Total Height: 1.980 inches.

The KK-4835 kit contains the following items:

1 ACG-1 Connecting rod Non Bearing Style.

1 D25837 Coated Cylinder Sleeve.

1 DAC-308 Coated Oil Free Piston Ring.

1 SSF-3158-1 Piston Rod Cap Screw.

1 SSG-8156 Valve Plate to Cylinder Sleeve O-Ring.

1 ACG-45 Cylinder head to Valve Plate O-Ring.

1 Set of service instructions for replacing connecting rod kit.

## TRANSDUCTORES DE PRESIÓN DE ALTA PRECISIÓN

### Serie PX409

- ✓ 0,08% BSL incluye linealidad, histéresis y repetibilidad
- ✓ Amplio rango de compensación de la temperatura de -29 a 85 °C (-20 a 185 °F)
- ✓ Calibración rastreada por NIST de 5 puntos incluida
- ✓ Salidas:
  - mV/V
  - 0 a 5 V o 0 a 10 V
  - 4 a 20 mA
- ✓ Rangos de 10 inH<sub>2</sub>O a 5000 psi

PX409-100GV, se muestra en su tamaño real.

PX419-015GV, muestra en su tamaño real.

PX429-030GV, muestra en su tamaño real.

**DISEÑO RESISTENTE**  
Para aplicaciones  
aerospaciales, de  
automoción, de prueba  
e industriales

Modelos de presión  
diferencial

Disponibilidad  
de los modelos más  
populares para  
entrega rápida

B-25a

B



# DISEÑO PIEZORESISTIVO EN ESTADO SÓLIDO CON RENDIMIENTO ALTAS TEMPERATURAS PARA APLICACIONES INDUSTRIALES, DE AUTOMOCIÓN, PRUEBAS Y AEROSPACIALES

**mV/V, salidas de 0 a 5 Vcc, 0 a 10 Vcc, 4 a 20 mA**  
**Baja presión: 10 inH<sub>2</sub>O y**  
**Rangos estándar: 5 a 5000 psi**  
**Rangos métricos: 25 mbares a 345 bares**  
**Presión manométrica o absoluta**

## Serie PX409



- ✓ Alta precisión  $\pm 0,08\%$  BSL incluye linealidad, histéresis y repetibilidad
- ✓ Amplio rango compensado de la temperatura de -29 a 85 °C (-20 a 185 °F)
- ✓ Intervalo de rendimiento de la temperatura de alta calidad:  $\pm 0,5\%$  en un rango compensado
- ✓ Calibración rastreable por NIST de 5 puntos incluida
- ✓ Compensación digital térmica dinámica en todo el rango de temperatura y presión
- ✓ Rangos de presión baja desde 10 inH<sub>2</sub>O
- ✓ Piezas húmedas de acero inoxidable
- ✓ Tiempo de respuesta rápido
- ✓ Sólida estabilidad y fiabilidad
- ✓ Presiones manométricas y absolutas

Los transductores de presión piezoresistivos de Omega han demostrado tener un alto rendimiento en aplicaciones comerciales y aeroespaciales durante más de 25 años. El proceso piezoresistivo emplea calibradores de tensión integrados en un disco de silicio de alta estabilidad. El disco de silicio se divide en troqueles individuales, cada uno de los cuales contiene un puente de calibración de tensión completo. El troquel se monta en una cámara sellada protegida del ambiente mediante pasantes de vidrio metal y un diafragma de acero inoxidable.

Un pequeño volumen de aceite de silicona transfiere la presión del diafragma al puente de tensión. La construcción proporciona un transductor muy resistente con una precisión, estabilidad y efectos térmicos excepcionales. Su diseño único ofrece unos transductores resistentes, proporcionando una contención de fluidos secundaria en caso de ruptura del diafragma.

En nuestras instalaciones de vanguardia, un equipamiento de prueba automatizado realiza ciclos de temperatura y presión en el 100% de los transductores PX409. A continuación, los transductores se calibran utilizando equipamientos de alta precisión y con cada transductor se incluye un certificado de calibración rastreable por NIST. Para obtener su alta precisión y estabilidad, la Serie PX409 utiliza técnicas de arquitectura en silicio para la salida y los sensores de temperatura y presión en conjunto con un ASIC personalizado para proporcionar compensación térmica dinámica a través de los parámetros de temperatura y presión. La estabilidad inherente del núcleo piezoresistivo proporciona una

Todos los modelos se muestran en su tamaño real.

El modelo PX409-050GV presenta terminación de cable.

**Precisión de 0,08%**

El modelo PX419-100GI presenta una terminación mini DIN.

El modelo PX429-015GI presenta una terminación con pestillo giratorio.

**Todos los rangos están disponibles para su entrega!**

### TECNOLOGÍA DE LÁMINA DE SILICIO DE LA SERIE PX409

La serie PX409 utiliza lámina de silicio de alta estabilidad micro mecanizado a tolerancias de precisión y cuenta con galgas extensiométricas moleculármemente integradas en él.



Las galgas extensiométricas se muestran en un tamaño superior al real.

La galga extensiométrica se muestra con un aumento del 500%

estabilidad y repetibilidad a largo plazo excelentes y unos efectos térmicos muy bajos al mismo precio que otros transductores de menor rendimiento. Las características estándar de la serie PX409 también incluyen características incorporadas en la electrónica y el elemento de presión. La polaridad inversa, la CEM y la protección contra fluctuaciones de la alimentación son estándar en todos los modelos. Las calificaciones de intrínsecamente seguro y de la CSA son opcionales.

Los rangos y configuraciones más populares están disponibles para su entrega inmediata. Los demás tienen plazos de entrega muy cortos, por lo general.

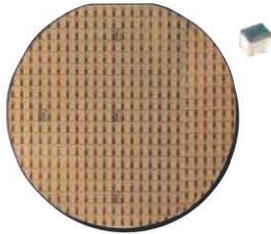
B-25b

# TRANSDUCTORES DE PRESIÓN DE ALTA PRECISIÓN

## DISEÑO PIEZORESISTIVO CON RENDIMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS

**RENDIMIENTO EXCEPCIONAL, PRECISIÓN ESTÁTICA DE 0,08%**

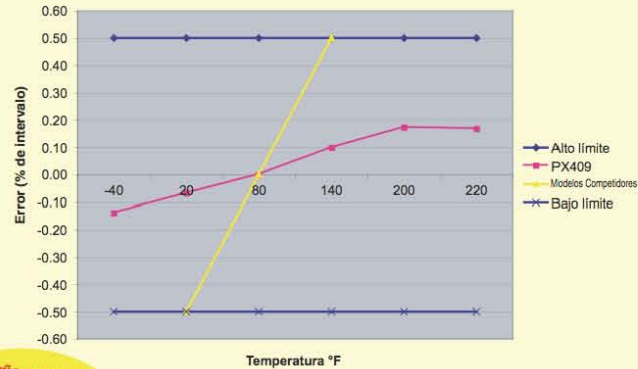
**Silicio micromecanizado**



**Certificado de calibración rastreable por NIST de 5 puntos**



**Efectos térmicos -29 a 85 °C (-20 a 185 °F)**  
Error de intervalo: 100 psig



**DISEÑO RESISTENTE**  
Para aplicaciones  
aerospaciales, de  
automoción, de prueba  
e industriales

**¡Configuraciones personalizadas disponibles!**



Diseñado para una configuración rápida con el objetivo de satisfacer sus especificaciones exactas, a menudo con entrega inmediata. Variaciones personalizadas están disponibles incluyendo accesorios personalizados, precisiones, rangos, calibraciones, unidades de presión, especificaciones térmicas, vibración, temperatura de funcionamiento y rango compensado. Contacte con OMEGA ingeniería de presión para obtener más detalles.

### Especificaciones comunes

**Presión del calibrador y absoluta**

**Aprobaciones:** Conforme con RoHS

**Aislamiento mínimo entre la carcasa y las terminaciones de salida:**

100M Ω a 50 Vcc

**Ciclos de presión:** 1 millón, como mínimo

**Estabilidad a largo plazo (1 año):**

±0,1% escala completa típica

**Choque:** 50 g, 11 ms eje semi

senusoidal, vertical y horizontal

**Vibración:** : 5-2000-5 Hz, ciclo de

30 minutos, Curva L, Mil-Spec 810 figura

514-2-2, eje vertical y horizontal

**Ancho de banda:** CC a 1 kHz típico

**Tiempo de respuesta:** <1 mS

**Conformidad CE:**

**Emisiones:** IEC550022 Clase B

**Inmunidad a descarga electrostática:**

IEC61000-4-2

**Inmunidad a campo EM:** IEC61000-4-3

**Inmunidad a EFT:** IEC61000-4-4

**Inmunidad a sobrecarga:** IEC61000-4-5

**Conducido por RF:** IEC610000-4-6

**Campo magnético de frecuencia de potencia:** IEC61000-4-8

**Terminación eléctrica:**

PX409: Cable integral de 2 m (6')

PX409C: Cable integral de 2 m (6') con

accesorio de conducto de NPT de 1/2"

PX419: Mini-DIN

PX429: Cierre por torsión

**Protección ambiental:**

PX409: IP67

PX409C: IP67

PX419: IP65

PX429: IP65

**Presión de calibre de sobrepresión:**

10 inH<sub>2</sub>O: 10 veces el intervalo

1 psi: 6 veces el intervalo

2,5 psi a 1000 psi: 4 veces el intervalo

1500 psi a 5000 psi: 7250 psi máx

**Presión absoluta de sobrepresión:**

5 psia: : 6 veces el intervalo

2,5 psia a 1000 psia: 4 veces el

intervalo

1500 psia a 5000 psia: 10.000 psi máx

**Contención secundaria**

**Calibrador/diferencial/Vca/compuesto:**

10 inH<sub>2</sub>O a 5 psi: a 1000 psi

15 a 1000 psi: a 3000 psi

1500 a 5000 psi: a 10.000 psi

**Absoluto/barométrico:**

5 a 1000 psi: a 6000 psia

1500 a 5000 psi: a 10.000 psia

**Piezas húmedas:** Acero inoxidable 316

**Puerto de presión:** NPT macho de 1/8"-18

**Peso:** 115 a 200 g (4 a 7 onzas) según la configuración

B-25c

B

# SALIDA mV/V

## TRANSDUCTORES DE PRESIÓN DE ALTO RENDIMIENTO

### DISEÑO PIEZORESISTIVO CON RENDIMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS

Salida de 100 mV  
0-10 inH<sub>2</sub>O a 0-5000 psi  
25 mb a 345 bares

PX409-100GV,  
se muestra en su  
tamaño real.

