



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz



## Reporte Final de Estadía

Juan Pastor Hernández Tello

Ajuste de sensores magnéticos CASE ASSY NISSAN

---

## **Programa Educativo**

Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

### **Reporte para obtener título de**

Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

### **Proyecto de estadía realizado en la empresa**

Hitachi Automotive System México S.A de C.V.

### **Nombre del proyecto**

Ajuste de Sensores Magnéticos CASE ASSY NISSAN.

### **Nombre del Asesor Industrial**

Ing. Marco Antonio Huérfano Pérez.

### **Nombre del Asesor Académico**

Ing. Felipe de Jesús Bermúdez Orozco.

### **Jefe de Carrera**

Ing. Gonzalo Malangón González.

### **Presenta**

Juan Pastor Hernández Tello

Cuitláhuac, Ver., a 17 de Abril de 2018.

## AGRADECIMIENTOS

A mis Padres:

Por haberme apoyado y brindado su cariño para conseguir este logro agradezco por siempre dar me ánimos para seguir adelante cada vez que decaía, por brindarme la seguridad que lo que se quiere se puede. Y por tantas cosas más mil gracias, este logro se lo dedico a ustedes.

A mi esposa:

Por bríndame su amor y su apoyo incondicional en este proceso, que aunque la situación estuvo mal no se rindió y me motivo continuar por eso y más gracias.



## RESUMEN

El siguiente documento demuestra cómo se realiza una calibración a sensores magnéticos en las líneas de producción en la empresa Hitachi Automative System dándonos a conocer que es un sensor Magnético como funciona y como se debe realizar una calibración correcta para evitar que los sensores de las líneas fallen y el producto final tenga una mala calidad mediante esto también se pretende la obtención de una mayor satisfacción del cliente.

Los sensores desarrollan tareas para las que antes se necesitaba de un operario, ahora por ello deben estar siempre óptimos mediante una calibración para que el sensor realice su actividad de manera correcta sin tocar ni mover la pieza, con más precisión y rapidez, sin desgaste ni cansancio y a una fracción de costo, además una consideración importante es que el tiempo de respuesta en los sensores es instantáneo, una vez que el objeto que se necesita detectar cae dentro de su rango de operación en el que trabaja o en el que se ajustó el sensor.

---

## Contenido

**AGRADECIMIENTOS**..... 3

**RESUMEN**..... 1

**CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**..... 3

    1.1 Estado del Arte ..... 4

    1.2 Planteamiento del Problema ..... 7

    1.3 Objetivos ..... 7

    1.4 Definición de variables ..... 7

    1.5 Hipótesis..... 9

    1.6 Justificación del Proyecto..... 9

    1.7 Limitaciones y Alcances..... 9

    1.8 La Empresa (Nombre de la empresa)..... 10

Hitachi Automotive Systems México, S.A. de C.V. .... 10

**CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA**..... 12

**CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO**..... 19

**CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES** ..... 35

    4.1 Resultados ..... 35

    4.2 Trabajos Futuros..... 35

    4.3 Recomendaciones ..... 35

**BIBLIOGRAFÍA** ..... 40

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Los sensores son una herramienta esencial en nuestros días para la industria ya que con ellos podemos medir, limitar o simplemente automatizar procesos, son indispensables en casi cualquier área, los vemos en nuestras casas, trabajos, hospitales y cualquier otro lugar en donde esté presente la tecnología.

Se da conocer el funcionamiento básico de los sensores magnéticos, así como las funciones de éstos repasando las leyes que los rigen y el desarrollo que han venido teniendo desde su invención hasta nuestros días. También veremos algunas clases de sensores según el uso que se les da y por ultimo posibles aplicaciones.

Los sensores desarrollan tareas para las que antes se necesitaba de un operario, ahora realizan esta misma actividad sin tocar ni mover la pieza, con más precisión y rapidez, sin desgaste ni cansancio y a una fracción de costo, además una consideración importante es que el tiempo de respuesta en los sensores es instantáneo, una vez que el objeto que se necesita detectar cae dentro de su rango de operación en el que trabaja o en el que se ajustó el sensor.

Algo digno de mencionarse en esta introducción a los sensores de proximidad es que Pepperl Fuchs presentó al mundo el primer Sensor, un Inductivo, en 1958, y hoy sigue a la vanguardia de la innovación técnica en automatización. Llama la atención que solo 40 años después esté produciendo 40.000.000 de sensores en más de 4.500 modelos distintos y que menos del 33% tenga más de 2 años de antigüedad y ninguno más de 8. Esta variedad es la respuesta de Pepperl Fuchs a pedidos especiales. La mayor parte de los Sensores en uso se utiliza para "DETECTAR" el paso o la ubicación de un Objeto, pero otros "MIDEN" la distancia a la que se encuentra utilizado para detectar el paso o la posición de una pieza, u "Objeto", y desencadenar un proceso.

