



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Aporte de la ingeniería  
mecatrónica a un laboratorio  
de calibración**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Héctor Adrián Avilés Ramírez

**ASESOR DE INFORME**

M.I. Billy Arturo Flores Medero Navarro



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017**

# Índice.

1. Introducción .....	1
2. Objetivos.....	2
3. Empresa.....	3
3.1 Historia.....	3
3.2 Misión, visión y organigrama de la empresa .....	4
4. Descripción del puesto (Técnico Calibrador).....	5
5. Calibración de equipos .....	9
5.1. Área de flujo y volumen.....	9
5.1.1. Patrones en el área de flujo y volumen.....	9
5.1.2. Equipos calibrados.....	11
5.1.2.1. Gasómetro seco .....	11
5.1.2.2 Gasómetro húmedo.....	12
5.1.2.3 Rotámetros y flujómetros.....	12
5.1.2.4. Placas de orificios críticos .....	14
5.2 Área de velocidad del viento .....	15
5.2.1. Patrones en el área de velocidad del viento .....	16
5.2.2. Equipos calibrados.....	18
5.2.2.1. Anemómetro de hilo caliente .....	18
5.2.2.2. Tubo de pitot .....	18
5.2.2.2.1. Tubo de pitot tipo L.....	19
5.2.2.2.2. Tubo de pitot tipo S.....	20
5.2.2.3. Muestreador de aire .....	21
6. Aportaciones a la empresa .....	22
6.1. Calibración de anemómetro de propela: Wind monitor Young 05305 .....	22
6.2. Calibración de sensor de humedad y temperatura: Vaisala HMW82.....	24
6.3. Calibración de transmisor de velocidad: Dwyer 641 .....	26
6.4. Contador de vueltas para el patrón gasómetro húmedo 1L-4WTM .....	27
7. Conclusiones.....	29
8. Agradecimientos.....	31
9. Referencias .....	32
10. Anexos .....	34
10.1. Glosario .....	34
10.2. Código del programa del contador de vueltas en Arduino.....	36

# 1. Introducción.

En el mundo de hoy, dentro de las industrias; las calibraciones, han ido tomando un papel más relevante para asegurar la calidad de los procesos de producción, por lo que cada vez más en nuestro país se están exigiendo, dentro de las leyes mexicanas, que todos los instrumentos de medición estén debidamente calibrados; es por eso que esta rama de la industria va teniendo un crecimiento en los últimos años. En el pasado, esto no era obligatorio por lo que muchas empresas no trabajaban de manera adecuada, ya que no sabían con certeza si el funcionamiento de sus equipos de medición era el óptimo, y empresas que empezaron a dedicarse a la metrología tuvieron muchas dificultades para poder posicionarse dentro del mercado.

La empresa Ingeniería y Calibraciones de Equipos para Monitoreo Ambiental (ICEMA), es una de las empresas en el área metropolitana que ha conseguido crecer gracias a que empezó su fundación y su crecimiento en una época donde las calibraciones poco a poco fueron siendo un servicio fundamental dentro de los procesos industriales, esto es a partir de los comienzos del siglo XXI.

La empresa se encuentra acreditada ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), la cual es la primera entidad de gestión privada en México que tiene como objetivo acreditar a los Organismos de la Evaluación de la Conformidad que son los laboratorios de ensayo, laboratorios de calibración, laboratorios clínicos, unidades de verificación y organismos de certificación.

Otro organismo vital, para todos los laboratorios de calibración en México como lo es ICEMA es el CENAM (Centro Nacional de Metrología), el cual es el organismo del gobierno, encargado de apoyar al sistema metrológico nacional, por lo cual todos los laboratorios del país están ligados a esta entidad; este organismo es el laboratorio nacional de referencia en materia de mediciones. Es responsable de establecer y mantener los patrones nacionales, ofrecer servicios metrológicos como calibración de instrumentos y patrones nacionales, certificación y desarrollo de materiales de referencia, cursos, asesorías y venta de publicaciones.

ICEMA, brinda servicios de calibración de instrumentos en las áreas de temperatura, humedad relativa, flujo y volumen de gases, velocidad del aire y presión. Para ofrecer estos servicios, emplean profesionistas del área de ingeniería industrial, mecánica, química y mecatrónica los cuáles deben ser adaptables a los cambios en la industria y poder ofrecer asesoría directa con los clientes con respecto a sus equipos de medición, por lo que deben ser personas comprometidas, organizadas, con una buena base de conocimientos técnicos y capaces de establecer una correcta comunicación con todas las áreas de la empresa para poder dar el mejor servicio posible al cliente.

En este reporte se hablará en general de las actividades y servicios que la empresa realiza y específicamente aquellas que se desarrollan relacionadas con ingeniería mecatrónica, en las cuales participé y la importancia de los servicios de calibración como gran sector en la industria.

## **2. Objetivos.**

Se dará a conocer el entorno laboral de una empresa dedicada a ofrecer servicios de calibraciones, así como un panorama general de las actividades que como recién egresado fui capaz de realizar gracias a la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera y el nuevo enfoque que me dio la empresa para complementar mi formación como ingeniero mecatrónico.

Se hará una reflexión sobre como un ingeniero mecatrónico puede influir en cualquier empresa industrial, en este caso un laboratorio de calibraciones, y como es importante la capacidad para poder analizar y resolver los problemas que se presentan en la etapa laboral.

## 3. Empresa.

### 3.1 Historia.

Ingeniería y Calibraciones de Equipos para Monitoreo Ambiental S.A. de C.V. o como se conoce comercialmente ICEMA, es una empresa mexicana fundada hace poco más de 15 años; la cual ofrece servicios de calibración a empresas de todo el país.

Se fundó ante la oportunidad que hubo a principios del siglo XXI, cuando el Instituto Nacional de Ecología dejó de calibrar las consolas de muestreo isocinético en chimeneas, ya que se vieron modificadas las funciones del instituto, dejando un gran mercado por explotar para las calibraciones de estos equipos.

Se consiguió comprar el terreno ubicado en Aretillo #144 Colonia Patrimonio Familiar, en la delegación Azcapotzalco y se consiguieron los patrones necesarios para poder hacer las calibraciones en el área de flujo de gases, el primero fue un gasómetro húmedo con un alcance de 40 L/min. Se elaboraron las metodologías necesarias para poder hacer las calibraciones en esta área para finalmente obtener la acreditación de la misma magnitud, la cual se obtuvo oficialmente en el año 2005.

Se eligió en el área de flujo, sólo calibrar instrumentos que midieran el flujo de gases, ya que el área de medición de caudales hidráulicos era más competida en el mercado y se necesitaba una mayor infraestructura. Cuando se pensó en expandir los servicios que la empresa ofrecía, vieron como una buena área de oportunidad, la calibración de instrumentos para la medición de la velocidad del viento.

Se empezaron a buscar expertos técnicos en el área para poder construir un túnel de viento, esto significó un gran reto para la empresa, pero sería una gran oportunidad para poder cubrir una parte del mercado prácticamente sin competencia. Después de varios meses de diseño y de modificaciones dentro del laboratorio, se logró el objetivo deseado y en el año 2007 se alcanzó la acreditación oficial para calibrar cualquier instrumento que midiera la velocidad del aire como anemómetros y tubos de pitot; se caracterizó el tubo de Venturi y el alcance final del laboratorio en esa magnitud fue entre los 0.3 m/s hasta los 40 m/s; este fue un paso decisivo para el crecimiento de la empresa y poco a poco fue necesitando más personal, para las distintas áreas.

Después de una ampliación en los alcances del área de flujo y concluyendo el proyecto del túnel de viento se decidió expandir las magnitudes y comprar los patrones para las nuevas áreas de temperatura, presión y humedad. Se construyeron cámaras para la calibración de estas magnitudes y así como el diseño de metodologías para estas mismas. Finalmente, las nuevas acreditaciones llegaron en el año 2009 para tener una oferta total de cinco magnitudes.

Algunos de sus clientes actuales son: Bufete Químico, Coca-Cola, Giltronics, Condumex, Pisa Farmacéutica, Roche, Intertek, Bayer, Bristol, entre otros. Actualmente trabaja con más de 150 empresas del interior de la República y de la Ciudad de México que han depositado la confianza en los servicios que se realizan por parte de ICEMA S.A de C.V.

## 3.2. Misión, visión y organigrama de la empresa.

### Misión

Proporcionar calibración a instrumentos de medición en las magnitudes de flujo, velocidad, humedad relativa, presión y temperatura con instrumentos patrón calibrados con trazabilidad nacional e internacional que asegure el proceso de gestión en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006, todo esto con buenos niveles de rentabilidad que permitan la continuidad del negocio.

### Visión

Ser líder en servicios de metrología, siendo la primera opción de nuestros clientes, logrando su satisfacción e interés a nuestra empresa a través de la mejora continua de nuestros servicios basados en la conformidad de la normatividad, integridad, innovación y trabajo en equipo de nuestro personal.

### Organigrama

El puesto en el que trabajé, llamado técnico calibrador; se encuentra dentro del área de operaciones; cómo jefe directo está el que ocupa el puesto de Metrólogo y el encargado de toda el área es el Gerente de Operaciones (véase figura 1).

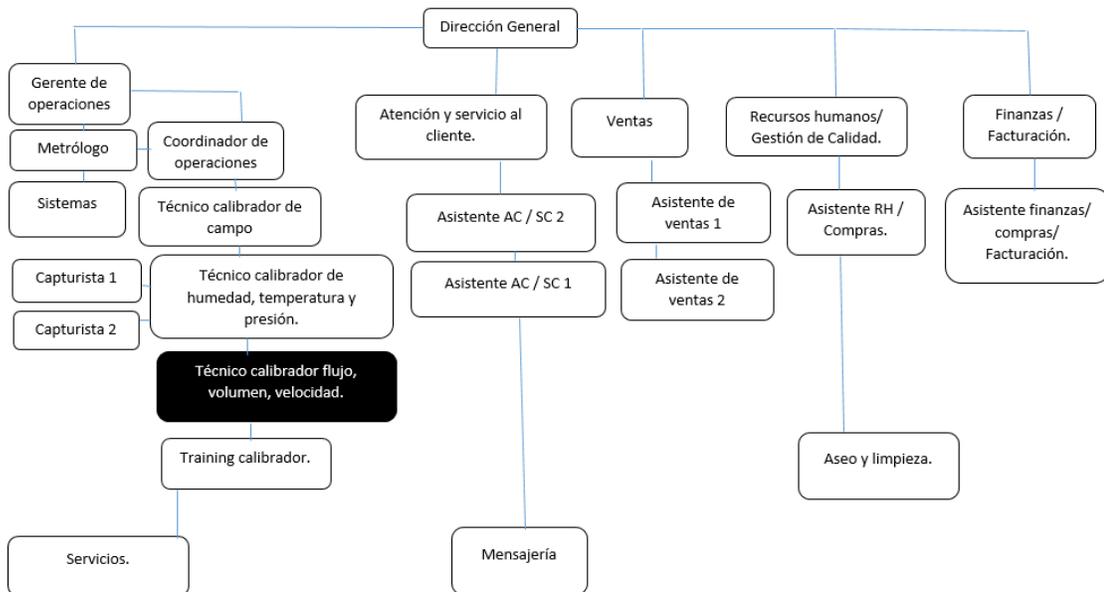


Fig. [1] Organigrama completo de la empresa.