### Serie PX409



PX429-015GV,  
se muestra en su  
tamaño real.



PX419-015GV,  
se muestra en su  
tamaño real.

¡La mayoría de los rangos están disponibles para su entrega!

### Para hacer su pedido

| RANGO  |        | TERMINACIÓN DEL CABLE de 2 m (6') | TERMINACIÓN MINI-DIN | TERMINACIÓN CON PESTILLO GIRATORIO |
|--|--------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| psi  | bar    |                                   |                      |                                    |
| <b>SALIDA DE 0 a 5 Vcc, RANGOS DE PRESIÓN DE CALIBRE</b> |        |                                   |                      |                                    |
| 10 inH <sub>2</sub> O                                    | 25 mb  | PX409-10WGV                       | PX419-10WGV          | PX429-10WGV                        |
| 1  | 69 mb  | PX409-001GV                       | PX419-001GV          | PX429-001GV                        |
| 2,5  | 172 mb | PX409-2,5GV                       | PX419-2,5GV          | PX429-2,5GV                        |
| 5  | 345 mb | PX409-005GV                       | PX419-005GV          | PX429-005GV                        |
| 15   | 1,0    | PX409-015GV                       | PX419-015GV          | PX429-015GV                        |
| 30   | 2,1    | PX409-030GV                       | PX419-030GV          | PX429-030GV                        |
| 50   | 3,4    | PX409-050GV                       | PX419-050GV          | PX429-050GV                        |
| 100  | 6,9    | PX409-100GV                       | PX419-100GV          | PX429-100GV                        |
| 150  | 10,3   | PX409-150GV                       | PX419-150GV          | PX429-150GV                        |
| 250  | 17,2   | PX409-250GV                       | PX419-250GV          | PX429-250GV                        |
| 500  | 34,5   | PX409-500GV                       | PX419-500GV          | PX429-500GV                        |
| 750  | 51,7   | PX409-750GV                       | PX419-750GV          | PX429-750GV                        |
| 1000   | 69     | PX409-1,0KGV                      | PX419-1,0KGV         | PX429-1,0KGV                       |
| 1500   | 103    | PX409-1,5KGV                      | PX419-1,5KGV         | PX429-1,5KGV                       |
| 2500   | 172    | PX409-2,5KGV                      | PX419-2,5KGV         | PX429-2,5KGV                       |
| 3500   | 241    | PX409-3,5KGV                      | PX419-3,5KGV         | PX429-3,5KGV                       |
| 5000   | 345    | PX409-5,0KGV                      | PX419-5,0KGV         | PX429-5,0KGV                       |
| <b>SALIDA DE 0 a 5 Vcc, RANGOS DE PRESIÓN ABSOLUTA</b>   |        |                                   |                      |                                    |
| 5  | 345 mb | PX409-005AV                       | PX419-005AV          | PX429-005AV                        |
| 15   | 1,0    | PX409-015AV                       | PX419-015AV          | PX429-015AV                        |
| 30   | 2,1    | PX409-030AV                       | PX419-030AV          | PX429-030AV                        |
| 50   | 3,4    | PX409-050AV                       | PX419-050AV          | PX429-050AV                        |
| 100  | 6,9    | PX409-100AV                       | PX419-100AV          | PX429-100AV                        |
| 150  | 10,3   | PX409-150AV                       | PX419-150AV          | PX429-150AV                        |
| 250  | 17,2   | PX409-250AV                       | PX419-250AV          | PX429-250AV                        |
| 500  | 34,5   | PX409-500AV                       | PX419-500AV          | PX429-500AV                        |
| 750  | 51,7   | PX409-750AV                       | PX419-750AV          | PX429-750AV                        |
| 1000   | 69     | PX409-1,0KAV                      | PX419-1,0KAV         | PX429-1,0KAV                       |

### mV/V Especificaciones

Salida: mV/V, 100 mV @ 10 Vcc  
(Ratiometric 5 to 10 Vcc)

Voltaje de suministro: 10 Vcc  
(5 mA @ 10 Vdc)

Resistencia de entrada/salida: 5000 Ω  
±20% típico

Precisión (linealidad, histéresis y repetibilidad combinadas):  
±0,08% BSL máx.

Balance cero: ±0,5% escala completa  
típica 1% máx. (1% típico, 2% máx. para 2,5 psi e inferior)

Ajuste del intervalo: ±0,5% escala  
completa típica 1% máx. (1% típico, 2% máx. para 2,5 psi e inferior) Calibrado en dirección vertical con el accesorio abajo

Rango de temperatura de funcionamiento:  
-45 a 115 °C (-49 a 240 °F)

Temperatura compensada:

Rangos >5 psi: -29 a 85 °C

(-20 a 185 °F) (-20 a 185 °F)

Rangos ≤5 psi: -17 a 85 °C (0 a 185 °F)

Efectos térmicos cero

(rango con compensación excesiva):

Rangos >5 psi: Intervalo de ±0,5%

Rangos ≤5 psi: Intervalo de ±1,0%

Intervalo de efectos térmicos

(rango con compensación excesiva):

Rangos >5 psi: Intervalo de ±0,5%

Rangos ≤5 psi: Intervalo de ±1,0%

Ejemplos de pedidos: PX409-1,0KGV, salida de 5 V, rango de presión del calibrador de 1000 psi, terminación del cable de 2m (6'). PX429-015A5V, salida de 5 V, presión absoluta de 15 psi, terminación con cierre por torsión, PT06F10-6S, conector de acoplamiento con cierre por torsión (se vende por separado), y DP25B-E, medidor de 4 dígitos, sistema con medidor.  
(Consulte la página B-25h para obtener información sobre medidores).

B-25d

# SALIDA DE 0 A 5 VCC

## TRANSDUCTORES DE PRESIÓN DE ALTO RENDIMIENTO

### DISEÑO PIEZORESISTIVO CON RENDIMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS

Salida de 0 a 5 Vcc  
0-10 inH<sub>2</sub>O a 0-5000 psi  
25 mb a 0-345 bares

El modelo PX409-100G5V se muestra en su tamaño real.

PX409 Series



El modelo PX419-100G5V se muestra en su tamaño real.

¡La mayoría de los rangos están disponibles para su entrega!



El modelo PX429-015G5V se muestra en su tamaño real.

Salida de voltaje amplificada:  
Especificaciones

Salida:  
Voltaje de suministro de 0 a 5 Vcc:  
10 a 30 Vcc @ 10 mA  
Voltaje de suministro de 0 a 10 Vcc:  
10 a 30 Vcc @ 15 mA

Precisión (linealidad, histéresis y repetibilidad combinadas): ±0,08% BSL máx

Balance cero: ±0,5% escala completa típica, 1% máx. (1% típico, 2% máx. para 2,5 psi e inferior)

Ajuste de intervalo: ±0,5% escala completa típica, 1% máx. (1% típico, 2% máx. para 2,5 psi e inferior). Calibrado en dirección vertical con el accesorio abajo

Rango de temperatura de funcionamiento:  
-45 a 115 °C (-49 a 240 °F)

Temperatura compensada:  
Rangos >5 psi: -29 a 85 °C (-20 a 185 °F)

Rangos ≤5 psi: -17 a 85 °C (0 a 185 °F)

Efectos térmicos cero (en el rango compensado):

Rangos >5 psi: ±0,5% de intervalo

Rangos ≤5 psi: ±1,0% de intervalo

Intervalo de efectos térmicos (en el rango compensado):

Rangos >5 psi: ±0,5% de intervalo

Rangos ≤5 psi: ±1,0% de intervalo

Para hacer su pedido

| RANGO  |        | TERMINACIÓN DEL CABLE de 2 m (6') | TERMINACIÓN MINI-DIN | TERMINACIÓN CON PESTILLO GIRATORIO |
|--|--------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| psi  | bar    |                                   |                      |                                    |
| <b>SALIDA DE 0 a 5 Vcc, RANGOS DE PRESIÓN DE CALIBRE</b> |        |                                   |                      |                                    |
| 10 in-H <sub>2</sub> O                                   | 25 mb  | PX409-10WG5V                      | PX419-10WG5V         | PX429-10WG5V                       |
| 1  | 69 mb  | PX409-001G5V                      | PX419-001G5V         | PX429-001G5V                       |
| 2,5  | 172 mb | PX409-2.5G5V                      | PX419-2.5G5V         | PX429-2.5G5V                       |
| 5  | 345 mb | PX409-005G5V                      | PX419-005G5V         | PX429-005G5V                       |
| 15   | 1,0    | PX409-015G5V                      | PX419-015G5V         | PX429-015G5V                       |
| 30   | 2,1    | PX409-030G5V                      | PX419-030G5V         | PX429-030G5V                       |
| 50   | 3,4    | PX409-050G5V                      | PX419-050G5V         | PX429-050G5V                       |
| 100  | 6,9    | PX409-100G5V                      | PX419-100G5V         | PX429-100G5V                       |
| 150  | 10,3   | PX409-150G5V                      | PX419-150G5V         | PX429-150G5V                       |
| 250  | 17,2   | PX409-250G5V                      | PX419-250G5V         | PX429-250G5V                       |
| 500  | 34,5   | PX409-500G5V                      | PX419-500G5V         | PX429-500G5V                       |
| 750  | 51,7   | PX409-750G5V                      | PX419-750G5V         | PX429-750G5V                       |
| 1000   | 69     | PX409-1.0KG5V                     | PX419-1.0KG5V        | PX429-1.0KG5V                      |
| 1500   | 103    | PX409-1.5KG5V                     | PX419-1.5KG5V        | PX429-1.5KG5V                      |
| 2500   | 172    | PX409-2.5KG5V                     | PX419-2.5KG5V        | PX429-2.5KG5V                      |
| 3500   | 241    | PX409-3.5KG5V                     | PX419-3.5KG5V        | PX429-3.5KG5V                      |
| 5000   | 345    | PX409-5.0KG5V                     | PX419-5.0KG5V        | PX429-5.0KG5V                      |
| <b>SALIDA DE 0 a 5 Vcc, RANGOS DE PRESIÓN ABSOLUTA</b>   |        |                                   |                      |                                    |
| 5  | 345 mb | PX409-005A5V                      | PX419-005A5V         | PX429-005A5V                       |
| 15   | 1,0    | PX409-015A5V                      | PX419-015A5V         | PX429-015A5V                       |
| 30   | 2,1    | PX409-030A5V                      | PX419-030A5V         | PX429-030A5V                       |
| 50   | 3,4    | PX409-050A5V                      | PX419-050A5V         | PX429-050A5V                       |
| 100  | 6,9    | PX409-100A5V                      | PX419-100A5V         | PX429-100A5V                       |
| 150  | 10,3   | PX409-150A5V                      | PX419-150A5V         | PX429-150A5V                       |
| 250  | 17,2   | PX409-250A5V                      | PX419-250A5V         | PX429-250A5V                       |
| 500  | 34,5   | PX409-500A5V                      | PX419-500A5V         | PX429-500A5V                       |
| 750  | 51,7   | PX409-750A5V                      | PX419-750A5V         | PX429-750A5V                       |
| 1000   | 69     | PX409-1.0KA5V                     | PX419-1.0KA5V        | PX429-1.0KA5V                      |

Nota: Para realizar un pedido con salida de 0 a 10 Vcc, cambie "5V" por "10V" sin coste adicional.  
Ejemplos de pedidos: PX409-1.0KG5V, salida de 5 V, rango de presión del calibrador de 1000 psi, terminación del cable de 2 m (6'). PX429-015A5V, salida de 5 V, presión absoluta de 15 psi, terminación con cierre por torsión. PT06F10-6S, conector de acoplamiento con cierre por torsión (se vende por separado), y DP25B-E, medidor de 4 dígitos, sistema con medidor. (Consulte la página B-25h para obtener información sobre medidores).