---

Hay muchos ejemplos que podemos mencionar en donde se utilizan los sensores en nuestra vida cotidiana como por ejemplo en las puertas eléctricas que en México se encuentran presentes en supermercados, bancos, o establecimientos que las han integrado para facilitarle la entrada a sus clientes, otro ejemplo dentro del comercio se ve en los bancos de los mismos establecimientos donde en los lavabos ya no se tiene que girar ninguna perilla para que salga el agua, en nuestra casa muchas veces no nos damos cuenta que también estamos rodeados de sensores como en el refrigerador que tiene un termostato para regular la temperatura y un micro que nos indica cuando está abierta la puerta y automáticamente enciende la luz. Así podríamos mencionar muchísimos ejemplos de donde y como se utilizan los sensores.

## 1.1 Estado del Arte

Es difícil saber exactamente cuando se creó el primer sensor o transductor, se puede ver en Internet cuando se creó cierto modelo de sensor, pero de un modo generalizado no podemos saber que paso, quien creo el primer sensor esto es porque los vemos utilizados desde hace mucho tiempo esto es sensores mecánicos, por poner un ejemplo los vemos en una válvula que se cierra a la hora que el agua de una cisterna llega a su límite, este ejemplo aunque no necesita electricidad vemos claramente que es un sensor por que pudo detectar el nivel del agua con un flotador y actuó la válvula para cerrarse y así evitar que siguiera saliendo el agua. Ejemplos como esos podemos ver en casi todo el mundo y a lo largo de la historia, algo más primitivo seria las trampas que tendían para cazar en muchos lugares en los que con el movimiento de un cordón se actuaba alguna especie trampa que dejaba inmovilizado el animal o hasta lo podía matar inmediatamente, como se ve los sensores han estado con nosotros durante mucho tiempo y lo van a seguir estando por que no dejan de innovarse y estar a la vanguardia. Sin embargo en la actualidad debemos tomar en cuenta que esto se ha vuelto como un sistema de instrumentación.



La instrumentación trata los sistemas integrados cuya finalidad es medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador.

Las características por las que la tecnología electrónica es la más utilizada por los sistemas de instrumentación, son:

- Las señales eléctricas permiten manejar señales en un rango dinámico de tiempos muy amplios (10<sup>15</sup>), desde los picosegundos (10<sup>-12</sup> s) hasta horas (10<sup>3</sup> s). Las señales eléctricas pueden ser transmitidas muy fácilmente a través de cables metálicos, sistemas radiados, o fibra óptica.
- Las señales eléctricas pueden ser amplificadas por circuitos electrónicos de forma muy eficientes, y pueden manejarse rangos de señal muy amplios (10<sup>12</sup>), desde los nano voltios (10<sup>-9</sup> V) hasta los kilovoltios (10<sup>3</sup> V).
- El sistema electrónico permite complejas transformaciones funcionales de las señales eléctricas.
- Las señales eléctricas son las más apropiadas para ser introducidas en los computadores, los cuales representan el medio más potente de registro, transformación y presentación de la información.
- La tecnología electrónica actual es la que presenta mejor relación entre prestaciones y costo.

En la figura se muestra el esquema básico de cualquier sistema de instrumentación.

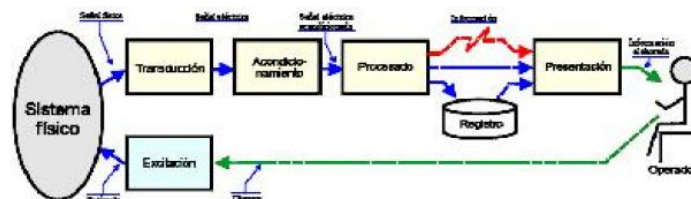


Imagen. 1 sistema de instrumentación.

---

Los aparatos electrónicos para música o sonido se pueden clasificar en los siguientes grupos: generadores, procesadores, grabadores, reproductores y transductores.

Cada uno de ellos tiene una misión determinada: los generadores producen un sonido, los procesadores lo modifican, los grabadores lo almacenan en un medio determinado para su posterior reproducción en los reproductores. Lo que tienen todos en común, es que operan o producen sonido no como onda de presión, sino como una representación de esta en forma de fluctuación de tensión eléctrica. El enlace entre ambas se realiza mediante transductores.

Ahora los sensores con los que contamos son mucho más complejos y muchos de ellos pueden realizar diferentes tareas todo en un mismo encapsulado, cada vez se requiere más de cada elemento en la industria y con mucho más razón de los sensores que son imprescindibles en cualquier máquina ya sea industrial o doméstica, si tenemos conocimientos de electrónica veremos que estamos rodeados de ellos porque si no se tienen esos conocimientos, por su tamaño y su función es difícil verlos.