## 4. Descripción del Puesto. (Técnico Calibrador)

Un técnico calibrador es una persona altamente capacitada en habilidades matemáticas, deductivas, analíticas y lógicas. Entre las principales tareas que realicé en este puesto son las siguientes:

- **Recepción de equipos:** Esta es una tarea muy importante porque es el momento en el cual el cliente deja su instrumento de calibración y los técnicos calibradores de cada área debemos verificar que éste presente todo lo necesario para poder calibrarse; revisar su correcto funcionamiento, que traiga consigo todos los accesorios necesarios para poder realizar el trabajo, cualquier detalle técnico y estético relevante para hacérselo conocer al cliente y especificar las condiciones exactas de ingreso del instrumento a las instalaciones. Este punto del servicio era muy importante para mí como ingeniero porque podía entender fácilmente los conceptos y fundamentos con los cuáles trabaja cada equipo y podía resolver las dudas del cliente, por eso necesitaba realizar este procedimiento de recepción; para mí fue fundamental ya que pude conocer rápidamente los equipos que utilizaban en las diferentes industrias.

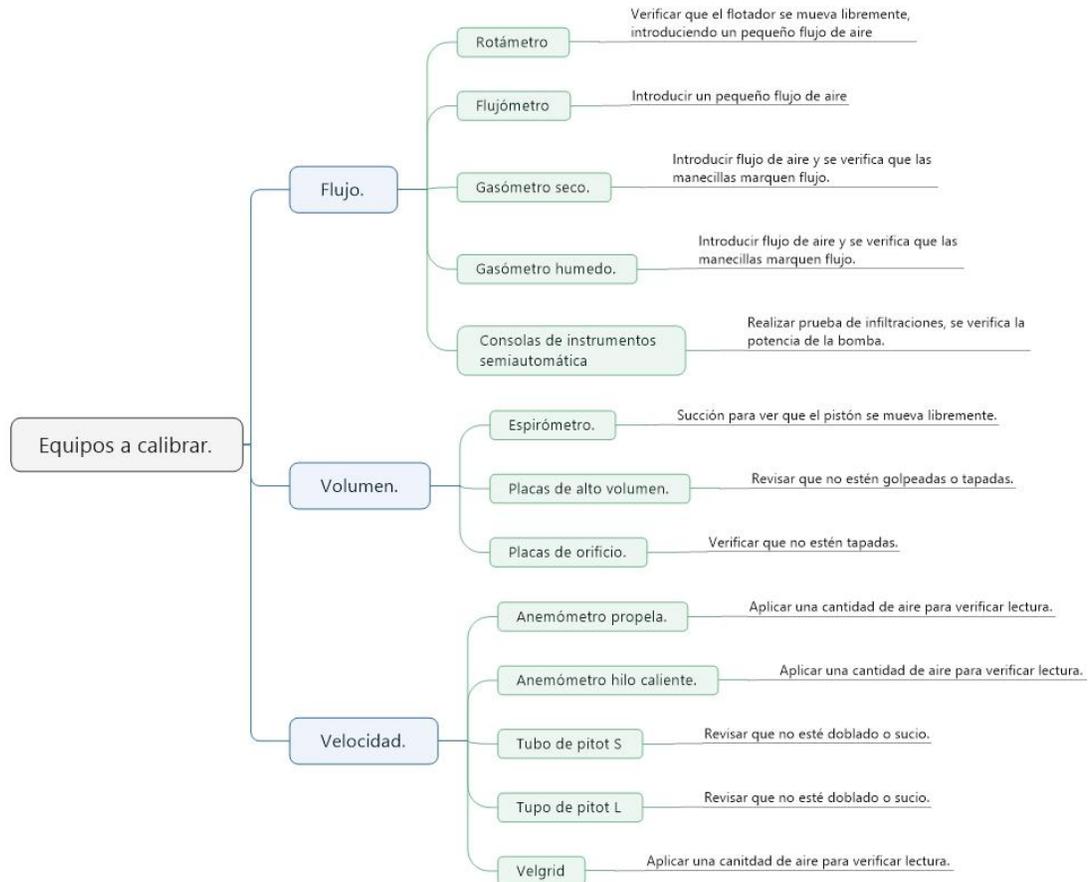
El equipo se ingresa a la base de datos; es importante que los datos ingresados coincidan con los del equipo porque estos mismos se plasmarán en el informe de calibración, y si estos llegan a variar, al momento que ellos tienen auditorías se podrían interpretar que esos documentos no son del equipo en cuestión. Posteriormente se le proporciona al cliente una hoja de recepción con el cual podrá recoger días después su equipo. Cabe recalcar la importancia de este paso al cliente porque es cuando podía resolver las dudas directamente y sin intermediarios; aquí el cliente me llegaba a preguntar varias dudas técnicas sobre como venían los informes, como se interpretan los datos y los resultados de los mismos y la metodología en general que se seguía para la calibración de ciertos equipos.

Para la empresa era muy importante que estuviéramos los ingenieros en la recepción porque habían casos en donde llegaban equipos que no estaban trabajando correctamente y por lo tanto se tenía que decirle inmediatamente al cliente, ya que si se aceptaban de esa manera sin mencionarlo, la empresa corría peligro de ser inculpada de provocar ese mal funcionamiento; para evitar todos estos problemas se tenían que realizar pruebas a los equipos, habían muchas que eran muy sencillas y otras que requerían una mayor especialización.

Cuando un equipo no presentaba todos los accesorios necesarios para su calibración, le notificaba al cliente inmediatamente, ya que sus días necesarios para tener el informe final tendrían que extenderse más de los 7 días marcados.

Si el equipo no funcionaba adecuadamente al momento de la recepción, de igual manera, le comunicaba al cliente para que este pudiera cambiarlo si lo veía conveniente o en caso contrario no se podría llevar a cabo el servicio.

En la tabla 1, muestro un resumen de los equipos que llegan y las diferentes pruebas que se realizan al momento de la recepción.



**Tabla [1]. Equipos de flujo, volumen y velocidad: pruebas rápidas de funcionamiento.**

- Calibración:** Después de la llegada de los equipos del cliente, dependiendo de la cantidad de trabajo en turno, le asignaba en el calendario una fecha de calibración, ésta también dependía del área de control de calidad para dar fecha exacta de entrega, ya que no todos requerían el mismo tiempo, algunos tardaban varias horas y otros solo algunos minutos; incluso se podían calibrar dos equipos a la vez aunque en el área de flujo y volumen, esto era más complicado que en otras áreas, por la limitante de los patrones que sólo se podían comparar un equipo a la vez, mientras en otras áreas, por ejemplo temperatura, se podía calibrar varios termómetros con tan solo un patrón, en la cámara adiabática. En donde se anotaban los resultados obtenidos de la calibración era en las hojas de calibración.
- Elaboración de las hojas de calibración:** Antes de calibrar cualquier equipo, necesitaba anotar las condiciones ambientales dentro del laboratorio porque todas podían influir en mayor o menor medida en los resultados obtenidos, en mi caso que era el área de flujo y

trabajaba con aire que provenía de un compresor, las condiciones ambientales influían en la densidad del aire y esto en muchos equipos provocaba diferentes resultados que se debían corregir por medio de las condiciones iniciales. Por esta razón, era algo de suma importancia conservar unas condiciones estables dentro del laboratorio; es decir, una temperatura que oscilara entre 18°C hasta los 22°C y una humedad menor al 50%. De igual manera se anotaba el dato de la presión barométrica. Todos estos datos se anotaban antes y al final de cualquier calibración. Se tomaban las lecturas dependiendo los equipos a comparar, cinco repeticiones por punto de calibración solicitado por el cliente o dependiendo la capacidad del instrumento a calibrar; mientras se realizaba el servicio podía ir verificando los resultados con cada lectura, en caso que la desviación fuera muy grande tenía que revisar que todo estuviera funcionando adecuadamente, como por ejemplo, examinar con atención las conexiones de aire, intentando que fueran las menos posibles ya que entre más conexiones sean, la posibilidad de alguna fuga se incrementaba; esto en el área de flujo. En el área de velocidad; comprobar las baterías que tuvieran una carga suficiente, sobre todo en equipos como los anemómetros de hilo caliente donde se consumía una gran cantidad de energía y cuando esta no era suficiente la diferencia era demasiado grande con respecto al patrón y tener mucho cuidado que los instrumentos los tuviera colocados adecuadamente en el túnel de viento. La manera rápida para que pudiera corroborar los resultados, era por medio del factor de calibración.

- **Asesoría al cliente:** Había casos específicos en donde el cliente solicitaban alguna asesoría para poder determinar cuáles eran los mejores puntos para que se calibraran sus equipos, estos dependían principalmente del uso que el cliente le daba a los mismos por lo que se les preguntaba cuál era su rango de trabajo en el cuál trabajaba el equipo con ellos y dependiendo la respuesta se le proponían los puntos más convenientes para conocer el comportamiento de su instrumento; en otras ocasiones nos preguntaban sobre los resultados de los informes para que pudieran interpretarlos y utilizarlos correctamente. Y en otras ocasiones cuando ellos observaban que su equipo no funcionaba bien dentro de su línea de proceso, y tenía buenos resultados de calibración nos preguntaban la manera como se realizó el servicio, llegando en varias ocasiones a asesorar al cliente sobre sus conexiones eléctricas que utilizaba en su línea de producción o asesorarle en cuales condiciones eran las óptimas para que trabajara su equipo.
- **Elaboración de reporte final de calibración:** Después de obtener los resultados, enviaba estos al área de captura para introducir todos los datos a las hojas de cálculo en el cuál conocería si está operando dentro de los límites diseñados en su fabricación o si estaba trabajando erróneamente, en este caso, me comunicaba con el cliente para hacerle saber la condición de su aparato y dependiendo el caso, proceder a un mantenimiento o solicitar el cambio de equipo a calibrar; cuando ocurría el caso del cambio de equipo, la fecha de entrega del equipo calibrado se extendía un día más; para el alcance de la empresa eran pocos los equipos que se podían prestar a mantenimiento, principalmente eran los gasómetros secos o algún detalle de electrónica el cuál no requiriera el cambio de alguna pieza que no pudiéramos conseguir, como algún microprocesador o microcontrolador especial de la marca del equipo.



- Entrega de equipos e informes al cliente:** Terminado todo el proceso anterior, el cual llevaba aproximadamente entre 5 a 8 días hábiles, le entregaba el equipo al cliente con todos los accesorios que entraron, cada uno de los ingenieros encargados en sus áreas podía entregar los equipos en caso que no estuvieran disponibles alguno de ellos; cuando estos se entregaban se probaba su correcto funcionamiento y cualquier duda que tuviera el cliente sobre sus resultados o su equipo se respondían.

En la figura 2, presento un diagrama donde se resumen las actividades que se realizan dentro de la empresa cuando un equipo entra para su calibración, están marcadas en negro en las cuáles participé.