B-25e

B

# SALIDA DE 4 A 20 MA

TRANSMISORES DE PRESIÓN DE ALTO RENDIMIENTO DISEÑO PIEZORESISTIVO CON RENDIMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS

Salida de 4 a 20 mA  
0-10 inH<sub>2</sub>O a 0-5000 psi  
25 mb a 0-345 bares

PX409-100GI,  
se muestra en su  
tamaño real.

Serie PX409



Todos los rangos  
están disponibles  
para su entrega!

PX419-100GI,  
se muestra en su  
tamaño real.

PX429-015GI,  
se muestra en  
su tamaño real.

## 4 a 20 mA Especificaciones

**Salida:** 4 a 20 mA  
**Voltaje de suministro:** 9 a 30 Vcc  
resistencia de bucle máx.  $\Omega = (V_s - 9) \times 50$   
[9 a 20 Vcc por encima de 105 °C (229 °F)]  
**Precisión (linealidad, histéresis y repetibilidad combinadas):**  $\pm 0,08\%$  BSL máx.  
**Equilibrio cero:**  $\pm 0,5\%$  escala completa típica 1% máx. (1% típico, 2% máx. para 2.5 psi e inferior)  
**Ajuste del intervalo:**  $\pm 0,5\%$  escala completa típica 1% máx. (1% típico, 2% máx. para 2.5 psi e inferior). Calibrado en dirección vertical con el accesorio abajo  
**Rango de temperatura de funcionamiento:** -45 a 115 °C (-49 a 240 °F)  
**Temperatura compensada:**  
**Rangos >5 psi:** -29 a 85 °C (-20 a 185 °F)  
**Rangos  $\leq 5$  psi:** -17 a 85 °C (0 a 185 °F)  
**Efectos térmicos cero (rango con compensación excesiva):**  
**Rangos >5 psi:** Intervalo de  $\pm 0,5\%$   
**Rangos  $\leq 5$  psi:** Intervalo de  $\pm 1,0\%$   
**Intervalo de efectos térmicos (rango con compensación excesiva):**  
**Rangos >5 psi:** Intervalo de  $\pm 0,5\%$   
**Rangos  $\leq 5$  psi:** Intervalo de  $\pm 1,0\%$

## Para hacer su pedido

| RANGO   |        | TERMINACIÓN DEL CABLE de 2 m (6') | TERMINACIÓN MINI-DIN | TERMINACIÓN CON PESTILLO GIRATORIO |
|---|--------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| psi   | bar    |                                   |                      |                                    |
| <b>SALIDA DE 4 to 20 mA, RANGOS DE PRESIÓN DE CALIBRE</b> |        |                                   |                      |                                    |
| 10 inH <sub>2</sub> O                                     | 25 mb  | PX409-10WGI                       | PX419-10WGI          | PX429-10WGI                        |
| 1   | 69 mb  | PX409-001GI                       | PX419-001GI          | PX429-001GI                        |
| 2.5   | 172 mb | PX409-2.5GI                       | PX419-2.5GI          | PX429-2.5GI                        |
| 5   | 345 mb | PX409-005GI                       | PX419-005GI          | PX429-005GI                        |
| 15  | 1,0    | PX409-015GI                       | PX419-015GI          | PX429-015GI                        |
| 30  | 2,1    | PX409-030GI                       | PX419-030GI          | PX429-030GI                        |
| 50  | 3,4    | PX409-050GI                       | PX419-050GI          | PX429-050GI                        |
| 100   | 6,9    | PX409-100GI                       | PX419-100GI          | PX429-100GI                        |
| 150   | 10,3   | PX409-150GI                       | PX419-150GI          | PX429-150GI                        |
| 250   | 17,2   | PX409-250GI                       | PX419-250GI          | PX429-250GI                        |
| 500   | 34,5   | PX409-500GI                       | PX419-500GI          | PX429-500GI                        |
| 750   | 51,7   | PX409-750GI                       | PX419-750GI          | PX429-750GI                        |
| 1000  | 69     | PX409-1.0KGI                      | PX419-1.0KGI         | PX429-1.0KGI                       |
| 1500  | 103    | PX409-1.5KGI                      | PX419-1.5KGI         | PX429-1.5KGI                       |
| 2500  | 172    | PX409-2.5KGI                      | PX419-2.5KGI         | PX429-2.5KGI                       |
| 3500  | 241    | PX409-3.5KGI                      | PX419-3.5KGI         | PX429-3.5KGI                       |
| 5000  | 345    | PX409-5.0KGI                      | PX419-5.0KGI         | PX429-5.0KGI                       |
| <b>RANGOS DE PRESIÓN ABSOLUTOS DE 4 a 20 mA</b>           |        |                                   |                      |                                    |
| 5   | 345 mb | PX409-005AI                       | PX419-005AI          | PX429-005AI                        |
| 15  | 1,0    | PX409-015AI                       | PX419-015AI          | PX429-015AI                        |
| 30  | 2,1    | PX409-030AI                       | PX419-030AI          | PX429-030AI                        |
| 50  | 3,4    | PX409-050AI                       | PX419-050AI          | PX429-050AI                        |
| 100   | 6,9    | PX409-100AI                       | PX419-100AI          | PX429-100AI                        |
| 150   | 10,3   | PX409-150AI                       | PX419-150AI          | PX429-150AI                        |
| 250   | 17,2   | PX409-250AI                       | PX419-250AI          | PX429-250AI                        |
| 500   | 34,5   | PX409-500AI                       | PX419-500AI          | PX429-500AI                        |
| 750   | 51,7   | PX409-750AI                       | PX419-750AI          | PX429-750AI                        |
| 1000  | 69     | PX409-1.0KAI                      | PX419-1.0KAI         | PX429-1.0KAI                       |

Ejemplos de pedidos: PX409-1.0KGI, salida de 4 a 20 mA, rango de presión del calibrador de 100-0 psi, terminación del cable de 2m (6'). PX429-015AI, salida de 4 a 20 mA, presión absoluta de 15 psi, terminación con cierre por torsión, PT06F10-BS, conector de acoplamiento con cierre por torsión (se vende por separado), y DP25B-E, medidor de 4 dígitos, sistema con medidor. (Consulte B-25h para obtener información sobre medidores).

B-25f

# TRANSDUCTORES DE PRESIÓN DE ALTA PRECISIÓN

DISEÑO PIEZORESISTIVO CON RENDIMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS



PX409-100GI, se muestra en un tamaño inferior al real.

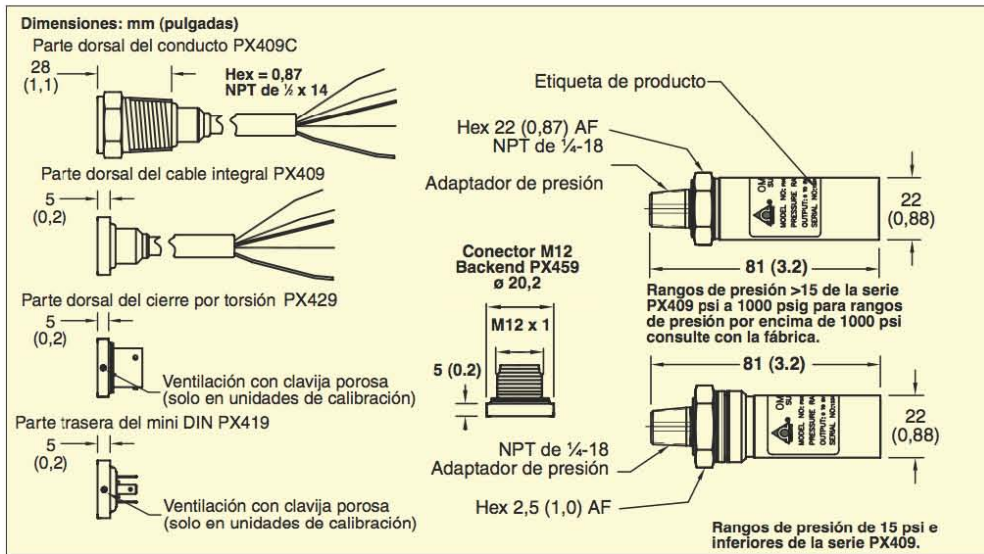
PX419-100GI, se muestra en un tamaño inferior al real.