Ahora bien si nos vamos a lo que son sensores electrónicos podríamos decir que por ejemplo el primer sensor inductivo que se construyó fue en 1958 y lo construyó la marca Pepperl Fuchs, claro que en la actualidad se le han hecho muchas modificaciones a este sensor, a continuación iremos desglosando los principales cambios que se le han venido dando y sus partes esenciales de los sensores.

## 1.2 Planteamiento del Problema

En la empresa Hitachi Automative System se necesita realizar un ajuste de sensores magnéticos de manera correcta ya que hasta el momento esto se han generado diversas fallas y paros innecesarios en la línea CASY ASSY NISSAN por tal motivo se realizara un ajuste correcto en los sensores para evitar las fallas y el uso obsoleto de este, para evitar paros innecesario en líneas y disminuir la mala producción y de esto se partirá para identificar los mantenimientos correctos y la metodología a aplicar para prevenir y mantener en condiciones óptimas la línea.

## 1.3 Objetivos

### **Objetivo General:**

- Realizar los ajustes adecuados de los sensores para eliminar los paros en la línea y con ellos las pérdidas generadas al momento.

### **Objetivos Específicos:**

- Lograr que el personal encargado de aplicar los ajustes correspondientes lo haga de manera eficaz
- Optimizar para que los equipos tengan mayor rendimiento
- Obtener un mejor método de ajuste correcto mediante la inspección diaria para evitar estos tipos de averías.

## 1.4 Definición de variables

Sensores magnéticos: Detecta los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas. El principal es el llamado interruptor Reed; consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito.

---

**Calibración:** La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar). Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, la calibración es "una operación que, bajo condiciones específicas, establece en una primera etapa una relación entre los valores y las incertidumbres de medida provistas por estándares e indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas y, en un segundo paso, usa esta información para establecer una relación para obtener un resultado de la medida a partir de una indicación".

**Producción:** producción es un proceso complejo, requiere de distintos factores que pueden dividirse en tres grandes grupos, a saber: la tierra, el capital y el trabajo. La tierra es aquel factor productivo que engloba a los recursos naturales; el trabajo es el esfuerzo humano destinado a la creación de beneficio; finalmente, el capital es un factor derivado de los otros dos, y representa al conjunto de bienes que además de poder ser consumido de modo directo, también sirve para aumentar la producción de otros bienes. La producción combina los citados elementos para satisfacer las necesidades de la sociedad, a partir del reconocimiento de la demanda de bienes y servicios.

**Calidad:** La Calidad es aquella cualidad de las cosas que son de excelente creación, fabricación o procedencia, Calidad describe lo que es bueno, por definición, todo lo que es de calidad supone un buen desempeño. Todo lo que posee un cualitativo de calidad supone que ha pasado por una serie de pruebas o referencias las cuales dan la garantía de que es óptimo. Sin embargo esta es la definición directa, producto de la generalización de lo bueno y bonito que la sociedad ha categorizado, la mirada indirecta nos arroja una definición más general. La calidad es aquella condición del producto ya realizado la cual nos indica que tan bueno o malo puede ser.

**Optimización:** Optimizar quiere decir buscar mejores resultados, más eficacia o mayor eficiencia en el desempeño de alguna tarea. De allí que términos sinónimos sean mejorar, optimar o perfeccionar. Mientras que antónimos serían desmejorar o empeorar.

**Mantenimiento:** Se define el mantenimiento como a todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

## 1.5 Hipótesis

Calibrar los sensores de la línea de producción para mejorar el rendimiento del equipo y que la calidad del producto sea mejor.

## 1.6 Justificación del Proyecto

En la empresa Hitachi se necesita llevar a cabo el análisis de esta línea para determinar las medidas necesarias para corregir las fallas en los ajustes de los sensores para Hitachi la aplicación de una investigación a dicha línea es importante debido a que continuamente presenta fallas y estas generan gastos innecesario por lo cual se le toma prioridad para yevase a cabo durante este periodo.