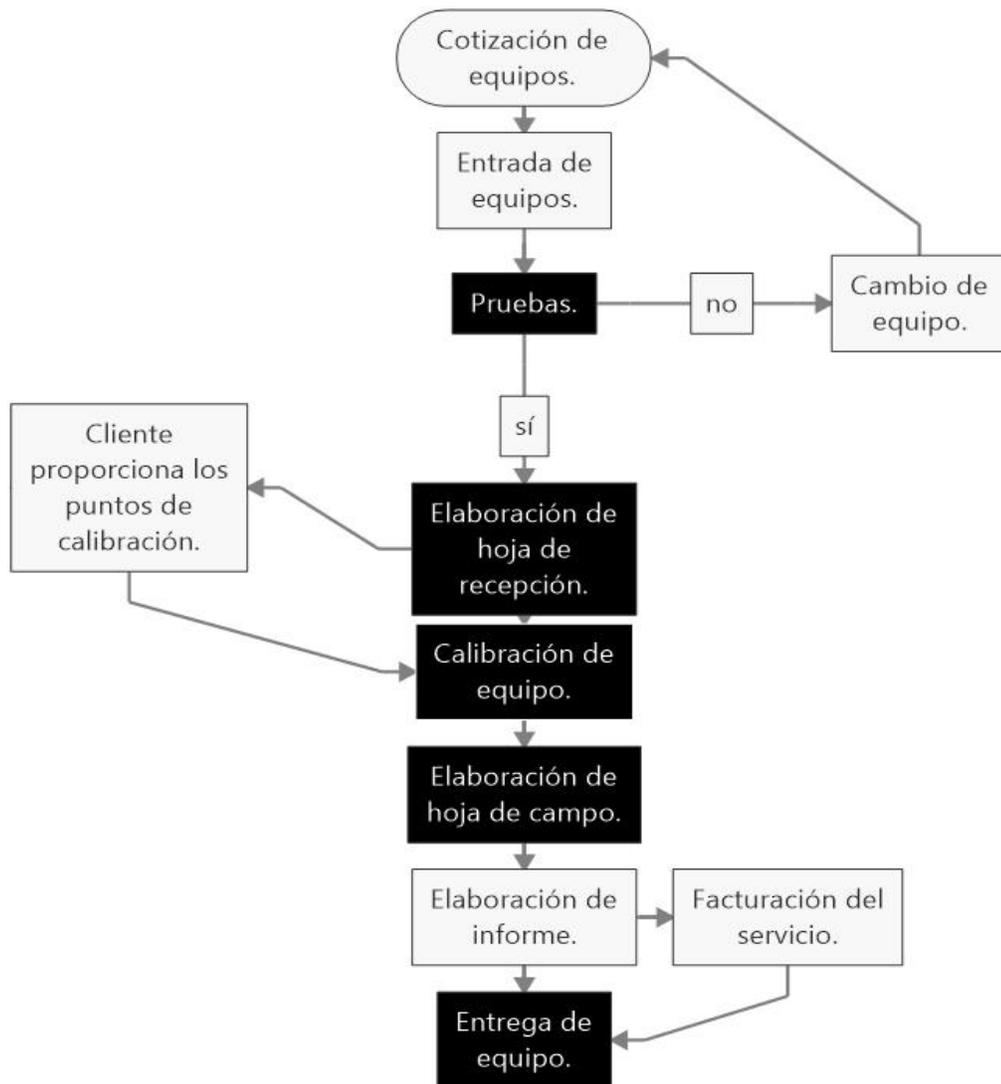


Fig. [2] Diagrama de actividades para calibrar un equipo dentro de la empresa.

## 5. Calibración de equipos.

### 5.1. Área de flujo y volumen.

El área de flujo y volumen es aquella donde se calibraban los equipos encargados de medir el flujo de distintos gases para cierto proceso, sin embargo, sólo utilizaba en el laboratorio el aire atmosférico que provenía de un compresor para hacer las calibraciones; en caso que el cliente necesitara conocer cómo se comporta su equipo con otro tipo de gases, se hacía la conversión correspondiente en el área de elaboración de informes.

En este apartado, explicaré sobre lo que hice en esta área, como calibraba los instrumentos y la explicación de los equipos más importantes o frecuentes que llegaban al laboratorio.

Para empezar, mostraré los patrones de medida que contaba el laboratorio, así como la función de cada uno; y para cuáles equipos se utilizaban.

#### 5.1.1. Patrones en el área de flujo y volumen.

El primer patrón que mostraré es el gasómetro húmedo 1L-4WTM (Véase Figura 3). Este patrón lo utilicé para equipos en los cuales sus puntos de calibración estuvieran comprendidos en un flujo entre 0.05 L/min hasta 4.0 L/min; en estos rangos se encuentran principalmente las placas de orificio críticos y flujómetros digitales de bajo alcance.



Fig. [3] Patrón, gasómetro húmedo 1L-4WTM.

Para todas las calibraciones, necesitaba previamente poner a funcionar el equipo patrón durante un periodo de tiempo aproximado, mayor a 15 minutos, es decir, mandarle un flujo entre su rango de trabajo, esto para conseguir estabilizar las medidas; esto se consigue cuando el aceite dieléctrico que está en el interior del gasómetro alcanza una temperatura aproximada entre 18°C hasta 24°C.

Si no hacía este paso antes de cualquier calibración puede que se vea afectada la repetibilidad de las mediciones a pesar de tener la misma presión manométrica dentro del sistema. Una de las razones por las cuales el punto de calibración se puede ver alterado puede ser debido a una caída de presión, por eso necesitaba que esta fuera constante y el compresor tuviera una presión mayor a 4 bares.

Tenía que purgar el compresor en todas las calibraciones, para quitarle las impurezas, principalmente residuos de humedad que puede afectar a algunos equipos que se calibran.

Para todas las calibraciones en esta área necesitaba anotar la temperatura que está dentro del sistema, tanto en el patrón, como en el equipo a calibrar; conocer la presión manométrica del gasómetro húmedo que se mide por medio de un manómetro inclinado y la presión manométrica del equipo a calibrar. Cómo en todas las calibraciones, debía anotar las condiciones ambientales dentro del laboratorio, las cuales son: humedad relativa, temperatura y presión barométrica.

Necesitaba tener muy presente el rango de trabajo de los equipos que se utilizan porque un exceso de flujo podría generar un serio problema en el equipo, en este caso puede suceder, si es durante un breve periodo, que se derrame su aceite dieléctrico; y en periodos prolongados, el tambor con el cual trabaja puede desalinearse y dar mediciones erróneas; el mantenimiento de estos equipos es una tarea complicada que estaba fuera del alcance de la empresa ya que los mecanismos que están dentro de los gasómetros necesitan una alta precisión para dar lecturas correctas.

Otros patrones que se encuentran dentro de este laboratorio, son el AL-19 American Meter para flujos que van de 5 L/min hasta 40 L/min (véase figura 4); los utilizaba para calibrar gasómetros secos, gasómetros húmedos, flujómetros de mediano alcance y rotámetros. También estaba el Alicat Scientific (véase figura 5) que tiene un rango de trabajo entre 50 L/min hasta 1000 L/min, este lo utilizaba para rotámetros industriales de gran tamaño. Para calibraciones en microflujos están las buretas graduadas (véase figura 6) que van desde 0.01L/min hasta 0.05L/min, con estos equipos calibraba detectores de fugas y placas de orificio crítico; este último instrumento patrón es el más sensible y el que requería tener controladas las condiciones ambientales lo mejor posible.



Fig. [4] American Meter AL-19.



Fig. [5] Alicat Scientific.



Fig. [6]Bureta graduada.

## 5.1.2. Equipos calibrados.

### 5.1.2.1. Gasómetro seco.

Los gasómetros secos son equipos de medición muy utilizados en la industria y en cualquier hogar para la medición de gas natural, LP o cualquier otro tipo de gases; el principio de funcionamiento de este equipo es por medio de un diafragma que se llena del gas en cuestión y genera un movimiento en el mecanismo interno con el cual se irá moviendo los engranes del contador. Este tipo de gasómetro (véase figura 7) sirve para flujos aproximadamente de 1 L/min hasta 90 L/min.



Fig. [7] Gasómetro seco.<sup>[1]</sup>

Estos equipos los calibraba con los gasómetros húmedos, ya que estos últimos presentan una mayor exactitud. Para la calibración de estos equipos seguía la siguiente metodología:

- Como primer paso, conectaba a la entrada del gasómetro una bomba de aire la cual iba regulando su flujo por medio de una válvula de paso. A la salida de este, conectaba una manguera a la entrada del patrón. Esto para comenzar a estabilizar los equipos.
- El siguiente paso era medir la presión en el gasómetro seco, para esto conectaba una placa de orificio a la salida de este y con ayuda del manómetro inclinado, registraba la diferencia de presión.
- Antes de comenzar la calibración, tenía que verificar que no hubiera fugas de aire en el sistema; para conseguir eso, tenía que tapan la salida del gasómetro húmedo; apagar la bomba y verificar que la presión registrada en el sistema no disminuyera al menos durante un minuto. Si esto ocurría podía afirmar que el sistema estaba libre de fugas. Una de las recomendaciones para prevenir las fugas, era colocar el menor número de conexiones y reducciones al sistema; y las uniones con rosca tenían que estar bien selladas con cinta teflón.
- Para comenzar la calibración, registraba todas las condiciones ambientales dentro del laboratorio, apagaba la bomba y tomaba la lectura inicial de los dos gasómetros; encendía la bomba durante 3 minutos; y durante ese tiempo anotaba las temperaturas de los dos gasómetros. Apagaba la bomba y tomaba las lecturas finales, para así concluir una lectura. En cada punto de calibración se requerían cinco lecturas y después se ajustaba el flujo para obtener el siguiente punto.

Las metodologías para la calibración de gasómetros secos, se apegan a la norma mexicana NMX-AA-088-1986, donde entre otros equipos mencionan los pasos a seguir para la calibración de estos equipos.

### 5.1.2.2 Gasómetro húmedo.

Un gasómetro húmedo se diferencia a uno seco en el método que utiliza para poder medir el aire que pasa a través de él, se utiliza para poder medir cantidades menores de aire y posee una mayor exactitud que el seco; es por eso que se utiliza en muchos laboratorios como patrón de calibración.

El tambor del interior del equipo está dividido en varias cámaras (véase figura 8), estas son llenadas por líquido como aceite dieléctrico o agua destilada a poco más de la mitad del tambor, cuentan con un medidor donde dice exactamente la cantidad de líquido que debe utilizarse. Tiene un tubo interno que sobresale arriba del nivel del líquido. El gas que entra por el interior del tubo con una mayor presión que el exterior, ocasiona que la cámara uno se llene de aire y se mueva en contra del sentido del reloj y la cámara posterior se vaya llenando de líquido; se utiliza la fuerza hidrostática como ayuda para conseguir mover el tambor con una cierta cantidad de aire menor a la que necesitaría un gasómetro seco; por eso es muy importante conservar el nivel de líquido exactamente como indica el fabricante ya que este afectará en las mediciones que tome el equipo.

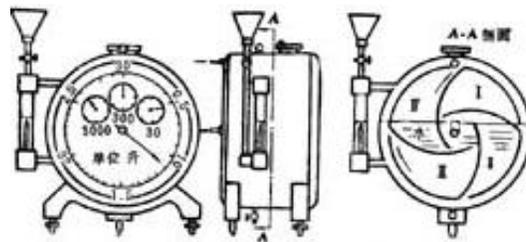


Fig. [8] Diagrama de funcionamiento de gasómetro húmedo. [2]

Se recomienda utilizar aceite dieléctrico sobre agua destilada debido a que el primero no se evapora en las temperaturas de trabajo del gasómetro y el nivel del líquido se mantiene constante, por lo cual las medidas son constantes; en caso de transporte es muy importante quitar todo el líquido del interior, de lo contrario, podría provocar un desbalanceo en el eje del gasómetro y producir un daño severo.