PX429-015GI, se muestra en un tamaño inferior al real.

| CONEXIÓN DEL CABLE PX409 |       |          |              |
|--------------------------|-------|----------|--------------|
| COLOR                    | mV    | 5/10V    | mA           |
| Negro                    | - EXC | Común    | -Suministro  |
| Blanco                   | + SEÑ | + Salida | NC           |
| Verde                    | - SIG | NC       | NC           |
| Rojo                     | + EXC | + EXC    | + Suministro |

| PX419 y PX459 SALIDA DE PIN |       |          |              |
|-----------------------------|-------|----------|--------------|
| PIN                         | mV    | 5/10V    | mA           |
| 1                           | + EXC | + EXC    | + Suministro |
| 2                           | - EXC | Común    | - Suministro |
| 3                           | + SIG | + Salida | NC           |
| 4                           | - SIG | NC       | NC           |

| DISTRIBUCIÓN DE PINES CON PESTILLO GIRATORIO PX429 |       |          |              |
|--|-------|----------|--------------|
| PIN  | mV    | 5/10V    | mA           |
| A  | + EXC | + EXC    | + Suministro |
| B  | - EXC | Común    | - Suministro |
| C  | + SIG | + Salida | NC           |
| D  | - SIG | NC       | NC           |
| E  | NC    | NC       | NC           |
| F  | NC    | NC       | NC           |



| MEDIDORES     |   |
|---------------|---|
| N.º DE MODELO | DESCRIPCIÓN   |
| DP41-S        | Medidor de tensión de 6 dígitos de alta precisión (0,005%) para utilizar con modelos de salida mV/V   |
| DP41-E        | Medidor de proceso de 6 dígitos de alta precisión (0,005%) para utilizar con modelos de salida de tensión y corriente   |
| DP41-B        | Medidor universal de 6 dígitos de alta precisión (0,005%) para utilizar con modelos de salida de tensión y corriente, también compatible con entradas de termopar y RTD |
| DP25B-S       | Medidor de tensión de 4 dígitos para utilizar con modelos de salida mV/V  |
| DP25B-E       | Medidor de proceso de precisión de 4 dígitos para utilizar con modelos de salida de tensión y corriente   |
| ACCESORIOS    |   |
| CX5302        | EConector mini-DIN adicional para la serie PX419  |
| PT06F10-6S    | Conector de acoplamiento con cierre por torsión para la serie PX429   |
| PS-4G         | Amortiguador de presión para medios aéreos/gaseosos   |
| PS-4E         | Amortiguador de presión para agua o aceites ligeros   |
| PS-4D         | Amortiguador de presión para líquidos densos (aceite de motor)  |

B-24g

B

## 10.4: Tubo de Pitot tipo S – U-PTX

### Product Description

The design incorporates a pitot tube with 1" OD over-sheath connected to a 2" OD extension (32PTX- ) with adjustable clamp. Rigid or flexible tubing connections are available. 3/8" ID PTFE with stainless steel over-braid is recommended. TPFA or glass insulated Type-K thermocouples with over-braid are available.



**TELESCOPIC PITOT CORD**  
Part Identification

U-PTX

Length (ft.) \_\_\_\_\_

Lines (1/4" PTFE Tubing SS Overbraid)  
**A = Two Lines and One TC**  
**B = Three Lines and One TC**  
**C = Five Lines and One TC**

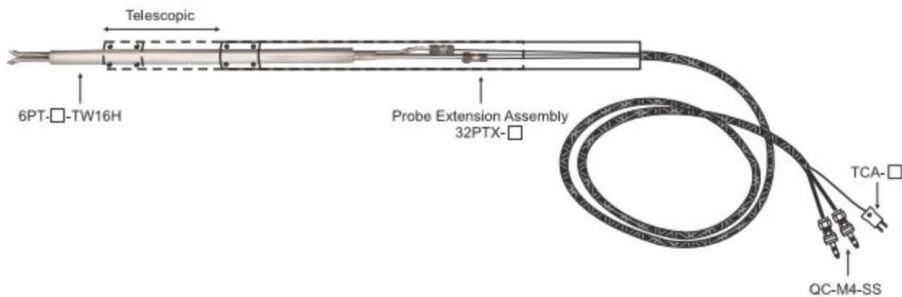
**Tubing Material**  
**PFA- Heavy Wall**  
 4 = 1/4" OD  
 6 = 3/8" OD

**PTFE- With Stainless Steel Overbraid**  
**TTO-4 = 1/4" ID**  
**TTO-6 = 3/8" ID**

**316 Stainless Steel**  
**TS4 = 1/4" Stainless Steel**  
**TS6 = 3/8" Stainless Steel**

**Thermocouple Extension Type**  
**T = WK-TT-24**  
**H = WK-HH-24 High Temp**  
**TS = WK-TT-24S-SB\*\*\* SS Braided**  
**TH = WK-GG-24S-SB\*\*\* High Temp SS Braided**  
 \*\*\*w/ Ceramic TC Connectors

**Quick Connect**  
**QC4 = 1/4" QC**  
**QC6 = 3/8" QC**



## 10.5: Válvula solenoide – PDI01022

# Cematic®

Válvula Solenoide de Acción Directa 2/2, Inoxidable — Serie PDI

Electroválvulas



### Características y Medidas

Válvula Solenoide de Acción Directa para control de Fluidos, Normalmente Cerrada, cuerpo en Acero Inoxidable

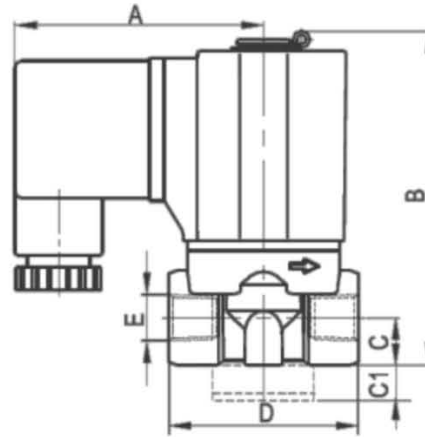
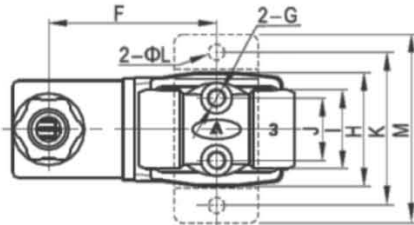
Vías: 2/2

Presión de trabajo: 0 — 150 psi

Temperatura de trabajo: -20°— 90° C

Material del sello: FPM-F (Vitón),

Fluidos: Agua, Aceite y Aire comprimido



| Modelo       | Medida (E) | A    | B    | C  | C1 | D  | F    | G  | H    | I    | J  | K  | L   | M  | Voltaje    |
|--------------|------------|------|------|----|----|----|------|----|------|------|----|----|-----|----|------------|
| PDI01012     | 1/8"       | 52.5 | 70.7 | 10 | 10 | 40 | 43.3 | M5 | 29.3 | 20.2 | 16 | 40 | 5.3 | 49 | 24 DC 20 W |
| 110 AC 25 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| 220 AC 12 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| PDI01022     | 1/4"       | 52.5 | 70.7 | 10 | 10 | 40 | 43.3 | M5 | 29.3 | 20.2 | 16 | 40 | 5.3 | 49 | 24 DC 20 W |
| 110 AC 25 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| 220 AC 12 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| PDI01032     | 3/8"       | 62.7 | 87   | 13 | 10 | 52 | 51.2 | M5 | 39   | 26   | 23 | 48 | 5.3 | 56 | 24 DC 20 W |
| 110 AC 25 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| 220 AC 12 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| PDI01042     | 1/2"       | 62.7 | 87   | 13 | 10 | 52 | 51.2 | M5 | 39   | 26   | 23 | 48 | 5.3 | 56 | 24 DC 20 W |
| 110 AC 25 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |
| 220 AC 12 VA |            |      |      |    |    |    |      |    |      |      |    |    |     |    |            |

[www.cematic.com](http://www.cematic.com)



## 10.6: Sensor de temperatura – DS18B20



# Sonda termopar resistente con tapón macho roscado

(\*)Serie -G1/4

ALCANZA O EXCEDE  
O EXCEDE EL LIMITE  
DE ERROR ESPECIAL (SLE)  
Y EN 60584-2:  
Tolerancia Clase 1



El modelo K-G1/4-1-TS-2-CF se muestra en un tamaño superior al real.

- ✓ Amplia gama de roscas y conductores disponible
- ✓ Funciona en entornos con gran vibración
- ✓ Diseño resistente de acero inoxidable 304
- ✓ Elementos simples y dobles
- ✓ Los termopares dobles pueden proporcionar una vía compacta para enviar la misma señal de temperatura a 2 piezas de equipos separadas
- ✓ Roscas de montaje para M8, M10, G1/8, G1/4 o G1/2
- ✓ Trenzado de acero inoxidable de 2 m sobre fibra de vidrio o PFA sobre cable conductor de cobre estándar de 2 m
- ✓ Resiste presiones de 170 bares a temperatura ambiente
- ✓ La unión aislada es ideal para aplicaciones de recipientes, cámaras presurizadas y tuberías
- ✓ Conductores pelados estándar, miniclavijas opcionales
- ✓ Tipos K, J, T o N
- ✓ También hay disponibles diseños personalizados especiales con roscas, diámetros de puntas y longitudes de puntas diferentes

Las sondas con tapón macho roscado de Omega proporcionan un servicio fiable en entornos de alta vibración y choques. Diseñados específicamente para conexiones de tubos, también se utilizan para muchas otras aplicaciones, como el control de la temperatura de cárter.

Utilice la guía de pedidos, para especificar un sensor que se adapte a sus necesidades.

**Para hacer su pedido, visite [es.omega.com/tc-bsp](http://es.omega.com/tc-bsp) para consultar precios y detalles.**

| Rosca de montaje | Aislamiento de cable conductor                   | N.º de modelo   |
|------------------|--|-----------------|
| M8 x 1           | Trenzado de fibra de vidrio con acero inoxidable | (*)-M8-1-GS-2   |
| M10 x 1          | Trenzado de fibra de vidrio con acero inoxidable | (*)-M10-1-GS-2  |
| M8 x 1           | PFA con trenzado de cobre interno                | (*)-M8-1-TS-2   |
| M10 x 1          | PFA con trenzado de cobre interno                | (*)-M10-1-TS-2  |
| G 1/8"           | Trenzado de fibra de vidrio con acero inoxidable | (*)-G1/8-1-GS-2 |
| G 1/4"           | Trenzado de fibra de vidrio con acero inoxidable | (*)-G1/4-1-GS-2 |
| G 1/2"           | Trenzado de fibra de vidrio con acero inoxidable | (*)-G1/2-1-GS-2 |
| G 1/8"           | PFA con trenzado de cobre interno                | (*)-G1/8-1-TS-2 |
| G 1/4"           | PFA con trenzado de cobre interno                | (*)-G1/4-1-TS-2 |
| G 1/2"           | PFA con trenzado de cobre interno                | (*)-G1/2-1-TS-2 |

(\*) Inserte tipo de termopar K, J, T o N.

Para longitudes adicionales de cable conductor, cambie "-2" al final del número de modelo por la longitud deseada en metros y añada el coste adicional del cable.

Viene con conductores pelados estándar de serie, para pedir termopar con miniclavijas adaptadas añada "-SMPW-M" al final del número de modelo para conocer el coste adicional.