## 1.7 Limitaciones y Alcances

### Limitación

- Cabe recalcar que este proyecto solo beneficiara a la línea CASY ASSY NISSAN en la modificación y perfección del ajuste de sus sensores para evitar excesivos paros.
- Las bitácoras serán solo con uso para esta línea.
- Se pretenderá realizar de la manera más conveniente para la empresa sin generar gastos excesivos.
- Que la línea genere mejor rendimiento

---

## Alcances

- Optimización adecuada del equipo
- Información para prevenir futuras fallas
- Eliminación de gastos innecesarios
- 

### 1.8 La Empresa (Nombre de la empresa)

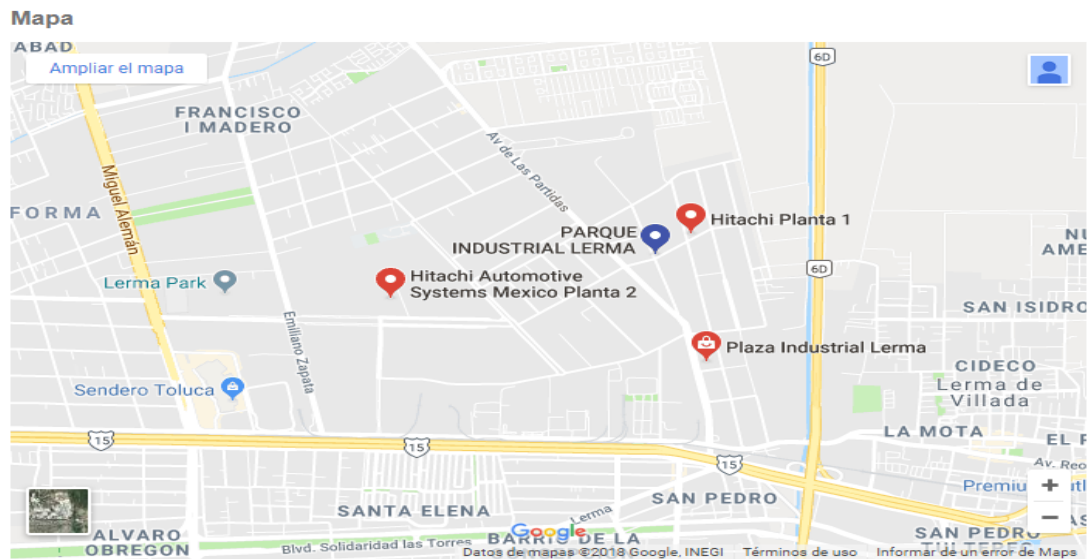
- Nombre o razón social

Hitachi Automotive Systems México, S.A. de C.V.

- Ubicación

Planta 2 de Lerma

Av. De la Industria Automotriz No. 12, Corredor Industrial Toluca Lerma, CP 52004, Lerma, Estado de México



- Giro, tamaño  
Industrial

- Principales productos y/o servicios que ofrece.

Hitachi Automotive Systems México, S.A. de C.V. ofrece una amplia gama de productos automotrices para Equipo Original y Mercado de Reemplazo. Nuestra extensa gama de productos incluye bombas de agua,

balanceadoras, cubiertas frontales, bobinas de ignición, válvulas de control de aceite, sensores de flujo de aire, pistones, amortiguadores, bombas de aceite y VDVP, partes de fundición inyectadas a presión balatas, calipers y computadoras automotrices (ECU)

Diseñamos productos y componentes automotrices pensando en el usuario final. Nuestros productos mejoran: el rendimiento del motor, la eficiencia en el consumo del combustible, la seguridad del conductor y de los pasajeros, mismos que generan una interacción amigable con el medio ambiente.

---

## **CAPÍTULO 2.**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se presenta la campaña de calibración de los sensores y los ensayos previos realizados con anterioridad a las experiencias definitivas. La calibración de los sensores aparece como una necesidad de comprobación del correcto funcionamiento de los transductores que se utilizarán durante la campaña de laboratorio. Los sensores de presión adquiridos para llevar a cabo esta investigación, son aparatos de medida muy sensibles a efectos externos como la temperatura, o la propia presión atmosférica, por ello es importante conocer con detalle su funcionamiento durante cada registro. Por ello se llevará a cabo una calibración antes de cada ensayo.

La respuesta de estos sensores en el dominio del tiempo se verificará mediante una calibración estática, en la que se revisará tanto su esperado comportamiento lineal, como una posible deriva del cero. A continuación se procederá a analizar su respuesta dinámica. Puertas (1994) analizó detalladamente este aspecto.

Así, teniendo en consideración sus conclusiones acerca de la buena respuesta de este tipo de transductores, se procederá a contrastar la capacidad de los sensores a registrar rápidas variaciones de presión sin mostrar inercia en dichas medidas y a comparar la potencia de la señal que se captará durante la adquisición de las presiones con el ruido que, de manera inherente, registrarán a lo largo de su operación.

Una vez se haya comprobado el adecuado funcionamiento de los transductores de presión, tanto estática como dinámicamente, se procederá a analizar dos aspectos importantes del trabajo: la verificación del sistema de la conexión de los sensores a los peldaños de la estructura y la bidimensionalidad del flujo.