La calibración de estos equipos, es similar a la de un gasómetro seco, sin embargo, tenía que tener cuidado en previamente colocar el equipo de manera adecuada, balanceando correctamente el nivel del líquido y verificando que este al nivel indicado por el fabricante, este lo revisaba por medio de una aguja que se encuentra en el gasómetro.

Cabe recalcar que las metodologías utilizadas por la empresa, son muy similares a las que indica la norma NMX-AA-085-1986 donde menciona el proceso para realizar la calibración de gasómetros húmedos.

### 5.1.2.3 Rotámetros y flujómetros.

Estos equipos son muy importantes cuando se necesitan medir flujos en líneas de tubería industriales por su tamaño compacto y su portabilidad, dando una ventaja para poderse colocar en distintos lugares que se requieran.

Un rotámetro (véase figura 9) es un equipo que utiliza como principio de funcionamiento el equilibrio que alcanza un cuerpo de determinada masa que se encuentra dentro de un tubo de área variable; al momento que pasa un flujo por aquel tubo, la presión que se genera debido al gas provoca el desplazamiento del objeto, cuando se encuentran en equilibrio la fuerza de gravedad debido al peso del cuerpo y la fuerza ejercida por el gas al pasar en el tubo, este permanece estático marcando cierta lectura para la cual fue diseñado el equipo en la escala graduada del rotámetro. El flotador que se encuentra dentro del rotámetro puede ser de forma esférica o de forma cónica.



Fig. [9] Rotámetro.

La metodología para la calibración de estos equipos, es la siguiente:

- Primero, se conecta una manguera a la válvula de la toma de aire hacia la entrada del rotámetro; y de la salida del rotámetro hacia el gasómetro húmedo patrón; este puede ser hacia el 1L-4WTM o al AL-19, dependiendo el flujo al que se trabaje.
- Anotaba las condiciones iniciales dentro del laboratorio; en este caso tenía que tener en cuenta que el diseño de estos equipos está basados a condiciones estándar atmosféricas; por lo que su medidor presentaba diferencias con respecto al patrón que se debían corregir mediante el cambio de densidad de aire con ayuda de las condiciones atmosféricas que se presentaban dentro del laboratorio.
- El rotámetro tenía que estar completamente alineado, lo cual conseguía con ayuda de un nivel de burbuja; ya que si no estaba completamente vertical; la medición del instrumento podía variar hasta en un 10% y la calibración no me arrojaría los resultados verdaderos.

Los flujómetros digitales, tienen diferentes principios de funcionamiento, pero el más utilizado es el cuál un solenoide, (figura 11) permite el paso del flujo por el equipo y este detecta el cambio de presión que circula por su diafragma; hay otros que utilizan como principio un pistón, como se observa en la figura 12, que se eleva en el interior de un tubo; este cuenta con dos sensores que miden el tiempo que tarda el pistón en llegar de un punto a otro; siguiendo el mismo principio pero modificando el flotador que se encuentra dentro, están los flujómetros de burbuja (véase figura 10), los cuales utilizan una solución en su interior que crea una burbuja y esta se eleva por un tubo, que de la misma forma que el flujómetro que utiliza un pistón, este equipo tiene dos sensores para medir la cantidad de tiempo que se tarda en recorrer de un punto a otro la burbuja para medir el flujo.

Los flujómetros de burbuja y de pistón son de mucha exactitud y precisión, por lo que son equipos que se llegan a utilizar también como patrones en otros laboratorios; estos equipos se puede modificar fácilmente sus configuraciones en las condiciones de trabajo por lo que no es necesario realizar ninguna conversión de resultados como mencione anteriormente.

Al igual que para los rotámetros, gasómetros secos, húmedos y todos los demás equipos que calibraba en esta área, anotaba todas las condiciones ambientales dentro del laboratorio; conectaba el equipo a la toma de aire y en la salida del mismo hacia el patrón, regulaba el flujo necesario para llegar al punto de calibración solicitado y comenzaba a tomar las lecturas de calibración.



Fig. [10] Flujómetro burbuja.[3]



Fig. [11] Flujómetro de solenoide.[4]



Fig. [12] Flujómetro de pistón.

#### 5.1.2.4 Placas de orificios críticos.

Estos equipos están diseñados para que sólo cierto flujo determinado por el fabricante sea el que pase por la tubería (véase figura 13). Sus flujos son muy pequeños y utilizaba buretas para calibrarlas; este tipo de equipos, son muy sensibles y cualquier variación externa puede afectar los resultados. Tenía que tener condiciones muy estables dentro del laboratorio, no provocar ninguna

variación en la presión atmosférica en el entorno, debía cerrar todo dentro del laboratorio (puertas y

ventanas), la temperatura del lugar debía estar entre los 20°C hasta los 21°C, por lo que antes de empezar la calibración necesitaba llegar a esa temperatura con el aire acondicionado y apagarlo antes comenzar a estabilizar el equipo. Debía ser muy cuidadosos porque estos equipos trabajan a cierta presión inducida por el banco de pruebas; necesitaba conexiones muy sólidas para conseguir que el sistema soporte 2 o 3 bares y solamente deje pasar un flujo de 10 ml/min o menos, por esta razón era importantísimo que usara sujetadores en las mangueras para las conexiones entre equipos.

Para hacer la calibración de estos equipos, tenía que tomar con un cronómetro el tiempo que tardaba la burbuja en pasar cierto volumen de la bureta; el tiempo tenía que ser mayor a un minuto para que la incertidumbre en la medición fuera menor.



Fig. [13] Placas de orificios críticos, microflujos. [5]

También existen placas de orificio que permiten pasar flujos más grandes (véase figura 14), los cuales debía revisar minuciosamente cualquier impureza que pudieran presentar dentro del orificio, por lo que tenía que dejar reposar en una solución de etanol durante 24 horas previas a la calibración, y luego inyectaba aire comprimido a unos 5 bares para retirar cualquier impureza presente.

Estas placas se utilizan para examinar la pureza del aire, muchas veces para consumo humano, por lo que los flujos a los que fueron diseñados deben tener la mínima desviación posible.



Fig. [14] Placa de orificios críticos. [6]

## 5.2. Área de velocidad del viento.

Cuando estuve en esta área, conocí otros nuevos equipos, para la instrumentación de la velocidad del aire, supe de las aplicaciones principales de estos equipos en la industria; conocí otras metodologías para la calibración de equipos ya que a pesar de parecer áreas muy similares, se aplican otros conceptos para la medición de esta magnitud.

Al igual que el área anterior, comenzaré describiendo los patrones, luego explicaré los equipos más importantes que llegaban al laboratorio y como se calibraban.

### 5.2.1. Patrones para el área de velocidad del viento.

Existían dos patrones que los utilizaba dentro del laboratorio para todos los equipos que iban llegando, cada uno me servía para diferentes rangos de velocidad del viento. El primero y que más utilicé para los equipos fue el Testo 425, anemómetro de hilo caliente, que tenía un rango de medición entre 0.3 m/s hasta los 20 m/s. Con este se podía realizar comparaciones directas entre el patrón y el equipo a calibrar, solo tenía que verificar que estuvieran los equipos configurados a las mismas condiciones ambientales para que así calcularan la velocidad a la misma densidad del aire. (Véase figura 15).



Fig. [15] Anemómetro hilo caliente, Testo 425.

Estos equipos tienen como ventaja principal que son muy versátiles y se pueden utilizar como patrones tanto dentro del laboratorio como para calibraciones en sitio sin necesidad de otro equipo patrón como si es el caso de los tubos de pitot donde necesitaba un manómetro digital para conocer la velocidad del viento, por lo que se contaba con dos equipos iguales para este tipo de trabajo.

Debía tener mucha precaución al momento de utilizar estos equipos, tenía que examinar el hilo caliente para verificar que estuviera en buenas condiciones; por eso siempre cuando este equipo no lo utilizaba, tenía que estar protegido de cualquier agente externo.

El otro instrumento patrón que utilizaba en esta área para equipos que vinieran a velocidades mayores a los 20 m/s, era un tubo de pitot marca dwyer tipo L, (véase figura 16) con este instrumento hacía las comparaciones indirectas porque tomaba las lecturas de la presión manométrica del tubo de pitot y lo comparaba con la velocidad que marcaba mi instrumento bajo



calibración.

**Fig.[16] Tubo de pitot Tipo L, Dwyer 160.<sup>[7]</sup>**

Los patrones de velocidad, se deben verificar, periódicamente con otro tubo de pitot que es enviado a calibrar, para comprobar que sea la misma desviación que tenía cuando este se calibró, en caso que esta variara significativamente, se enviaba a calibrar, a pesar que en algunos casos aún siguiera vigente su calibración.

Otro aspecto importante dentro del área, son los medios que utilizaba para la calibración, estos son los dos túneles de viento; uno era un túnel de viento de tamaño reducido, que utilizaba para los equipos que no excedieran velocidades de 20 m/s y además para equipos que vinieran a puntos de calibración bajos a partir de 0.3 m/s. Este túnel de viento tenía la ventaja que no influían los factores meteorológicos para que pudiera realizar las calibraciones. Este se puede apreciar en la figura 17.



**Fig. [17] Mini túnel de viento.**

El otro túnel de viento que utilizaba para las calibraciones, es el que contaba con un tubo venturi y el cuál su salida desembocaba directamente al exterior, por lo que me veía limitado a calibrar cuando en el estado del tiempo no había precipitaciones ya que estas podrían causar una corrosión al motor del túnel de viento o a las paredes del mismo. Tampoco podía calibrar a partir de las 14:00 horas donde el cambio en la presión atmosférica generaba vientos externos que originaba una fluctuación en la presión del túnel, y me ocasionaba que las lecturas de la presión del tubo de pitot no fueran constantes, por lo que la calibración era imprecisa (véase figura 18).



Fig. [18] Túnel de viento principal.

## 5.2.2 Equipos calibrados.

### 5.2.2.1. Anemómetro de hilo caliente.

El primer equipo que mencionaré dentro de los equipos que calibré en esta área serán los anemómetros de hilo caliente (véase figura 19), estos equipos tienen un filamento calentado que queda expuesto al paso de un flujo. Este filamento está conectado a un circuito eléctrico que es capaz de monitorear las variaciones de resistencia eléctrica por la acción del flujo. Se puede establecer una relación de pertinencia entre la velocidad del flujo y la resistencia observada en el filamento calentado. Estos instrumentos utilizan una gran cantidad de energía por lo que la vida útil de las baterías que necesitan es muy corta por su principio de funcionamiento. Si no se tiene una carga suficiente en la batería, el hilo no se calienta lo necesario y las desviaciones en sus medidas son muy grandes.



Fig. [19] Anemómetro de hilo caliente.<sup>[8]</sup>

Para calibrar estos equipos, los hacía dentro del mini túnel de viento mediante una comparación directa con mi patrón. Anotaba mis condiciones iniciales como en el área de flujo, las cuáles eran presión barométrica, humedad relativa y temperatura. Anotaba las temperaturas que marcaba el patrón y el instrumento bajo calibración y en cada punto de calibración, tomaba cinco lecturas.