Para hacer su pedido con elementos de termopares dobles, añada "-DUAL" al final del número de modelo y multiplique el precio por 1,75.

Ejemplos de pedidos: Sonda termopar con tapón macho roscado K-G1/8-1-TS-5, Tipo K, con adaptador de proceso de G 1/8" y 5 metros de cable conductor PFA aislado con trenzado de cobre interno. Sonda termopar con tapón macho roscado K-G1/8-1-TS-5 DUAL, Tipo K doble, con adaptador de proceso de G 1/8" y 5 metros de cable conductor PFA aislado con trenzado de cobre interno.

## CALENTADORES FLEXIBLES

# CALENTADORES FLEXIBLES AISLADOS CON PELÍCULA DE POLIIMIDA



Los hilos conductores salen de la esquina superior derecha del lado del ancho (W) del calentador. Para los calentadores de ½ y 1" de ancho solamente, los conductores salen centralmente del lado del ancho (W). Los conductores salen de los calentadores redondos radialmente.

El adhesivo sensible a la presión (PSA) está disponible de forma opcional en los calentadores clasificados a 2,5 o 5 W/pulg.<sup>2</sup>. El usuario también pueden empotrar los calentadores mecánicamente o montarlos con epoxi.

### ESPECIFICACIONES

**Temperatura de funcionamiento:** -200 a 200 °C (-328 a 392 °F) para los calentadores sin adhesivo sensible a la presión (PSA). La temperatura de funcionamiento máxima para los calentadores con adhesivo sensible a la presión es de 149 °C (300 °F)

**Grosor máximo:** 0,010" excepto en la salida del hilo conductor

**Potencia:** 2,5, 5 o 10 W/pulg.<sup>2</sup>

**Conductores:** Aislados con FEP (MIL-W-16878), 305 mm (12") de largo (el calibre del cable varía en función del calentador)

**Rigidez dieléctrica:** 1.250 Vca

**Radio mínimo de curvatura:** 0,032"

- ✓ Clasificados hasta 200 °C (392 °F)
- ✓ Diseño de lámina grabada
- ✓ 0,010" de grosor máximo
- ✓ 2,5, 5, o 10 vatios/pulg.<sup>2</sup>
- ✓ 115, 230+ y 28V
- ✓ Adhesivo sensible a la presión (PSA) opcional

Serie KHR, redondo, 115 voltios

Para hacer su pedido, visite [es.omega.com/khr\\_khkv\\_kh](http://es.omega.com/khr_khkv_kh) para consultar precios y detalles

| Dí. cm (") | Potencia total de densidad del vatio |                        |                         | Sin PSA       |               | Con PSA       |               |
|------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|            | 2,5W/pulg. <sup>2</sup>              | 5 W/pulg. <sup>2</sup> | 10 W/pulg. <sup>2</sup> | N.º de modelo | N.º de modelo | N.º de modelo | N.º de modelo |
| 5 (2)      | —                                    | —                      | 31,4                    | KHR-2/(*)     | KHR-2/(*)-P   |               |               |
| 7,6 (3)    | 17,7                                 | 35,3                   | 70,7                    | KHR-3/(*)     | KHR-3/(*)-P   |               |               |
| 10 (4)     | 31,4                                 | 62,8                   | 126                     | KHR-4/(*)     | KHR-4/(*)-P   |               |               |
| 13 (5)     | 49,1                                 | 98,2                   | 196                     | KHR-5/(*)     | KHR-5/(*)-P   |               |               |
| 15 (6)     | 70,7                                 | 141                    | 283                     | KHR-6/(*)     | KHR-6/(*)-P   |               |               |
| 18 (7)     | 96,2                                 | 192                    | 385                     | KHR-7/(*)     | KHR-7/(*)-P   |               |               |
| 20 (8)     | 126                                  | 251                    | 503                     | KHR-8/(*)     | KHR-8/(*)-P   |               |               |
| 23 (9)     | 159                                  | 318                    | 636                     | KHR-9/(*)     | KHR-9/(*)-P   |               |               |
| 25 (10)    | 196                                  | 393                    | 785                     | KHR-10/(*)    | KHR-10/(*)-P  |               |               |
| 28 (11)    | 238                                  | 475                    | 950                     | KHR-11/(*)    | KHR-11/(*)-P  |               |               |
| 30 (12)    | 283                                  | 565                    | 1131                    | KHR-12/(*)    | KHR-12/(*)-P  |               |               |

Completo de serie con manual del operador.

\* Introducir densidad del vatio: "2" para 2,5 W/pulg.<sup>2</sup>, "5" para 5 W/pulg.<sup>2</sup> o "10" para 10 W/pulg.<sup>2</sup>.

Ejemplo de pedido: KHLV-104/5-P, calentador con película de poliimida con PSA de 2,5 x 10 cm (1 x 4"), 28V, 5 W/pulg.<sup>2</sup>.

Nota: Los calentadores solo están disponibles en los vatajes en los que se indica la potencia total.

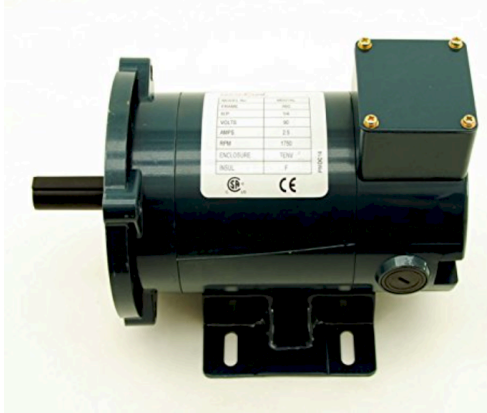
Los calentadores aislados con película de poliimida están disponibles en una variedad de formas, tamaños y vatajes. Las clasificaciones de vatajes son 2,5, 5, o 10 W/pulg.<sup>2</sup> a 115, 230+ o 28 V. La película de poliimida ofrece un alto grado de resistencia a los productos químicos, y tiene excelentes propiedades de desgaseado en entornos de alto vacío. La construcción típica consta de un elemento de lámina grabada de 0,0005" o 0,0001" de grosor encapsulado entre dos capas de película de poliimida de 0,002" y adhesivo FEP de 0,001".

† La mayoría de los tamaños están disponibles en 230 V. Consulte al Departamento de Ventas e Ingeniería de calentadores

Serie KHLV, rectangular, 28 voltios

| Ancho, cm (") | Longitud, cm (") | Potencia total de densidad del vatio |                        |                         | Sin PSA       |                 | Con PSA       |               |
|---------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
|               |                  | 2,5 W/pulg. <sup>2</sup>             | 5 W/pulg. <sup>2</sup> | 10 W/pulg. <sup>2</sup> | N.º de modelo | N.º de modelo   | N.º de modelo | N.º de modelo |
| 1 (0,5)       | 5 (2)            | —                                    | 5                      | 10                      | KHLV-0502/(*) | KHLV-0502/(*)-P |               |               |
| 1 (0,5)       | 10 (4)           | 5                                    | 10                     | 20                      | KHLV-0504/(*) | KHLV-0504/(*)-P |               |               |
| 2,5 (1)       | 2,5 (1)          | —                                    | 5                      | 10                      | KHLV-101/(*)  | KHLV-101/(*)-P  |               |               |
| 2,5 (1)       | 5 (2)            | 5                                    | 10                     | 20                      | KHLV-102/(*)  | KHLV-102/(*)-P  |               |               |
| 2,5 (1)       | 7,6 (3)          | 7,5                                  | 15                     | 30                      | KHLV-103/(*)  | KHLV-103/(*)-P  |               |               |
| 2,5 (1)       | 10 (4)           | 10                                   | 20                     | 40                      | KHLV-104/(*)  | KHLV-104/(*)-P  |               |               |
| 2,5 (1)       | 13 (5)           | 12,5                                 | 25                     | 50                      | KHLV-105/(*)  | KHLV-105/(*)-P  |               |               |
| 5 (2)         | 5 (2)            | 10                                   | 20                     | 40                      | KHLV-202/(*)  | KHLV-202/(*)-P  |               |               |

10.8: Motor DC – MD01AL



High quality CE / CSA certified permanent magnet DC motor.  
 1 HP rating with a 56C frame operates on 90v (10 A) DC.  
 5/8" diameter x 2" long keyed shaft rotates at 1750 RPM.  
 TEFC ball bearing motor designed for continuous operation.  
 Removable steel mounting base has slotted holes for 3" x 4-1/4" to 5-1/2" patterns.

10.9: Caja reductora – R3300-2

**2 FLANGE UNITS, INCH SERIES**

ARROWS INDICATE RELATIVE ROTATION. DIRECTION OF ROTATION IS REVERSIBLE.

| DIMENSIONS – 2 FLANGE UNITS * |       |       |      |       |      |       |       |       |      |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Model                         | Type  | A     | B    | C     | D    | E     | F     | G     | H    | I     | J     | K     | L     |
| R3000/R3000-2                 | 2-Way | 0.375 | 0.59 | 1.385 | 2.85 | -     | 0.656 | 0.203 | 1.25 | 0.438 | 0.594 | 0.177 | 2.165 |
| R3100/R3100-2                 | 3-Way | 0.375 | 0.59 | 1.385 | 2.85 | 0.59  | 0.656 | 0.203 | 1.25 | 0.438 | 0.594 | 0.177 | 2.165 |
| R3200/R3200-2                 | 2-Way | 0.625 | 1.50 | 2.125 | 5.00 | -     | 0.937 | 0.265 | 2.00 | 0.687 | 0.937 | 0.265 | 3.25  |
| R3300/R3300-2                 | 3-Way | 0.625 | 1.50 | 2.125 | 5.00 | 1.375 | 0.937 | 0.265 | 2.00 | 0.687 | 0.937 | 0.265 | 3.25  |

\*Model Numbers followed by "-2" indicates 2:1 reduction. 1:1 & 2:1 units have the same dimensions. Complete outline drawings are available upon request. Shaft diameter tolerances are +0.000/-0.001. All dimensions are in inches and are subject to change.

Keyway Dimensions: **SIZE 1 – R-3000 / R3000-2 / R3100 / R3100-2:** None  
**SIZE 2 – R-3200 / R3200-2 / R3300 / R3300-2:** 3/16W x 3/32H x 1 1/2L

**ANDANTEX**  
USA INC.

4

800-713-6170 • www.andantex.com • info@andantex.com



Incremental encoders

|                         |  |   |
|-------------------------|--|---|
| <b>Standard optical</b> | <b>Sendix 5000 / 5020 (shaft / hollow shaft)</b> | <b>Push-Pull / RS422 / Open collector</b> |
|-------------------------|--|---|



Due to their sturdy bearing construction in Safety-Lock™ Design, the Sendix 5000 and 5020 offer high resistance against vibration and installation errors.