## Ajuste de sensores magnéticos CASE ASSY NISSAN

---

Se debe explicar de forma detallada la información recopilada en la sección anterior. Se requiere que el alumno o alumna clasifique la información e identifique las áreas de oportunidad del área donde está desarrollando su proyecto.

---

Los sensores magnéticos detectan una variación en el campo magnético en respuesta a la variación de alguna magnitud física. Están basados en el efecto Hall, por lo que se conocen como sensores de efecto Hall.

Se caracterizan principalmente por ser dispositivos de estado sólido, no tener partes móviles, compatibilidad con otros circuitos analógicos y digitales, margen de temperatura amplio, buena repetibilidad y frecuencia de funcionamiento relativamente alta (100 kHz).



FOTOGRAFÍA DE SENSORES CAPACITIVOS<sup>87</sup>

Imagen 2 sensores capacitivos.

Se utilizan principalmente como sensores de posición, velocidad y corriente eléctrica. Los sensores de proximidad magnéticos son caracterizados por la posibilidad de distancias grandes de la conmutación, disponible de los sensores con dimensiones pequeñas. Detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación.



SENSORES MAGNÉTICOS<sup>88</sup>

Imagen 3. Sensores magnéticos.

Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto. Usando los conductores magnéticos (Ej. Hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre mayores distancias para, por ejemplo, poder llevarse la señal de áreas de alta temperatura. Los sensores magnéticos tienen una amplia gama de usos. Por ejemplo:

- Detección del objeto a través del plástico containers/pipes
- Detección del objeto en medios agresivos a través de las paredes protectoras del Teflón
- Detección del objeto en áreas de alta temperatura
- Tecnología del cerdo
- Reconocimiento de la codificación usando los imanes
- Refiere a los dispositivos encajados en materiales no magnéticos con el imán M 4.0

### **EFECTO HALL**

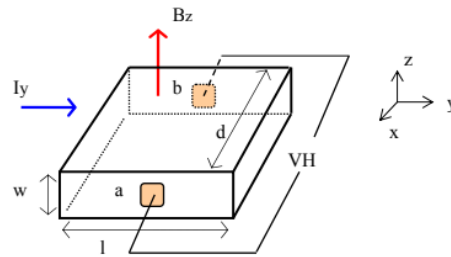
El efecto Hall es una consecuencia de la fuerza que se ejerce sobre una carga eléctrica en movimiento cuando se encuentra sometida a la acción de un campo eléctrico y un campo magnético.

Si por una muestra semiconductor circula una densidad de corriente  $J$  perpendicular a un campo magnético  $B$ , éste provoca la aparición de un campo eléctrico normal al plano determinado por  $B$  y  $J$ . Este mecanismo denominado efecto Hall puede ser usado para determinar características del semiconductor tales como: tipo de portador (hueco o electrón), concentración o movilidad. También es la base de dispositivos utilizados como sensores y medidores de campos magnéticos.

Supongamos que por una muestra semiconductor circula una corriente eléctrica de intensidad  $I$ , el vector de intensidad de campo eléctrico  $E$  coincide su sentido con  $I$  y el campo magnético  $B$  en principio es nulo como se muestra en la Figura 1.

---

Si el semiconductor es homogéneo, la superficie equipotencial que pasa por los contactos a-b, en la Figura 4, está situada perpendicularmente a la dirección del campo eléctrico  $E$  y, por lo tanto, a la corriente  $I$ . La diferencia de potencial entre los puntos a y b ( $V_H$ ) es igual a cero.



GRAFICA DE EFECTO HALL<sup>89</sup>

Imagen 4 Grafica de Efecto Hall.

Se coloca ahora al semiconductor en un campo magnético de inducción  $B \neq 0$ , como se muestra en la Figura 4. Como se sabe, sobre una carga  $q$  que se mueve a una velocidad  $v$  en un campo magnético  $B$ , actúa una fuerza  $F$ , llamada fuerza de Lorentz:

$$F = q (v \times B)$$

La dirección de esta fuerza  $F$  depende del signo de la carga del portador y del producto vectorial de la velocidad  $v$  y del campo  $B$ . Por lo tanto, si la velocidad de los portadores es perpendicular al campo  $B$ , por acción de la fuerza de Lorentz los portadores se desvían en dirección perpendicular a  $v$  y  $B$ . Por lo tanto, como los electrones y los huecos tienen tanto sus velocidades de arrastre como sus cargas de signo contrario, ambos tipos de portadores tenderán a ser acelerados en el mismo sentido por la fuerza  $F$ . Se origina una separación espacial de las cargas y aparece un campo eléctrico, se produce entre los puntos a y b una diferencia de potencial  $V_H$ , llamada "tensión de Hall".