Cuando empezaba a calibrar, tenía que mantener la misma distancia entre el patrón y el equipo a calibrar para tener la seguridad que medían el mismo perfil de velocidad, ya que si cambiaba la distancia que había entre el túnel y los equipos, estos podían registrar diferentes velocidades ya que el túnel presentaba diferentes perfiles que tenía que tomar en cuenta.

En estos equipos también era necesario que configurara las condiciones en las cuáles estaba midiendo el equipo, porque también por la densidad del aire podía haber variaciones que generaría más incertidumbre en mi medición.

### 5.2.2.2 Tubo de pitot.

Los tubos de pitot son instrumentos que sirven para medir la velocidad de un flujo por medio de las presiones medibles del instrumento las cuales se pueden obtener con ayuda de manómetros diferenciales; son instrumentos que no requieren mucho mantenimiento y su vida útil, utilizado

bajo condiciones adecuadas es muy larga. En el mercado existen dos tipos principales de tubos de pitot, este es el tipo L y el tipo S.

### 5.2.2.2.1 Tubo de Pitot tipo L.

El tubo de pitot, (véase figura 20) se utiliza para medir la presión total o de estancamiento, al igual que la presión estática. La abertura del tubo de Pitot registra la presión total y las rendijas laterales registra la presión estática. La presión diferencial resultante es la presión dinámica la cual depende de la velocidad.

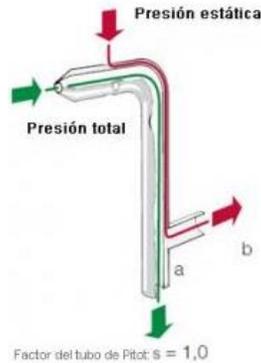


Fig.[20] Tubo de pitot Tipo L.[10]

Para calcular la velocidad en un tubo de pitot se utiliza la siguiente fórmula:

$$V = C_p \sqrt{\frac{2P_d}{\rho_{aire}}}$$

Dónde:

V: Velocidad del flujo. [m/s]

$C_p$ : Coeficiente de calibración del tubo de pitot.

$P_d$ : Presión dinámica del tubo de pitot la cual se obtiene con la diferencia entre la presión total y estática. [Pa]

$\rho_{aire}$ : Densidad del aire. [Kg/m<sup>3</sup>]

Para la calibración del tubo de pitot Tipo L, primero inyectaba aire a presión en sus orificios para quitar cualquier impureza, ya que estos equipos en la industria se utilizan muchas veces para medir los flujos dentro de las chimeneas, por lo que es muy fácil que se tapen con agentes extraños como el hollín. Después colocaba el tubo de pitot dentro del Venturi, junto al patrón, colocando los dos equipos al centro del Venturi para que midiera el flujo laminar.

Conectaba los dos equipos al manómetro diferencial para medir las presiones estáticas y totales de los tubos de pitot; esperaba a que se estabilizara el flujo dentro del Venturi, aproximadamente 20 minutos y aumentaba la velocidad del flujo hasta el primer punto de calibración.

Una vez transcurrido el tiempo, anotaba las condiciones iniciales ambientales dentro del laboratorio, como en todos los equipos calibrados; anotaba las presiones estática y total marcadas

por el manómetro diferencial, las temperaturas dentro del tubo Venturi y la humedad relativa; tomaba cinco lecturas en cada punto de calibración y pasaba al siguiente.

El coeficiente ideal del tubo de pitot L en su calibración es 1, pero por lo regular tenían coeficientes de 0.995 a 1.005; estos equipos son muy utilizados por su buena exactitud en las mediciones, sin embargo, en flujos bajos, es imposible medir las velocidades porque los cambios de presión registrados por el tubo son muy pequeños y las incertidumbres son muy altas.

#### 5.2.2.2.2. Tubo de pitot S.

Los tubos de Pitot S, son similares en operación al tipo L, pero difieren en su geometría ya que este posee dos caras (véase figura 21), y por lo regular su tamaño es mucho más compacto, por lo cual es más sencillo utilizarlo en lugares donde el espacio sea limitado, por esta razón es muy utilizado; sin embargo, la exactitud de las mediciones no es tan alta como en el tipo L y juega un papel crucial la calibración ya que el coeficiente del tubo de pitot varía en gran medida al tipo L. El coeficiente de calibración ideal del tubo de pitot S, es de 0.84, pero en la práctica varía mucho principalmente por la manufactura, ya que las caras que presentan estos tubos influyen mucho en la medida del flujo.

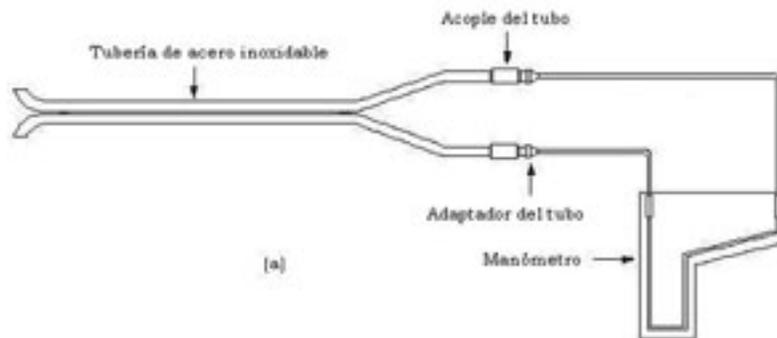


Fig. [21]Tubo de pitot Tipo S.<sup>[11]</sup>

La metodología que utilicé para calibrar estos equipos se encuentra fundamentada en la norma ASTM D 3796-90 "Práctica Normalizada para Calibración de Tubos de Pitot Tipo S".

Lo primero que tenía que hacer, era marcar las boquillas con una letra, normalmente se coloca la letra A y la letra B en cada boquilla para que pudiera distinguir cuál de las caras había colocado en el tubo Venturi; conectaba el equipo patrón y el tubo de pitot S al manómetro inclinado y al introducirlo al tubo de Venturi tenía que verificar que la cara estuviera completamente perpendicular al flujo de aire.

Al igual que en el tubo de pitot Tipo L, tenía que colocar el equipo a calibrar y el patrón lo más cercano al centro del tubo Venturi y arrancaba el ventilador de la instalación para que este se estabilizara. Paso seguido, incrementaba la velocidad hasta el punto de calibración deseado y llegado al punto, esperaba dos minutos para comenzar a tomar lecturas.

Tomaba las condiciones iniciales dentro del laboratorio, y empezaba a anotar las presiones estáticas y totales, medidas por los manómetros inclinados que estaban conectados a los tubos de pitot, también anotaba la temperatura y la humedad relativa dentro del tubo de Venturi.

Anotaba cinco lecturas por cada punto de calibración y pasaba al siguiente, en cada calibración tenía que ir de una velocidad menor a una mayor, en cada punto tenía que esperar otros dos minutos después de alcanzado este, para a que se estabilizara el flujo de aire.

Cuando terminaba de tomar todas las lecturas, apagaba el ventilador de la instalación y cambiaba el tubo de pitot S a su cara opuesta, para repetir los mismos pasos mencionados anteriormente.

Para obtener el coeficiente de calibración del tubo de pitot tipo S, se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{PS} = C_{PL} \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_S}}$$

Dónde:

$C_{PS}$ : Coeficiente de calibración del tubo de pitot S.

$C_{PL}$ : Coeficiente de calibración del tubo de pitot L.

$\Delta P_L$ : Presión diferencial medida con el tubo de pitot L.

$\Delta P_S$ : Presión diferencial medida con el tubo de pitot S.

### 5.2.2.3 Muestreador de Aire.

Estos equipos, (véase figura 22) son utilizados en la industria farmacéutica para el control bacteriológico en una determinada área o laboratorio; estos equipos succionan un determinado volumen de aire y por medio de una caja de Petri o por tiras de agar la cual es introducida en el interior del equipo, verifican la pureza del aire en el ambiente.

El método que seguía para calibrar estos equipos era primero verificar el funcionamiento del equipo, el cual por lo regular está estandarizado que debe succionar un volumen de 1000 litros de aire. En la calibración comprobábamos que efectivamente se succionara tal cantidad. Para esto necesitaba como patrón el hilo caliente ya que iba a medir la velocidad del aire en la entrada del muestreador. Primero tenía que medir el área de la entrada del muestreador con ayuda de un calibrador Vernier.

Encendía el equipo y con ayuda de un cronómetro tomaba el tiempo que se tardaba en succionar esos 1000 litros de aire para conocer el flujo volumétrico real del equipo. Tomaba la velocidad con ayuda del anemómetro de hilo caliente y para comparar los resultados utilizaba la siguiente fórmula para obtener el flujo volumétrico calculado:

$$Q = VA$$

Dónde:

Q: Tasa de flujo volumétrico [ $\frac{m^3}{s}$ ]

V: Velocidad del aire [m/s]

A: Área [ $m^3$ ]

Con el tiempo leído con el cronómetro y el volumen teórico de 1000 litros que succionaba el equipo comparaba el resultado de flujo con la velocidad por el área y de esta manera podía comprobar que el equipo funcionara de manera adecuada.



Fig. [22] Muestreador de Aire.<sup>[12]</sup>

## 6. Aportaciones a la empresa.

Durante mi estancia dentro de la empresa, llegaron algunos equipos que eran nuevos para las calibraciones, y en ciertos casos la comparación no era directa; es por eso que se necesitaban otros conocimientos para poder comparar las relaciones, en este apartado comenzaré mencionando algunos de los equipos más importantes en los cuáles tuve que emplear conocimientos adquiridos dentro de la carrera de Ingeniería mecatrónica para poder resolver estos problemas.

### 6.1. Calibración de anemómetro de propela: Wind monitor Young 05305.

Este anemómetro, (véase figura 23) es capaz de medir la velocidad del aire y la dirección del mismo; tiene un rango de medición entre 0 m/s hasta 50 m/s, este equipo poseía características muy particulares a diferencia de los anemómetros convencionales que llegaban al laboratorio como pueden ser de las marcas Extech Instruments, CEM, Testo, entre otros. Los cuales tienen un display dónde me indicaba la velocidad del viento cuando sus propelas se mueven.



Fig. [23] Anemómetro Young 05305.<sup>[13]</sup>

Revisando el manual de instrucciones, conocí las especificaciones de trabajo del equipo y cuál era su funcionamiento; a diferencia de otros, este anemómetro no requería de ninguna fuente externa de energía ya que gracias a un transductor interno que poseía en su interior, transformaba la energía mecánica del movimiento de propelas en frecuencias medibles. Leyendo más a fondo, encontré que este equipo cuenta con un monitor externo donde desplegaba todos los datos del mismo, sin embargo, este no venía incluido para su calibración, a pesar de eso, comprendí que solo era necesario leer esa señal de frecuencia que emitía el anemómetro. Mi formación como ingeniero me ayudó a entender rápidamente como podría conocer la velocidad del viento, utilizando un multímetro que midiera la frecuencia. Observé las conexiones necesarias para conseguir tal objetivo.

Revisando la documentación del equipo, me indicaba cuales eran los bornes para medir las señales de frecuencia, se puede observar en la figura 24 cuáles son las conexiones.