The rugged housing, high protection level of up to IP67, as well as the wide temperature range of -40°C up to +85°C, make this product range the perfect encoder for all applications.



**Robust performance**

- Increased resistance against vibrations and tolerance of installation errors, elimination of machine downtime and repairs thanks to sturdy bearing construction in "Safety-Lock™ Design".
- Ensures highest safety against field breakdowns and is thus suitable also for outside use thanks to its resistant die-cast housing and protection up to IP67.
- Undetachable clamping ring on hollow shaft encoders.
- Wide temperature range, -40°C ... +85°C.

**NEW:**

- Higher shock resistance.
- Higher vibration resistance.
- IP66 and IP67 protection level in one version.

**Many variants**

- Suitable connection variant for every specific case: cable connection, M12, M23, MIL and Sub-D connector.
- Reliable mounting in a wide variety of installation situations: comprehensive and proven fixing possibilities.
- Compatible with all US and European standards.
- Max. 5000 pulses per revolution.

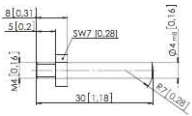

**NEW:**

- Double number of standard pulse numbers.
- Variants with connector fitted in the cable – for error-free electrical connection to your control.
- Additional connector variants (M12 / 5-pin, Sub-D).
- Additional standard cable lengths.

**Technology in detail**

|  |                                     |  |                                |
|--|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| <b>Robust Safety-Lock™ bearing structure</b> | <b>Cables with fitted connector</b> | <b>Undetachable clamping ring</b><br>Slotted clamping ring + slotted shaft | <b>Tangential cable outlet</b> |
|  |                                     |  |                                |

## Incremental encoders

| Standard optical   | Sendix 5000 / 5020 (shaft / hollow shaft)   | Push-Pull / RS422 / Open collector |                         |
|--|---|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Mounting accessory for shaft encoders</b>   |   | Order no.                          |                         |
| <b>Coupling</b>  | bellows coupling ø 19 mm [0.75"] for shaft 6 mm [0.24"]   | <b>8.0000.1102.0606</b>            |                         |
|  | bellows coupling ø 19 mm [0.75"] for shaft 10 mm [0.39"]  | <b>8.0000.1102.1010</b>            |                         |
| <b>Mounting accessory for hollow shaft encoders</b>  |   | Order no.                          |                         |
| <b>Cylindrical pin, long</b><br>for flange with spring element<br>(flange type 1 + 2)  | Dimensions in mm [inch]   | <b>8.0010.4700.0000</b>            |                         |
|  | with fixing thread<br> |                                    |                         |
| <b>Isolation / adapter inserts for hollow shaft encoders order code 8.5020.X8XX.XXXX</b>   |   | D1                                 |                         |
| <b>Thermal and electrical isolation of the encoders</b><br>(Temperature range -40 ... +115°C [-40°F ... +239°F])<br>Isolation inserts prevent currents from passing through the encoder bearings. These currents can occur when using inverter controlled three-phase or AC vector motors and considerably shorten the service life of the encoder bearings. In addition the encoder is thermally isolated as the plastic does not transfer the heat to the encoder. |   | Isolation insert                   |                         |
|   |   | 6 mm [0.24"]                       | <b>8.0010.4021.0000</b> |
|  |   | 8 mm [0.32"]                       | <b>8.0010.4020.0000</b> |
|  |   | 10 mm [0.39"]                      | <b>8.0010.4023.0000</b> |
|  |   | 12 mm [0.47"]                      | <b>8.0010.4025.0000</b> |
|  |   | 1/4"                               | <b>8.0010.4022.0000</b> |
|  |   | 3/8"                               | <b>8.0010.4024.0000</b> |
|  |   | 1/2"                               | <b>8.0010.4026.0000</b> |
| <b>Connection technology</b>   |   | Order no.                          |                         |
| <b>Cordset, pre-assembled</b>  | M12 female connector with coupling nut, 8-pin<br>2 m [6.56"] PVC cable                                  | <b>05.00.6041.8211.002M</b>        |                         |
|  | M23 female connector with coupling nut, 12-pin<br>2 m [6.56"] PVC cable                                 | <b>8.0000.6901.0002</b>            |                         |
| <b>Connector, self-assembly (straight)</b>   | M12 female connector with coupling nut, 8-pin   | <b>05.CMB 8181-0</b>               |                         |
|  | M23 female connector with coupling nut, 12-pin  | <b>8.0000.5012.0000</b>            |                         |
|  | MIL female connector with coupling nut, 10-pin  | <b>8.0000.5062.0000</b>            |                         |

Further accessories can be found in the accessories section or in the accessories area of our website at: [www.kuebler.com/accessories](http://www.kuebler.com/accessories).  
Additional connectors can be found in the connection technology section or in the connection technology area of our website at: [www.kuebler.com/connection\\_technology](http://www.kuebler.com/connection_technology).

| Technical data                                   |                      |  |
|--|----------------------|--|
| <b>Mechanical characteristics</b>                |                      |  |
| <b>Maximum speed</b>                             | IP65                 | 12000 min <sup>-1</sup><br>6000 min <sup>-1</sup> (continuous) |
|  | IP66/IP67            | 6000 min <sup>-1</sup><br>3000 min <sup>-1</sup> (continuous)  |
| <b>Mass moment of inertia</b>                    | shaft version        | approx. 1.8 x 10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup>                |
|  | hollow shaft version | approx. 6 x 10 <sup>-6</sup> kgm <sup>2</sup>                  |
| <b>Starting torque</b><br>at 20°C [68°F]         | IP65                 | < 0.01 Nm  |
|  | IP66/IP67            | < 0.05 Nm  |
| <b>Shaft load capacity</b>                       | radial               | 100 N  |
|  | axial                | 50 N   |
| <b>Weight</b>                                    |                      | approx. 0.4 kg [14.11 oz]                                      |
| <b>Protection</b> acc. to EN 60529               | without shaft seal   | IP65   |
|  | with shaft seal      | IP66/IP67  |
| <b>Working temperature range</b>                 |                      | -40°C <sup>1)</sup> ... +85°C [-40°F <sup>1)</sup> ... +185°F] |
| <b>Material</b>                                  | shaft                | stainless steel  |
| <b>Shock resistance</b> acc. to EN 60068-2-27    |                      | 3000 m/s <sup>2</sup> , 6 ms <sup>2)</sup>                     |
| <b>Vibration resistance</b> acc. to EN 60068-2-6 |                      | 300 m/s <sup>2</sup> , 10 ... 2000 Hz <sup>3)</sup>            |

1) With connector: -40°C [-40°F], cable fixed: -30°C [-22°F], cable moved: -20°C [-4°F].  
2) For MIL connectors: 2500 m/s<sup>2</sup>  
3) For MIL connectors: 100 m/s<sup>2</sup>

Incremental encoders

| Electrical characteristics                         |                           |   |                          |                                |  |                               |                              |
|--|---------------------------|---|--------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------|
| Output circuit                                     | RS422<br>(TTL compatible) | RS422<br>(TTL compatible)                             | Push-Pull                | Push-Pull<br>(7272 compatible) | Push-Pull<br>(7272 compatible,<br>without capacitor) | Open collector<br>(7273)      |                              |
|  | Order code                | 1   | 4                        | 5, 7                           | 2  | 8                             | 3                            |
| Power supply                                       |                           | 5 ... 30 V DC   | 5 V DC ( $\pm 5\%$ )     | 10 ... 30 V DC                 | 5 ... 30 V DC  | 5 ... 30 V DC                 | 5 ... 30 V DC                |
| Power consumption (no load)                        |                           | typ. 40 mA<br>max. 90 mA                              | typ. 40 mA<br>max. 90 mA | typ. 50 mA<br>max. 100 mA      | typ. 50 mA<br>max. 100 mA                            | typ. 50 mA<br>max. 100 mA     | 100 mA                       |
| Permissible load / channel                         |                           | max. +/- 20 mA  | max. +/- 20 mA           | max. +/- 20 mA                 | max. +/- 20 mA                                       | max. +/- 20 mA                | +/- 20 mA sink<br>at 30 V DC |
| Pulse frequency                                    |                           | max. 300 kHz  | max. 300 kHz             | max. 300 kHz                   | max. 300 kHz <sup>1)</sup>                           | max. 300 kHz                  | max. 300 kHz                 |
| Signal level                                       | HIGH<br>LOW               | min. 2.5 V<br>max. 0.5 V                              | min. 2.5 V<br>max. 0.5 V | min +V - 1.0 V<br>max. 0.5 V   | min. +V - 2.0 V<br>max. 0.5 V                        | min. +V - 2.0 V<br>max. 0.5 V |                              |
| Rising edge time $t_r$                             |                           | max. 200 ns   | max. 200 ns              | max. 1 $\mu$ s                 | max. 1 $\mu$ s                                       | max. 1 $\mu$ s                |                              |
| Falling edge time $t_f$                            |                           | max. 200 ns   | max. 200 ns              | max. 1 $\mu$ s                 | max. 1 $\mu$ s                                       | max. 1 $\mu$ s                |                              |
| Short circuit proof outputs <sup>2)</sup>          |                           | yes <sup>3)</sup>                                     | yes <sup>3)</sup>        | yes                            | yes  | yes <sup>3)</sup>             | yes                          |
| Reverse polarity protection<br>of the power supply |                           | yes   | no                       | yes                            | no   | no                            | no                           |
| UL approval  |                           | file 224618   |                          |                                |  |                               |                              |
| CE compliant acc. to                               |                           | EMC guideline 2014/30/EC<br>RoHS guideline 2011/65/EU |                          |                                |  |                               |                              |

### 10.11: Raspberry Pi 3

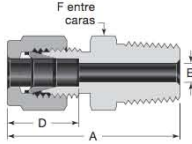


Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU.  
 1GB RAM.  
 BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board.  
 40-pin extended GPIO.  
 4 USB 2 ports.  
 4 Pole stereo output and composite video port.  
 Full size HDMI.  
 CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera.  
 DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display.  
 Micro SD port for loading your operating system and storing data.  
 Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A.