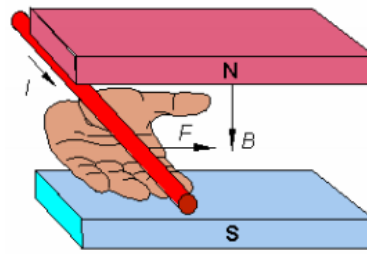
Para determinar la dirección y sentido de la fuerza pueden usarse varias formas: la regla de la mano izquierda, la regla de la palma, también para mano izquierda, o realizar el producto vectorial ( $v \times B$ ).

En el primer caso, se hace coincidir el dedo índice de la mano izquierda con la dirección y sentido del campo  $B$  y el dedo medio con la dirección y sentido de la velocidad de la partícula. El dedo pulgar indicará la dirección y sentido de la fuerza sobre la partícula, como se muestra en la Figura 2.



Imagen 5 regla de la mano izquierda.

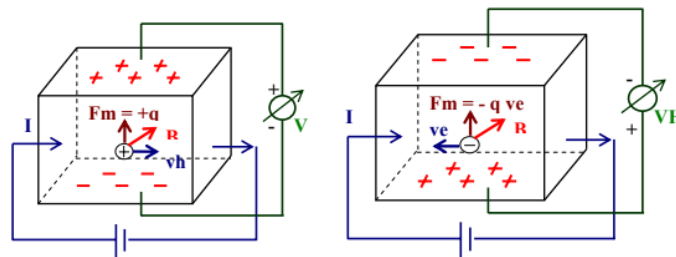
En la regla de la palma, también para mano izquierda, las líneas de densidad de flujo magnético deben atravesar verticalmente la palma de la mano, los dedos índice, mayor, anular y meñique juntos, se colocan en la dirección y sentido de la corriente. La fuerza resultante  $F$  actúa en la dirección y sentido determinado por el dedo pulgar, como se muestra en la Figura 5.



REGLA DE LA PALMA<sup>91</sup>

Imagen 6. Regla de la palma.

En las Figuras 6 a) y 6 b) se muestra la acción de la fuerza de Lorentz para un hueco y para un electrón. El campo magnético  $B$  y la corriente son perpendiculares entre sí. En ambos casos los portadores experimentarán una fuerza ( $F_m$ ) que los desviará hacia la cara superior de la muestra. Un voltímetro ubicado en los terminales a-b determinará la diferencia de potencial de Hall,  $V_H$ . La simple observación del sentido de deflexión permite determinar el tipo de semiconductor.



ACCIÓN DE LA FUERZA DE LORENTZ<sup>92</sup>

Imagen 7. Acción de la fuerza de lorentz.

### Sensores Magnéticos En Tres Ejes Mag-03

La gama de sensores en tres ejes Mag-03 está basada en el principio "Fluxgate". Estos sensores son muy exactos, tienen una respuesta lineal y son extremadamente estables. Tienen también una respuesta en frecuencia plana, con un ancho de banda desde CC hasta 3 kHz. Son adecuados para la medición de campos magnéticos desde cero hasta más de diez veces el valor del campo de la Tierra y proporcionan una salida analógica continua.

Los sensores Mag-03 contienen tres elementos ortogonales con electrónica integral en un empaquetado compacto. Requieren una alimentación de  $\pm 12$  Voltios y producen una salida analógica de  $\pm 10$  Voltios a fondo de escala. Con un ancho de banda desde CC hasta 3 kHz las unidades son adecuadas para mediciones de CA y CC. Los magnetómetros están disponibles en encapsulados cilíndricos, de sección cuadrada o sumergible y con rangos de fondo de escala desde  $\pm 70$  hasta  $\pm 1000 \mu\text{T}$ . Hay disponibles versiones con niveles de ruido bajos hasta 4 - 6 pTeficaces /  $f^{1/2}$  a 1 Hz.

## CAPÍTULO 3.

### DESARROLLO DEL PROYECTO

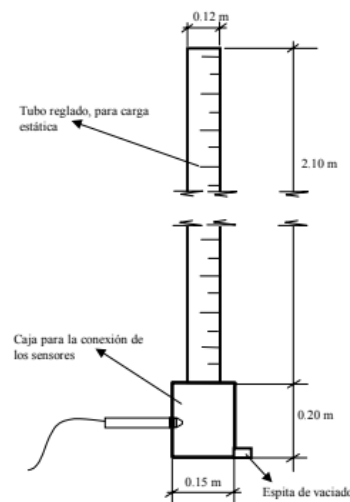


Figura 8. Estructura diseñada para la calibración de los sensores.