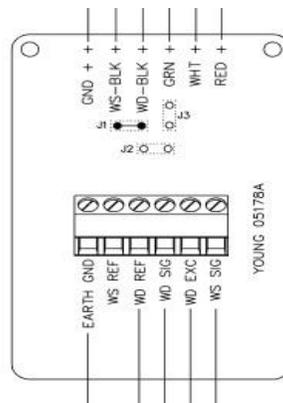


Fig. [24] Conexiones del anemómetro.<sup>[14]</sup>

Conectaba uno de los cables del multímetro a la referencia de la velocidad del viento (WS REF) y colocaba el positivo en la señal de la velocidad del viento (WS SIG) para poder medir la frecuencia. La misma documentación del equipo cuenta con una tabla para poder interpretar los valores obtenidos, esta relación se observa en la Tabla 2.

**Model 05305 Wind Monitor-AQ w/08254 Propeller**

WIND SPEED vs PROPELLER RPM	
m/s	= 0.00512 x rpm
knots	= 0.00995 x rpm
mph	= 0.01145 x rpm
km/h	= 0.01843 x rpm

WIND SPEED vs OUTPUT FREQUENCY	
m/s	= 0.1024 x Hz
knots	= 0.1990 x Hz
mph	= 0.2290 x Hz
km/h	= 0.3686 x Hz

Tabla [2] Fórmulas de calibración del anemómetro.<sup>[14]</sup>

Estas fórmulas las usaba de una manera muy sencilla, ya que sólo tuve que incluir la cantidad de hertz leídos por el multímetro por la constante dependiendo las unidades que quisiera obtener, en

mi caso se utilizan los metros por segundo ya que en las calibraciones se tienen convenciones para colocar en los informes de calibración las unidades que se encuentran dentro del Sistema Internacional de Unidades.

Ya que supe la manera de determinar la velocidad del viento que indicaba, comparé estos resultados con el patrón anemómetro de hilo caliente y pude determinar que su factor de corrección era muy positivo del 0,99; por lo cual la calibración se pudo llevar a cabo con satisfacción.

## 6.2. Calibración de sensor de humedad y temperatura: Vaisala HMW82.

Este termohigrómetro (véase figura 25), a diferencia de otros tantos que venían al laboratorio, no poseía un display en el cual indicara el valor de su temperatura o humedad, por lo que como ingeniero en mecatrónica me encomendaron conocer su funcionamiento y como se podría conocer los valores de humedad y temperatura sin necesidad de este display, a pesar de no ser una de las áreas de las cuales estuviera familiarizado, no me presentó problema entender el funcionamiento del equipo.



Fig. [25] Vaisala HMW82. [15]

Revisé su documentación para saber cómo funcionaba y la manera de medir las señales de temperatura y humedad.

Este equipo entrega una salida entre 4-20mA tanto para medir la temperatura como para medir la humedad, sin embargo, en el manual especifica que se debe conectar la humedad obligatoriamente para poder leer también la temperatura, por lo cual los dos canales deben ser suministrados de 10 a 28 volts de corriente directa y se debe medir con ayuda del multímetro la corriente que atraviesa nuestro circuito. Los cables que se utilizan no deben exceder más de 500 ohms de resistencia para que esta no interfiera en la medición del sensor. (Véase Figura 26)

Esos detalles eran muy importantes para conocer los valores reales del equipo, para medir la temperatura, suministre voltaje con dos fuentes a los sensores y medía la corriente, simplemente abriendo el circuito por el lado del borne negativo, tal como lo indica la figura 26.

Cabe aclarar que, si se quieren medir a la vez las dos magnitudes, forzosamente se deben utilizar dos fuentes de poder y dos multímetros.

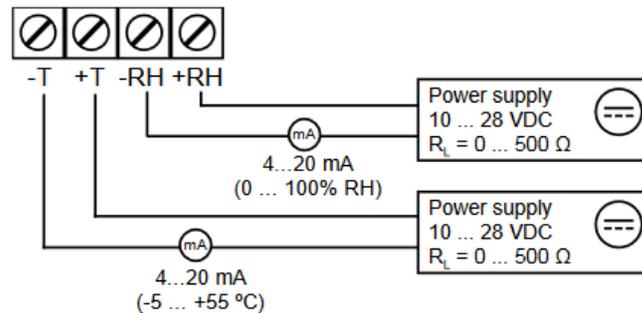


Fig. [26] Diagrama de conexiones del Vaisala HMW82.<sup>[17]</sup>

Para hacer la transformación de miliamperes a las unidades medidas, hice una interpolación para conocer el valor de la humedad o la temperatura.

Por ejemplo, en la humedad que va del 0% al 100% de humedad se debe hacer lo que se muestra en la Tabla 3.

$$\begin{aligned}
 0\% & \text{ --- } -4mA \\
 100\% & \text{ --- } 20mA \\
 \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} &= \frac{100 - 0}{20 - 4} (\text{Lectura medida} - 4) \\
 \frac{100}{16} (15.25 - 4) &= 70.3125\%
 \end{aligned}$$

Tabla [3] Relaciones para obtener la humedad con respecto a la intensidad de corriente.

Para la temperatura utilicé el mismo concepto, pero solo cambié los rangos de temperatura que alcanza el equipo para poder hacer una interpolación adecuada.

$$\begin{aligned}
 -5^{\circ}C &= 4mA \\
 55^{\circ}C &= 20mA \\
 \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} &= \frac{55 - (-5)}{20 - 4} (\text{Lectura medida} - 4) \\
 \frac{60}{16} (14 - 4) &= 37.5^{\circ}C
 \end{aligned}$$

Tabla [4] Relaciones para obtener la temperatura con respecto a la intensidad de corriente.

Haciendo la corrección debido al valor inicial negativo, tengo el valor final como:

$$37.5 - 5 = 32.5^{\circ}C$$

Con estas interpolaciones pude realizar las calibraciones sin problemas y elaborar el reporte del equipo, por lo que nuevamente no fue necesario utilizar un display externo cuando entendí su funcionamiento.

### 6.3. Calibración de transmisor de velocidad: Dwyer 641.

Este equipo, (véase figura 27) al igual que los equipos anteriores, venía sin algún display que me indicara cuál es el valor de la velocidad, a pesar que si existe tal accesorio, el cliente no lo trajo a las instalaciones, así que como en los equipos anteriores, lo primero que tenía que hacer para saber cómo poder determinar sus medidas, era leer su documentación.

De primera instancia, el equipo tiene un sensor similar a un hilo caliente que utiliza el mismo principio de medida donde al suministrarle voltaje al equipo, el sensor se calienta y el cambio de resistencia es proporcional a la medida del flujo de velocidad.



Fig. [27] Transmisor de Velocidad Dwyer 641.<sup>[17]</sup>

Al revisar la documentación, observé que el equipo podía cambiar de rango de trabajo, y además entregaba una salida de 4 a 20 mA, por lo que leyendo esta señal podía conocer la velocidad leída. El equipo contaba con un par de bornes, (véase figura 28) en dónde entregaba la señal de la salida y para leerla de manera correcta, opté por colocar un arreglo de resistores en serie que fuera la resistencia de carga, con valor de 250  $\Omega$ , con esta carga, podía leer un voltaje entre 1 V hasta los 5 V y así como había hecho con equipos anteriores, relacionar el voltaje de salida con la velocidad que leía del equipo.

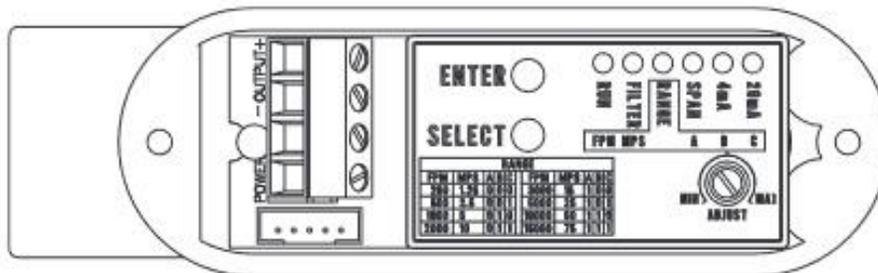


Fig. [28] Diagrama de conexiones del transmisor de velocidad.<sup>[18]</sup>

De esta manera pude llevar a cabo la calibración, utilizando la misma metodología para relacionar los valores por medio de una interpolación, como lo mostré anteriormente en el equipo del sensor de temperatura y humedad.

Como ejemplo, mostraré como obtuve los valores de la velocidad del viento comparándolo con un cierto voltaje de trabajo del equipo. Para un valor medido como señal de salida de 3.5V podía conocer la velocidad leída si configuraba el equipo hasta 50 m/s como lectura máxima, lo interpretaba como muestra la tabla 5.

$$\begin{aligned}
 0m/s & \text{-----} 1V \\
 50m/s & \text{-----} 5V \\
 \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} &= \frac{50 - (0)}{5 - 1} (Lectura\ medida - 1) \\
 V &= \frac{50}{4} (3.5 - 1) = 31.25\ m/s
 \end{aligned}$$

Tabla [5]. Relación entre la velocidad y el voltaje leído.

#### 6.4. Contador de vueltas para el patrón gasómetro húmedo 1L-4WTM.

Este patrón presentaba un inconveniente, y era que no tenía un contador de vueltas integrado (véase figura 29); por lo que para los equipos que tenían que ser calibrados a flujos muy pequeños, era una pérdida de tiempo estar esperando la vuelta completa e ir las contando sin distraerme. En algunas ocasiones cuando llegaban los clientes, tenía que ir a atenderlos y eso necesitaba tiempo entre 5 a 15 minutos dependiendo el caso, por lo que sin un contador este era tiempo perdido, porque tenía que parar la calibración.



Fig. [29] Gasómetro húmedo, sin contador de vueltas.

El gasómetro en cada vuelta marcaba el flujo de 1 litro, y en los flujos que eran de 0.1 L/min se tardaba en dar en 10 minutos una sola vuelta, por lo que decidí implementar un sencillo contador de vueltas para poder realizar más tareas durante la calibración de estos equipos que requerían mucho tiempo.

Para esto decidí crear un contador sencillo y para probar la idea, opté por utilizar un sensor de bajo costo, como fue el caso del sensor fotoeléctrico QRD1114; previamente había pensado en un sensor de barrera para detectar las vueltas, sin embargo, por la geometría del gasómetro, era complicado colocar el sensor para que en él pasara la manecilla y me iba a dificultar las medidas. Por lo que encontré en un sensor optoreflexivo la mejor opción; ya que al haber muy pocas variaciones dentro del laboratorio con respecto a la luz externa, este no se vería afectado con respecto a los voltajes que va midiendo.

Coloqué el sensor en una pequeña base de aluminio para que quedara a la altura del origen donde marca el cero el gasómetro; por lo que desde allí realicé pruebas para verificar el cambio de voltaje que existía al pasar la aguja del gasómetro. Gracias a que el fondo del gasómetro es blanco, el sensor registraba voltajes aproximados entre los 4.20V y los 4.25V; cuando pasaba la aguja del gasómetro de color negro este incrementaba el voltaje hasta 4.70V a 4.75V, al ver que el cambio de voltaje era lo suficientemente grande para conseguir la medida; estos datos los tomé muy en cuenta al momento de hacer el programa.