# 10.12: Racor – macho

## Racores rectos

### Conectores macho



#### NPT

| Ø Ext. Tubo              | Tamaño NPT | Referencia Básica | Dimensiones |      |                |        |
|--------------------------|------------|-------------------|-------------|------|----------------|--------|
|                          |            |                   | A           | D    | E <sup>ⓐ</sup> | F      |
| <b>Dimensiones, pulg</b> |            |                   |             |      |                |        |
| 1/16                     | 1/16       | -100-1-1          | 0,94        | 0,34 | 0,05           | 5/16   |
|                          | 1/8        | -100-1-2          | 1,03        |      |                | 7/16   |
|                          | 1/4        | -100-1-4          | 1,22        |      |                | 9/16   |
| 1/8                      | 1/16       | -200-1-1          | 1,17        | 0,50 | 0,09           | 7/16   |
|                          | 1/8        | -200-1-2          | 1,20        |      |                | 7/16   |
|                          | 1/4        | -200-1-4          | 1,40        |      |                | 9/16   |
|                          | 3/8        | -200-1-6          | 1,41        |      |                | 11/16  |
|                          | 1/2        | -200-1-8          | 1,66        |      |                | 7/8    |
| 3/16                     | 1/8        | -300-1-2          | 1,23        | 0,54 | 0,12           | 7/16   |
|                          | 1/4        | -300-1-4          | 1,43        |      |                | 9/16   |
| 1/4                      | 1/16       | -400-1-1          | 1,29        | 0,60 | 0,12           | 1/2    |
|                          | 1/8        | -400-1-2          | 1,29        |      |                | 1/2    |
|                          | 1/4        | -400-1-4          | 1,49        |      |                | 9/16   |
|                          | 3/8        | -400-1-6          | 1,51        |      |                | 11/16  |
|                          | 1/2        | -400-1-8          | 1,76        |      |                | 7/8    |
|                          | 3/4        | -400-1-12         | 1,82        |      |                | 1 1/16 |
| 5/16                     | 1/8        | -500-1-2          | 1,34        | 0,64 | 0,19           | 9/16   |
|                          | 1/4        | -500-1-4          | 1,52        |      |                | 9/16   |
|                          | 3/8        | -500-1-6          | 1,54        |      |                | 11/16  |
| 3/8                      | 1/8        | -600-1-2          | 1,39        | 0,66 | 0,28           | 5/8    |
|                          | 1/4        | -600-1-4          | 1,57        |      |                | 5/8    |
|                          | 3/8        | -600-1-6          | 1,57        |      |                | 11/16  |
|                          | 1/2        | -600-1-8          | 1,82        |      |                | 7/8    |
|                          | 3/4        | -600-1-12         | 1,88        |      |                | 1 1/16 |
|                          | 1          | -600-1-16         | 2,14        |      |                | 1 3/8  |
| 1/2                      | 1/8        | -810-1-2          | 1,53        | 0,90 | 0,19           | 13/16  |
|                          | 1/4        | -810-1-4          | 1,71        |      |                | 13/16  |
|                          | 3/8        | -810-1-6          | 1,71        |      |                | 13/16  |
|                          | 1/2        | -810-1-8          | 1,93        |      |                | 7/8    |
|                          | 3/4        | -810-1-12         | 1,99        |      |                | 1 1/16 |
|                          | 1          | -810-1-16         | 2,25        |      |                | 1 3/8  |
| 5/8                      | 1/4        | -1010-1-4         | 1,74        | 0,96 | 0,28           | 15/16  |
|                          | 3/8        | -1010-1-6         | 1,74        |      |                | 15/16  |
|                          | 1/2        | -1010-1-8         | 1,93        |      |                | 15/16  |
|                          | 3/4        | -1010-1-12        | 1,99        |      |                | 1 1/16 |
| 3/4                      | 3/8        | -1210-1-6         | 1,80        | 0,96 | 0,41           | 1 1/16 |
|                          | 1/2        | -1210-1-8         | 1,99        |      |                | 1 1/16 |
|                          | 3/4        | -1210-1-12        | 1,99        |      |                | 1 1/16 |
|                          | 1          | -1210-1-16        | 2,25        |      |                | 1 3/8  |
| 7/8                      | 1/2        | -1410-1-8         | 1,99        | 1,02 | 0,47           | 1 3/16 |
|                          | 3/4        | -1410-1-12        | 1,99        |      |                | 1 3/16 |
|                          | 1          | -1410-1-16        | 2,25        |      |                | 1 3/8  |
| 1                        | 1/2        | -1610-1-8         | 2,26        | 1,23 | 0,47           | 1 3/8  |
|                          | 3/4        | -1610-1-12        | 2,26        |      |                | 1 3/8  |
|                          | 1          | -1610-1-16        | 2,45        |      |                | 1 3/8  |
| 1 1/8                    | 1          | -1810-1-16        | 2,45        | 1,23 | 0,88           | 1 5/8  |
| 1 1/4                    | 1          | -2000-1-16        | 3,04        | 1,62 | 0,88           | 1 3/4  |
|                          | 1 1/4      | -2000-1-20        | 3,04        |      |                | 1 3/4  |
| 1 1/2                    | 1 1/2      | -2400-1-24        | 3,50        | 1,97 | 1,34           | 2 1/8  |
| 2                        | 2          | -3200-1-32        | 4,47        | 2,66 | 1,81           | 2 3/4  |

ⓐ La dimensión E es el paso mínimo. Estos racores pueden taladrarse a un diámetro interior mayor en la conexión roscada cónica o paralela.

| Ø Ext. Tubo            | Tamaño NPT pulg | Referencia Básica | Dimensiones |      |                |    |
|------------------------|-----------------|-------------------|-------------|------|----------------|----|
|                        |                 |                   | A           | D    | E <sup>ⓐ</sup> | F  |
| <b>Dimensiones, mm</b> |                 |                   |             |      |                |    |
| 2                      | 1/8             | -2M0-1-2          | 30,5        | 12,9 | 1,7            | 12 |
| 3                      | 1/8             | -3M0-1-2          | 30,5        | 12,9 | 2,4            | 12 |
|                        | 1/4             | -3M0-1-4          | 35,6        |      |                | 14 |
| 4                      | 1/8             | -4M0-1-2          | 31,2        | 13,7 | 2,4            | 12 |
|                        | 1/4             | -4M0-1-4          | 36,3        |      |                | 14 |
| 6                      | 1/8             | -6M0-1-2          | 32,8        | 15,3 | 4,8            | 14 |
|                        | 1/4             | -6M0-1-4          | 37,9        |      |                | 14 |
|                        | 3/8             | -6M0-1-6          | 38,4        |      |                | 18 |
|                        | 1/2             | -6M0-1-8          | 44,7        |      |                | 22 |
| 8                      | 1/8             | -8M0-1-2          | 34,2        | 16,2 | 4,8            | 15 |
|                        | 1/4             | -8M0-1-4          | 38,7        |      |                | 15 |
|                        | 3/8             | -8M0-1-6          | 39,3        |      |                | 18 |
|                        | 1/2             | -8M0-1-8          | 45,6        |      |                | 22 |
| 10                     | 1/8             | -10M0-1-2         | 36,3        | 17,2 | 4,8            | 18 |
|                        | 1/4             | -10M0-1-4         | 40,9        |      |                | 18 |
|                        | 3/8             | -10M0-1-6         | 40,9        |      |                | 18 |
|                        | 1/2             | -10M0-1-8         | 46,5        |      |                | 22 |
|                        | 3/4             | -10M0-1-12        | 48,0        |      |                | 27 |
| 12                     | 1/8             | -12M0-1-2         | 38,8        | 22,8 | 4,8            | 22 |
|                        | 1/4             | -12M0-1-4         | 43,4        |      |                | 22 |
|                        | 3/8             | -12M0-1-6         | 43,4        |      |                | 22 |
|                        | 1/2             | -12M0-1-8         | 49,0        |      |                | 22 |
|                        | 3/4             | -12M0-1-12        | 50,5        |      |                | 27 |
| 14                     | 1/4             | -14M0-1-4         | 44,1        | 24,4 | 7,1            | 24 |
|                        | 3/8             | -14M0-1-6         | 44,1        |      |                | 24 |
|                        | 1/2             | -14M0-1-8         | 49,0        |      |                | 24 |
| 15                     | 1/2             | -15M0-1-8         | 49,0        | 24,4 | 11,9           | 24 |
| 16                     | 3/8             | -16M0-1-6         | 44,1        | 24,4 | 9,5            | 24 |
|                        | 1/2             | -16M0-1-8         | 49,0        |      |                | 24 |
|                        | 3/4             | -16M0-1-12        | 50,5        |      |                | 27 |
| 18                     | 1/2             | -18M0-1-8         | 50,5        | 24,4 | 11,9           | 27 |
|                        | 3/4             | -18M0-1-12        | 50,5        |      |                | 27 |
| 20                     | 1/2             | -20M0-1-8         | 52,3        | 26,0 | 11,9           | 30 |
|                        | 3/4             | -20M0-1-12        | 52,3        |      |                | 30 |
| 22                     | 3/4             | -22M0-1-12        | 52,3        | 26,0 | 15,9           | 35 |
|                        | 1               | -22M0-1-16        | 57,1        |      |                | 35 |
| 25                     | 1/2             | -25M0-1-8         | 57,5        | 31,3 | 11,9           | 35 |
|                        | 3/4             | -25M0-1-12        | 57,5        |      |                | 35 |
|                        | 1               | -25M0-1-16        | 62,3        |      |                | 35 |
| 28                     | 1               | -28M0-1-16        | 72,4        | 36,6 | 21,8           | 41 |
|                        | 1 1/4           | -28M0-1-20        | 73,1        |      |                | 46 |
| 30                     | 1               | B-28M0-1-16       | 75,0        | 31,6 | 24,6           | 41 |
|                        | 1 1/4           | B-28M0-1-20       | 77,3        |      |                | 46 |
| 32                     | 1 1/4           | -32M0-1-20        | 79,6        | 42,0 | 28,6           | 46 |
| 38                     | 1 1/2           | -38M0-1-24        | 91,6        | 49,4 | 33,7           | 55 |

ⓐ La dimensión E es el paso mínimo. Estos racores pueden taladrarse a un diámetro interior mayor en la conexión roscada cónica o paralela.