Para verificar que los errores cometidos por los sensores son del orden indicado por el fabricante (desviación máxima respecto el comportamiento lineal del 0.1% del fondo de escala, esto es 3.5 mm), se lleva a cabo una calibración estática. Ésta se realizará mediante una estructura construida a tal efecto, que sigue la idea planteada por Puertas (1994) en su investigación.

---

La estructura de calibración, que puede observarse en la Figura 8, consiste en un tubo de PVC opaco de 2.10 m de altura y 0.120 m de diámetro, soldado en la cara superior a una caja de metacrilato transparente, en la cual se enroscan los sensores. Esta caja dispone de una pequeña válvula en la zona inferior para permitir su vaciado. Junto al tubo de PVC, paralelo a éste, y también conectado a la caja, se ha dispuesto otro tubo de metacrilato transparente para conocer la altura a la que se encuentra el agua en el tubo. Así el agua se introduce en el sistema a voluntad mediante una manguera, obteniéndose de esta manera qué valores registran los sensores para cada altura de agua que se disponga en el sistema.

Eran conocidos a priori los problemas que podían presentar estos transductores por deriva del cero (medidas cercanas al cero que registran valores alejados de la realidad, Puertas (1994)) por causa de la diferencia de la temperatura ambiente y la temperatura del agua. Por este motivo, antes de cada sesión de ensayo se dejaban los sensores conectados a la estructura de calibración y al sistema de adquisición, durante un tiempo prudente para asegurar su adaptación a la temperatura del agua. Para el proceso de calibración estática se empezó registrando el cero (columna vacía), y se procedió a llenarla con escalones de 0.2 m.c.a. hasta una altura de 1.80 m.c.a., a continuación se procedió a tomar escalones, en descarga hasta llegar de nuevo al cero.



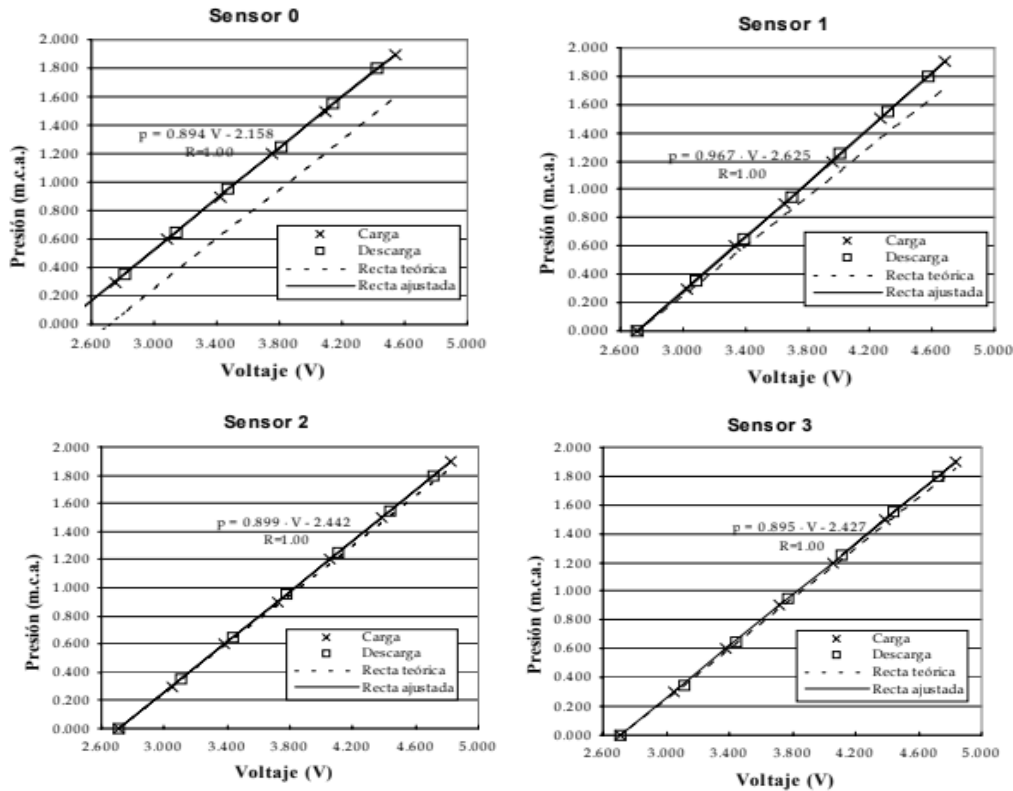


Figura 9. Calibración estática de los sensores. Rectas de transformación voltaje a presión.

En la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos en la calibración expuesta. En éstas puede observarse como todos los sensores, presentan una cierta desviación respecto la recta dada por el fabricante.

Este fenómeno no es excesivamente importante, lo realmente trascendental es que la proporción entre una variación en la solicitación y la variación que ésta produzca en su medida, sea constante, como así se observa en todos y cada uno de los transductores.