Para hacer un programa rápido y funcional, opté por utilizar la tarjeta de desarrollo Arduino ya que con esta podría crear en pocas líneas lo que estaba buscando. Para desplegar las lecturas de las vueltas, elegí una pantalla lcd de 16x2 en el que iría marcando la cantidad de vueltas que lleva el gasómetro, en la figura 30, muestro el diagrama de conexiones para implementar el circuito del sensor optoreflexivo.

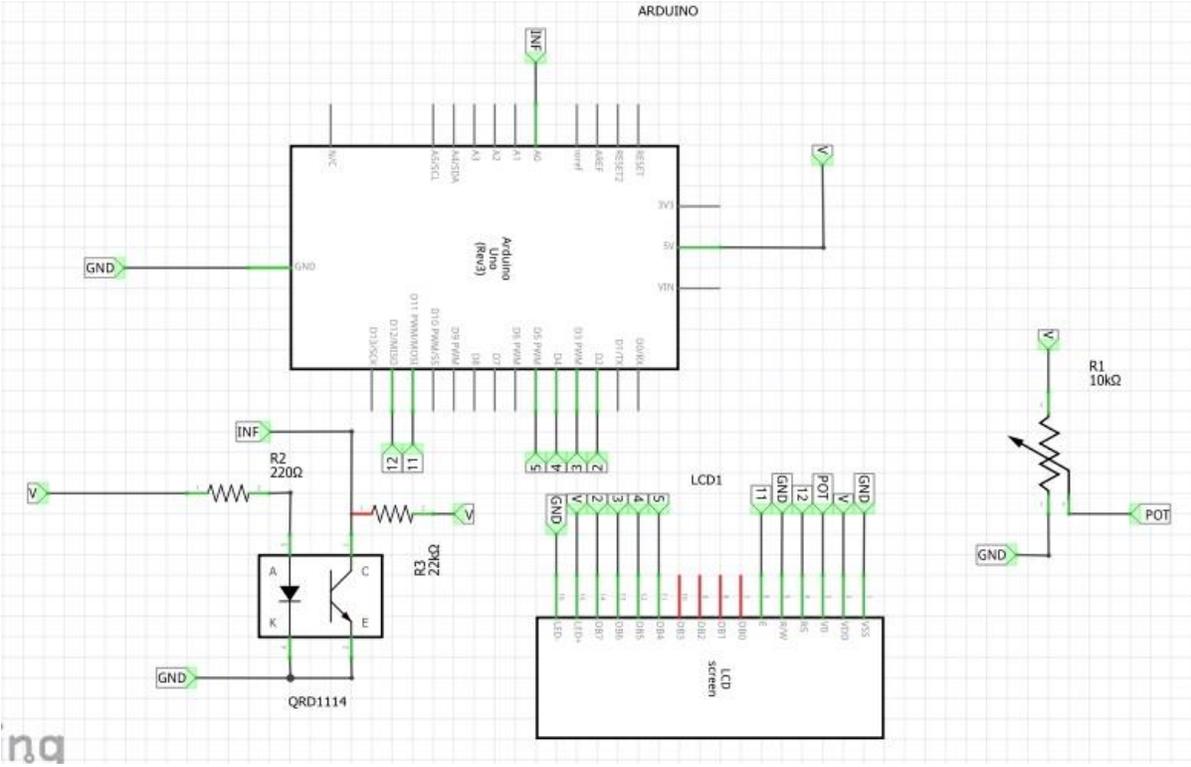


Fig. [30] Diagrama de conexiones del sensor optoreflexivo y LCD.

Conseguí el objetivo planteado al principio, y con este método sencillo pude optimizar los tiempos al momento de calibrar con este patrón por lo que podía realizar más tareas sin necesidad de estar allí presente en el gasómetro, ya no era necesario detener las calibraciones con este patrón cuando requiriera atender otros trabajos.

## **7. Conclusiones.**

Trabajar en una empresa de calibraciones, me ayudó muchísimo para complementar mi formación como ingeniero, ya que muchos conceptos utilizados, son de gran ayuda para la instrumentación industrial. Para mí fue de gran ayuda todos los conceptos aprendidos durante mi carrera ya que, a pesar de los nuevos equipos que conocí, los cuáles fueron la gran mayoría, no tuve ningún problema para entender rápidamente su funcionamiento.

Como ingeniero mecánico, encontraba áreas de oportunidad dentro de la empresa por todos lados, uno de ellos, es la automatización en sus procesos; ya que los primeros meses donde aprendes a calibrar y los conceptos fundamentales de los mismos, se vuelve muy interesante hacer todos los procesos manualmente; sin embargo, después de seis meses o más, el trabajo se puede convertir repetitivo, por lo que las calibraciones se podían automatizar en su mayoría; lamentablemente por cuestión de tiempo, y que la empresa no atravesaba un momento para hacer inversiones, no pude implementar muchos de los proyectos que tenía en mente. Por ejemplo, uno de los problemas importantes donde veía que la empresa presentaba un grave desperdicio de tiempo, era la cuestión de entregas y recepciones de equipos; ya que a pesar de la importancia de verificar el funcionamiento de los mismo, también era cierto que desperdiciábamos yo y mis compañeros, mucho tiempo al momento de hacer estos trámites; por lo que yo tenía en mente crear un código de barras o QR, el cuál al momento de llegar el equipo, si este ya había venido con anterioridad, lo cual pasaba muchas veces porque los servicios de los equipos en su mayoría eran anuales, podría ser leído mediante una aplicación móvil y los datos del equipo se guardarían directamente a la base de datos; evitando tanto papeleo y solo verificando rápidamente su funcionamiento. Esto lo observé debido a que la cuestión de los datos del equipo, muchas veces era lo que nos llevaba más tiempo porque había equipos que no contaban con sus datos visibles y nos teníamos que comunicar con el cliente directo que utilizaba el equipo.

Un aspecto fundamental donde quería mejorar a la empresa, era crear su propia base de datos, debido a que contrataban a una empresa externa para elaborar esta base y esto generaba un gasto significativo extra, esto no solo influía en el aspecto económico, también en el aspecto funcional, ya que tenían en mente eliminar las hojas de calibración físicas y que todo se hiciera en la computadora para realizar rápidamente todos los informes de calibración; sin embargo, al momento de quererlo implementar, encontraron grandes problemas, sobre todo de comunicación con la empresa externa, ya que la interfaz que ellos creaban, siempre presentaba omisiones con respecto a los datos o lecturas que se debía tomar en una calibración, por lo que había generado un retraso en su implementación de más de un año y medio, sin conseguir el objetivo hasta la fecha. Por esa razón, en su momento propuse que la mejor manera de crear un programa de estas características rápidamente y de acuerdo a nuestras necesidades, era crearlo desde dentro de la empresa; por nosotros los ingenieros que nos dedicábamos a hacer las calibraciones y conocíamos

los requerimientos. Además, otro aspecto que se podría haber agregado, eran las fórmulas de todas las incertidumbres que se tenían guardadas en diferentes hojas de Excel para crear los informes, porque el programa de la empresa externa, solo generaría una tabla con los datos capturados por el usuario y al final de cuentas se tendría que copiar y pegar a las hojas de Excel. Esto al final de cuentas era ineficiente y fue otro de los motivos por el cual no se ha podido implementar en la empresa. En cambio, si se generara por ICEMA, no se tendrían que preocupar por sus políticas de privacidad que fue el principal motivo para no otorgar esa información del cálculo de las incertidumbres a una empresa externa. Esto generó frustración y pérdidas importantes de dinero para la empresa; lamentablemente, en su momento, no se me autorizó comenzar a crear este tipo de programa ya que tenían un contrato ya firmado con la empresa externa.

Otra gran área de oportunidad, era expandir el contador de vueltas, para cuando las calibraciones estaban estipuladas a un cierto número de vueltas, mediante un relevador, detener el motor y el cronómetro cuando esa cantidad de vueltas del gasómetro se cumplieran, así solo tener que anotar los resultados, lamentablemente como ocurrió con los proyectos anteriores, no se me autorizó la implementación de esas mejoras por motivo de tiempo y limitación de personal para realizar el trabajo de las calibraciones, las cuales durante algunas semanas tendría que dejar de lado para diseñar adecuadamente mis planes de mejora, pero que generaría un incremento en la eficiencia de tiempo y trabajo en las calibraciones.

A pesar de lo mencionado anteriormente y de los obstáculos que viví para implementar ciertas mejoras, hubo muchísimas cosas que me aportaron conocimiento valioso para complementar mi formación como ingeniero. El hecho de poder tratar con ingenieros de distintas compañías para recibir sus equipos y resolver sus dudas, enriqueció mucho mi formación y me ayudó a conocer distintos puntos de vista, sobre todo para entender los problemas técnicos que llegaban a surgir en las industrias, me gustó tener ese trato directo que ayudaba a un mejor desenvolvimiento; por eso una de mis experiencias dentro de la empresa que más me agrado, fue salir a campo a calibrar; ya que es el trabajo más complicado dentro del área, porque tienes que adecuarte a los procesos del cliente, revisar todas sus instalaciones para encontrar el sensor que necesitan calibrar, saber cuáles de estos no son críticos y cuáles lo son, lo que requiere un gran apoyo de los ingenieros de la empresa que requiere los servicios.

Sin duda la Facultad de Ingeniería me dio una gran formación para poder desempeñar todos estos trabajos, tanto profesores, como compañeros de las aulas en algún momento de la carrera contribuyeron a que todo el conocimiento adquirido, pudiera ser asimilado y pudiera aplicarlo fácilmente en mi vida diaria y ahora en el trabajo como ingeniero.

Sé que esto apenas es el comienzo de mi experiencia laboral, donde unos de los puntos principales y que uno va aprendiendo es el trato con diferentes profesionistas que puede llegar a ser muy ríspido en ciertos momentos, pero donde uno debe mediar correctamente las situaciones teniendo siempre en mente que la empresa debe ser nuestro fin común, por lo que a pesar de cualquier diferencia existente, debe existir la armonía dentro del espacio laboral, de lo contrario esto no solo puede afectar el rendimiento de los trabajadores, también tarde o temprano a la empresa.

Ser ingeniero mecatrónico, te da otro enfoque en la vida y en la experiencia profesional, dónde a una empresa puedes ayudarle en cuestiones como electrónica, control, programación, fluidos, mecánica o muchas otras áreas, aunque no se pueda ser experto en todas, pero me fue mucho más fácil encontrar nuevas soluciones para la vida diaria laboral.

## 8. Agradecimientos.

Quiero empezar agradeciendo a Dios y a todas las personas que durante mi carrera profesional y en mi vida han sido un gran apoyo para conseguir los objetivos; a toda mi familia principalmente a mi mamá Alejandra, mi abuelita Guadalupe Olvera, a mis hermanos Ángel Javier y Evelyn Anaid, y mi papá Hugo Avilés; los cuáles siempre han estado para mí en todas las etapas de mi vida. Gracias a su apoyo incondicional, sus críticas constructivas y sus palabras de aliento en momentos clave y de una u otra forma, jamás perder la fe en mí.