Consulte las instrucciones de instalación que empiezan en la página D-64

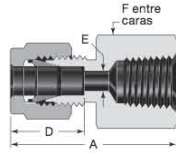


## 10.13: Racor – hembra

D-24 Racores para tubo

### Racores rectos

#### Conectores hembra



#### Rosca NPT

| Ø Ext. Tubo       | Tamaño NPT | Referencia Básica | Dimensiones |      |      |        |
|-------------------|------------|-------------------|-------------|------|------|--------|
|                   |            |                   | A           | D    | E    | F      |
| Dimensiones, pulg |            |                   |             |      |      |        |
| 1/16              | 1/16       | -100-7-1          | 0,93        | 0,34 | 0,05 | 7/16   |
|                   | 1/8        | -100-7-2          | 0,96        |      |      | 9/16   |
| 1/8               | 1/8        | -200-7-2          | 1,13        | 0,50 | 0,09 | 9/16   |
|                   | 1/4        | -200-7-4          | 1,32        |      |      | 3/4    |
| 3/16              | 1/8        | -300-7-2          | 1,17        | 0,54 | 0,12 | 9/16   |
| 1/4               | 1/8        | -400-7-2          | 1,23        | 0,60 | 0,19 | 9/16   |
|                   | 1/4        | -400-7-4          | 1,41        |      |      | 3/4    |
|                   | 3/8        | -400-7-6          | 1,48        |      |      | 7/8    |
|                   | 1/2        | -400-7-8          | 1,67        |      |      | 1 1/16 |
| 5/16              | 1/8        | -500-7-2          | 1,26        | 0,64 | 0,25 | 9/16   |
|                   | 1/4        | -500-7-4          | 1,45        |      |      | 3/4    |
| 3/8               | 1/8        | -600-7-2          | 1,29        | 0,66 | 0,28 | 5/8    |
|                   | 1/4        | -600-7-4          | 1,48        |      |      | 3/4    |
|                   | 3/8        | -600-7-6          | 1,54        |      |      | 7/8    |
|                   | 1/2        | -600-7-8          | 1,73        |      |      | 1 1/16 |
| 3/4               | 3/4        | -600-7-12         | 1,88        |      |      | 1 5/16 |
|                   |            |                   |             |      |      |        |
| 1/2               | 1/4        | -810-7-4          | 1,59        | 0,90 | 0,41 | 13/16  |
|                   | 3/8        | -810-7-6          | 1,65        |      |      | 7/8    |
|                   | 1/2        | -810-7-8          | 1,84        |      |      | 1 1/16 |
|                   | 3/4        | -810-7-12         | 1,90        |      |      | 1 5/16 |
| 5/8               | 3/8        | -1010-7-6         | 1,65        | 0,96 | 0,50 | 15/16  |
|                   | 1/2        | -1010-7-8         | 1,84        |      |      | 1 1/16 |
|                   | 3/4        | -1010-7-12        | 1,90        |      |      | 1 5/16 |
| 3/4               | 1/2        | -1210-7-8         | 1,84        | 0,96 | 0,62 | 1 1/16 |
|                   | 3/4        | -1210-7-12        | 1,90        |      |      | 1 5/16 |
| 7/8               | 3/4        | -1410-7-12        | 1,96        | 1,02 | 0,72 | 1 5/16 |
| 1                 | 3/4        | -1610-7-12        | 2,10        | 1,23 | 0,88 | 1 3/8  |
|                   | 1          | -1610-7-16        | 2,45        |      |      | 1 5/8  |
| 1 1/4             | 1 1/4      | -2000-7-20        | 2,94        | 1,62 | 1,09 | 2 1/8  |
| 1 1/2             | 1 1/2      | -2400-7-24        | 3,28        | 1,97 | 1,34 | 2 3/8  |
| 2                 | 2          | -3200-7-32        | 4,00        | 2,66 | 1,81 | 2 7/8  |

| Ø Ext. Tubo     | Tamaño NPT pulg | Referencia Básica | Dimensiones |      |      |    |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------|------|------|----|
|                 |                 |                   | A           | D    | E    | F  |
| Dimensiones, mm |                 |                   |             |      |      |    |
| 3               | 1/8             | -3M0-7-2          | 28,7        | 12,9 | 2,4  | 14 |
|                 | 1/4             | -3M0-7-4          | 33,5        |      |      | 19 |
| 4               | 1/8             | -4M0-7-2          | 29,7        | 13,7 | 2,4  | 14 |
| 6               | 1/8             | -6M0-7-2          | 31,3        | 15,3 | 4,8  | 14 |
|                 | 1/4             | -6M0-7-4          | 35,8        |      |      | 19 |
|                 | 3/8             | -6M0-7-6          | 37,6        |      |      | 22 |
|                 | 1/2             | -6M0-7-8          | 42,5        |      |      | 27 |
| 8               | 1/8             | -8M0-7-2          | 32,1        | 16,2 | 6,4  | 15 |
|                 | 1/4             | -8M0-7-4          | 37,0        |      |      | 19 |
|                 | 3/8             | -8M0-7-6          | 38,5        |      |      | 22 |
|                 | 1/2             | -8M0-7-8          | 43,3        |      |      | 27 |
| 10              | 1/4             | -10M0-7-4         | 37,8        | 17,2 | 7,9  | 19 |
|                 | 3/8             | -10M0-7-6         | 39,4        |      |      | 22 |
|                 | 1/2             | -10M0-7-8         | 44,2        |      |      | 27 |
| 12              | 1/4             | -12M0-7-4         | 40,3        | 22,8 | 9,5  | 22 |
|                 | 3/8             | -12M0-7-6         | 41,9        |      |      | 22 |
|                 | 1/2             | -12M0-7-8         | 46,7        |      |      | 27 |
| 15              | 1/2             | -15M0-7-8         | 46,7        | 24,4 | 11,9 | 27 |
| 16              | 1/2             | -16M0-7-8         | 46,9        | 24,4 | 12,7 | 27 |
|                 |                 |                   |             |      |      |    |
| 20              | 1/2             | -20M0-7-8         | 47,9        | 26,0 | 15,9 | 30 |
|                 | 3/4             | -20M0-7-12        | 49,7        |      |      | 35 |
| 22              | 3/4             | -22M0-7-12        | 49,7        | 26,0 | 18,3 | 35 |
|                 | 1               | -22M0-7-16        | 57,9        |      |      | 41 |
| 25              | 3/4             | -25M0-7-12        | 53,4        | 31,3 | 21,8 | 35 |
|                 | 1               | -25M0-7-16        | 62,3        |      |      | 41 |

D

Consulte las instrucciones de instalación que empiezan en la página D-64

Swagelok



## NMX-AA-010-SCFI-2001



### CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA - FUENTES FIJAS - DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS CONTENIDAS EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO - MÉTODO ISOCINÉTICO

### ATMOSPHERIC POLLUTION - STATIONARY SOURCES - DETERMINATION OF PARTICLES IN THE FLUE GASES FLOWING THROUGH A DUCT - ISOKINETIC SAMPLING METHOD

#### 0 INTRODUCCIÓN

La presente norma mexicana es parte fundamental para el desarrollo de las pruebas que se efectúan en fuentes fijas, donde se generan emisiones de partículas a la atmósfera, se establecen los criterios con los cuáles deben de efectuarse la toma de muestras, así como los equipos e instrumentos necesarios para efectuar la prueba, señalando los cuidados necesarios que se deben tomar desde el inicio de la prueba hasta el término de la misma. Además la presente norma contiene un diagrama básico de la distribución de los elementos con que debe contar el equipo de recolección y medición, así como; detalles de las especificaciones de las boquillas de colección. Cuenta también con un formato general de los resultados mínimos que deben contener los reportes, así como una secuencia de cálculo con lo cuál se debe tratar de evitar errores en el reporte de los valores tomados en campo y los resultados sean los correctos.

#### 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece el procedimiento para determinar por método isocinético la emisión y concentración de partículas totales contenidas en los gases que fluyen por un conducto.

#### 2 REFERENCIAS

California Environmental Protection Agency  
 **Air Resources Board**

Method 5

Determination of Particulate Matter  
Emissions from Stationary Sources

Adopted: June 29, 1983  
Amended: March 28, 1986  
Amended: January 7, 1988  
Amended: July 28, 1997

10.16: Proyecto LAPEM-PST

**“DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UN LABORATORIO PORTÁTIL PARA LA MEDICIÓN EN LÍNEA DE LAS EMISIONES DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN FUENTES FIJAS (LAPEM-PST)”  
ANTECEDENTES**

Dentro del mercado global, se derivan recursos no renovables que es necesario aprovechar cada vez de forma eficiente, principalmente por el empleo de técnicas de reducción en la fuente, dentro de las cuales la optimización de la combustión es una técnica que es empleada como herramienta al contar con una medición en línea de partículas suspendidas totales, es un procedimiento que permite la obtención de información valiosa para el proceso de combustión, contribuye al mejor aprovechamiento del combustible, logrando con ello contribuir en la mejora de la eficiencia energética a través de la toma de las acciones necesarias para que mejore la condición de combustión existente en cada momento en las unidades.

El proyecto LAPEM-PST, permitirá el desarrollo de nueva tecnología y promoverá intensamente la eficiencia energética, a fin de disminuir el impacto ambiental que se deriva por la utilización de combustibles fósiles que han quedado dentro del objetivo 3 del plan Nacional de Desarrollo (2013- 2018), por otra parte se encuentran alineadas a la estrategia III Objetivo III.1 de Promover el uso y producción eficientes de la energía mediante la reducción del gasto en insumos energéticos, aumentar la competitividad del aparato productivo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y conservar los recursos energéticos de nuestro país. Es por lo anterior que, la información que se genera con el proyecto derivada del proceso de combustión será ajustada con el objeto de optimizar en tiempo real cualesquiera de las condiciones prevalecientes en un rango de actividad, de tal manera que mientras se estén monitoreando las variables principales que se encuentren involucradas durante el proceso de combustión y sus correspondientes emisiones y así se pueda responder en tiempo real a la mejor condición operativa que logre el objetivo plasmado en la primer línea de acción de la Estrategia III.8 para cumplir con el Plan Nacional de Desarrollo a través de la investigación y aplicación de medidas sobre eficiencia energética entre las cuales se encuentra el incremento de eficiencia de combustión o la disminución de las emisiones.

Las emisiones de Partículas Suspendidas Totales (PST) se realizan en la actualidad en México mediante un muestreo isocinético, del cual se obtiene un dato de su concentración para un periodo específico de tiempo, el cual es calculado 24 horas posteriores a la medición, limitando con ello la toma de decisiones que por motivo de la generación de emisiones de PST ocurren, tales como limpieza de quemadores, atomización del combustible, ensuciamiento de elementos de caldera y ajuste de los sistemas de limpieza de los mismos.