Quiero agradecer a todos los profesores que me impartieron clase durante toda mi carrera; donde conocí grandes personalidades y distintos tipos de enfoques para la ingeniería; todos aportaron parte de su conocimiento para mi formación como ingeniero. Haciendo mención especial al Ing. Erick Castañeda, al Ing. Leonardo Bañuelos, al Ing. José Luis Espinoza, al Ing. Rolando Peralta, al Ing. Yair Bautista, al Ing. Edmundo Rocha, al Ing. Adrián Espinosa, al Ing. Jesús Dorador, a la Ing. Livier Báez, a la Ing. Ana Marissa Juárez, al Ing. Jordi Messeguer, al Ing. Víctor González, al Ing. Billy Arturo Medero, en los cuales encontré un denominador común al momento de impartir sus clases, que cada quién demostraba su pasión por su profesión y por impartir cátedra para sacar lo mejor de sus alumnos con grandes métodos de enseñanza y a quiénes estoy profundamente agradecido porque todo su esfuerzo para formar grandes ingenieros, no ha sido en vano.

Quiero agradecer a los ingenieros de ICEMA que me brindaron la oportunidad de trabajar con ellos, en especial al Ing. Jorge Dorantes y al Ing. Francisco Dorantes, los cuáles les deseo los mejores de sus éxitos en los caminos que decidan emprender; les doy las gracias por los conocimientos adquiridos durante mi estancia dentro de la empresa, a mis compañeros de trabajo, David Jiménez, Luis Dorantes, Erick Yañez, José Luis Addauto, Yaax-nick; para mí fue un placer trabajar esos meses a su lado.

A todos mis compañeros de la Facultad quiero agradecerles por aportarme partes de sus conocimientos y poder pasar buenos momentos a su lado. A mis amigos de toda la vida, que, a pesar de sus diferentes profesiones y distancia, los llevo siempre en mi corazón a Jesús Emmanuel, Gabriel Garibay, Anilú Tejeda, Marisol Gonzáles, Jacobo Hernández y Edder Cervantes; los cuáles siempre han sido fundamentales en mi vida.

Por último, y para nada menos importante; quiero agradecerle profundamente a mi novia Paola Valdés que se convirtió en un pilar fundamental desde que la conocí a final de la carrera, para llegar hasta donde he estado, y que gracias a la Facultad tuve la oportunidad de conocer, convirtiéndose en la persona que me brindaría grandes alegrías, risas, estabilidad y momentos

inolvidables, los cuáles quiero seguir viviendo día a día a su lado, por siempre. Quiero agradecerle su paciencia, dedicación y amor que siempre ha tenido conmigo demostrándomelo cada instante de nuestras vidas. Esperando crear nuestros sueños, y materializándolos en felicidad para quienes nos rodean; y seguir amándola todos los días de mi vida y lo que siga después de esta.

Como mención especial, quiero agradecerle a alguien que estuvo a mi lado por más de 17 años de mi vida, quién para mí significó más que una mascota y se convirtió en parte de mi familia que aún hoy en día extrañamos, porque nos dio a todos muchos momentos de felicidad, ella es nuestra gatita: Nube. La cuál sé que, en algún lugar, ella nos sigue cuidando.

## 9. Referencias.

[1] Prema Energy, Productos, [en línea]. Medidor de diafragma (s.f.). [Fecha de consulta: 13 de mayo 2017]. Imagen disponible en:

<<http://www.premac.co/subcategorias/medidores/medidor-de-diafragma>>

[2] Flokal, Flow Meters, [en línea]. Wet Gas Meter (s.f.). [Fecha de consulta: 14 de mayo 2017].

Imagen disponible en:

<[http://www.flokal.eu/html/products/wet\\_gas\\_meter/wet\\_gas\\_meter.htm](http://www.flokal.eu/html/products/wet_gas_meter/wet_gas_meter.htm)>

[3] Terapeak, Bussiness and Industrial, [en línea]. Bios DryCal (s.f.). [Fecha de consulta: 13 de mayo 2017]. Imagen disponible en:

<<https://www.terapeak.com/worth/bios-drycal-dc-1-primary-air-flow-meter-with-dc-mc-1-med-cell-for-parts-no-power/162129532214/>>

[4] SMC, Productos, [en línea]. Flow Switches (s.f.). [Fecha de consulta: 15 de mayo 2017]

Imagen disponible en:

<[https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/digital\\_catalog\\_2/jsp/view\\_features\\_list.jsp?dc\\_product\\_id=125104](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_features_list.jsp?dc_product_id=125104)>

[5] Cosmo Instruments, Productos, [en línea]. Air Leak Testers (s.f.). [Fecha de consulta: 18 de mayo 2017]. Imagen disponible en:

<<https://www.cosmo-k.co.jp/english/peripheral/lm-1c/>>

[6] Pressureworx, Products and Services, [en línea]. Breathing air analysis. [Fecha de consulta: 18 de mayo 2017]. Imagen disponible en:

<<http://www.pressureworx.com.au/portfolio/breathing-air-analysis>>

[7] Dwyer, Productos, [en línea]. Serie 160, (s.f.). [Fecha de consulta: 20 de mayo 2017]. Imagen disponible en:

<<http://www.dwyer-inst.com/Product/TestEquipment/PitotTubes/Series160>>

[8] Direct Industry, Productos, [en línea]. Anemómetro de hilo caliente AVM714, (s.f.). [Fecha de consulta: 20 de mayo 2017]. Imagen disponible en:

<<http://www.directindustry.es/prod/tecpel-co-ltd/product-35126-215904.html>>

[9] PCE Instruments, Instrumentos de Medida, [en línea]. Anemómetro, (s.f.). [Fecha de consulta: 19 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<[https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/anemometro-kat\\_70015\\_1.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/anemometro-kat_70015_1.htm)>

[10] Academia online Testo, Flujo de Aire. [en línea]. Sonda de Pitot, (s.f.). [Fecha de consulta: 21 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<<http://www.academiatesto.com.ar/cms/sonda-de-pitot>>

[11] Mailxmail, Cursos Gratis, Fuentes Fijas. [en línea]. Determinación de la velocidad del gas en la chimenea y el caudal, (s.f.). [Fecha de consulta: 21 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<<http://www.mailxmail.com/curso-fuentes-fijas/metodo-2-determinacion-velocidad-gas-chimenea-caudal-tubo-pitot-tipo-s>>

[12] Direct Industry, Productos, [en línea]. Muestreador de aire para control microbiológico, (s.f.). [Fecha de consulta: 22 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<<http://www.directindustry.es/prod/merck-millipore/product-31514-456535.html>>

[13] Young, Products, [en línea]. Wind Monitor, (s.f.). [Fecha de consulta 30 de abril 2017]. Imagen disponible en:  
<<http://www.youngusa.com/products/7/5.html>>

[14] Young, Wind Monitor, [en línea]. Manual (s.f.). [Fecha de consulta: 30 de abril 2017]. Imagen disponible en:  
<[http://www.youngusa.com/Manuals/05103-90\(L\).pdf](http://www.youngusa.com/Manuals/05103-90(L).pdf)>

[15] Vaisala, Products and Services, [en línea]. Humidity and Temperature Transmitters (s.f.). [Fecha de consulta: 2 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<<http://www.vaisala.com/en/products/humidity/Pages/HMDW80.aspx>>

[16] Vaisala, Humidity and Temperature Transmitters, [en línea]. Quick Guide (s.f.). [Fecha de Consulta: 2 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/HMW80%20Quick%20Guide.pdf>>

[17] Dwyer, Productos, Velocidad del aire, [en línea]. Transmisor de velocidad, (s.f.). [Fecha de consulta: 20 de mayo 2017]. Imagen disponible en:  
<<https://www.dwyer-inst.com/Product/AirVelocity/AirVelocityTransmitter/Series641#literature>>

[18] Dwyer, Productos, Velocidad del aire, [en línea]. Manuales Transmisor de Velocidad (s.f.). [Fecha de consulta: 23 de mayo 2017] Imagen disponible en:  
<[http://www.dwyer-inst.com/PDF\\_files/641\\_iom.pdf](http://www.dwyer-inst.com/PDF_files/641_iom.pdf)>

## 10. Anexos.

### 10.1. Glosario.

**Calibración.** Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

**Mensurando.** Magnitud que se desea medir.

**Repetibilidad de una medición.** Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.

**Valor verdadero de una magnitud.** En el enfoque en torno al concepto de error, el valor verdadero de la magnitud se considera único y, en la práctica, imposible de conocer en la descripción de la medición. El enfoque en torno al concepto de incertidumbre, consiste en reconocer que, debido a la cantidad de detalles incompletos inherentes a la definición de una magnitud, no existe un único valor verdadero compatible con la definición, sino más bien un conjunto de valores verdaderos compatibles con ella. Sin embargo, este conjunto de valores es, en principio, imposible de conocer en la práctica.

**Incertidumbre de medida.** Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

**Jerarquía de calibración.** Secuencia de calibraciones desde una referencia hasta el sistema de medida final, en la cual el resultado de cada calibración depende del resultado de la calibración precedente.

**Trazabilidad metrológica.** Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

**Deriva instrumental.** Variación continua o incremental de una indicación a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida.

**Patrón de medida.** Un patrón se utiliza frecuentemente como referencia para obtener valores medidos e incertidumbres de medida asociadas para otras magnitudes de la misma naturaleza, estableciendo así la trazabilidad metrológica, mediante calibración de otros patrones, instrumentos o sistemas de medida.

**Estabilidad de un instrumento de medida.** Aptitud de un instrumento de medida para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

**Reproducibilidad de una medición.** Condición de medición, que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.

**Factor de calibración.** Relación que existe entre el instrumento a calibrar, entre el patrón. Este se expresa en la curva de calibración como la pendiente de la recta de esta curva. Por lo tanto, se define mediante esta relación.

$$F_c = \frac{Y_{IBC}}{X_p}$$

Dónde:

$F_c$ : Factor de calibración.

$Y_{IBC}$ : Valor medido del instrumento bajo calibración.

$X_p$ : Valor medido del patrón.

## 10.2 Código de programa del contador de vueltas en Arduino.

```
#define SEN A0 // se define el pin A0 con el nombre de SEN
#include <LiquidCrystal.h> // se agrega la librería para el LCD
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // se declaran los pines de control para el LCD
Int sensor; //Se declara una variable entera para almacenar el valor analógico de entrada
Int contador=0; //se inicializa el contador de vueltas en cero

void setup() {
  lcd.begin(16,2); // Se inicializa la pantalla LCD
  Serial.begin(9600) // Se inicializa la comunicación serial
  pinMode(SEN,INPUT); //Se declara como entrada analógica el Puerto A0
}

void loop() {
  lcd.setCursor(0,0); // Se coloca el cursor en el principio de la pantalla
  sensor = analogRead(SEN); //Se lee el valor de A0 y se almacena en la variable sensor
  Serial.print("Valor del sensor"); // Se coloca la leyenda en la pantalla Serial "variable del sensor"
  Serial.println(sensor); // Se muestra el valor del sensor de 0 a 1023
  lcd.print(" No. Vueltas"); // Se escribe la leyenda "No. de vueltas" en el LCD
  lcd.setCursor(0,1); //Se coloca el cursor en el renglón inferior del LCD
  lcd.print(contador); //Se imprime el valor del contador
  delay(10); // Se agrega un valor de retardo de 10 ms
  if(sensor > 960) //Se declara una sentencia if cuando el valor del sensor es mayor a 960
  {
    contador=contador+1; //se suma 1 al contador cada vez que se cumpa la sentencia
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print( " No. Vueltas");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(contador);
    delay(7000); // Se agrega un valor de retardo de 7 segundos para que no vaya a marcar más de
    una vuelta al pasar la manecilla una vez enfrente del sensor
  }
}
```