Así, antes de cada sesión de ensayos, se considera necesario la toma de unos pocos puntos de dichas rectas de calibración (cinco o seis) para verificar su comportamiento lineal y obtener la ecuación de dichas rectas que permitirá transformar las medidas en voltaje a presión.

---

## Respuesta dinámica

Los registros de presión que se obtendrán durante la campaña experimental muestran una elevada componente de variabilidad en el tiempo (fluctuación). Por ello, el análisis numérico en el que se basará el tratamiento de estos registros debe desarrollarse recurriendo a un estudio tanto en el dominio del tiempo (análisis estadístico) como en el de la frecuencia (análisis espectral), de manera que uno complementa al otro. De esta manera, mientras que el análisis en el dominio del tiempo debe permitir determinar la existencia de tendencias o de algún patrón de comportamiento de la variable estudiada, el examen de los resultados en el dominio de la frecuencia permitirá entender el origen de la fluctuación, esto es, si se trata básicamente de ruido, en el que no existen frecuencias dominantes en todo el espectro analizado, o si por el contrario, la fluctuación se encuentra dentro de algún rango de frecuencias principal.

También será importante garantizar que la respuesta de los sensores se adapta bien a variaciones instantáneas de presión, sin presentar inercia en su respuesta, es decir que la presión captada en un determinado instante no condicionará la presión que sea captada en el instante inmediatamente posterior. Así, y a pesar de que el fabricante de los transductores de presión aseguraba la adecuada respuesta dinámica de los mismos, se han llevado a cabo a una serie de ensayos para intentar confirmarlo. Las pruebas desarrolladas consistieron en el registro de un suceso de paso de una situación estática a otra, mediante un salto brusco. Igualmente, y asumiendo que cualquier ensayo tendrá asociado un ruido que será imposible evitar, se mostrará que los registros de presión que se llevan a cabo muestran una energía de orden superior a la del citado ruido.

Ensayo de impacto sobre la superficie libre de una columna de agua

Se intentó con esta experiencia generar un proceso transitorio muy brusco que provocara un aumento casi instantáneo de presión. Una señal consistente en una

base de presión constante con un único pulso mayor a dicho valor (tipo delta de Dirac) tiene como respuesta (trasformada de Fourier) otra señal constante en frecuencias (todas las frecuencias tienen asignada la misma potencia de señal). Esta respuesta daría la confianza de que los sensores muestran una respuesta adecuada en todo el rango de frecuencias. Puertas (1994) consiguió un impulso unitario de este tipo, por el sencillo de método de dar un golpe con la yema del dedo sobre la membrana sensible del sensor, de la manera más rápida posible. Si, como él mismo cita, no le fue fácil conseguirlo, en el presente caso iba a ser especialmente complicado debido a la protección de la membrana sensible con una corona circular roscada en su exterior (Capítulo 2 apartado 4.1.) y a la mayor sensibilidad de estos sensores, a los cuales, un golpe excesivo podía provocar su rotura. Así pues intentó desarrollarse una experiencia equivalente, con el diseño de un método que condujera a conclusiones equiparables.

La idea que se intentó desarrollar fue la de lanzar, desde una cierta altura, sobre la superficie libre del agua en el interior de la columna de calibración (ver apartado anterior) una pieza paralelepípedica de madera de 170.08 gramos. Previamente se estudió el volumen de agua que desplazaría dicho elemento flotante para poder predecir qué incremento de nivel de agua provocaría en el interior de la columna de calibración (1.5 cm). Así pues, una experiencia como está provocará, a la situación estática inicial, un aumento súbito de presión, que enlazará con una nueva situación estática con 1.5 cm.c.a más de presión que la inicial.

De esta manera, se procedió a conectar los sensores a la estructura de calibración. Esta se cargó con una columna de agua de 0.652 m de altura. Acto seguido, alrededor de los 7 segundos de iniciado el ensayo, se dejó caer, desde aproximadamente 0.65 m sobre la superficie libre la pieza de madera. El registro termina captando unos 15 segundos de la situación con la sobreelevación de agua en el interior de la columna (0.667 mca). En la Figura 10 se muestra la evolución en el tiempo del ensayo.

Puede observarse que todos los sensores siguieron el incremento súbito de presión, prácticamente de idéntica manera. Las pequeñas diferencias que puedan observarse en el seguimiento del pico de presión por parte de los cuatro transductores, raramente son mayores a 3.5 mm, que corresponde al error de un sensor dado por el fabricante. La única zona en la se supera ese margen de error es justo el instante del impacto. Estas diferencias pueden ser debidas a la nosimultaneidad de registro de los cuatro sensores por parte del sistema de medida.

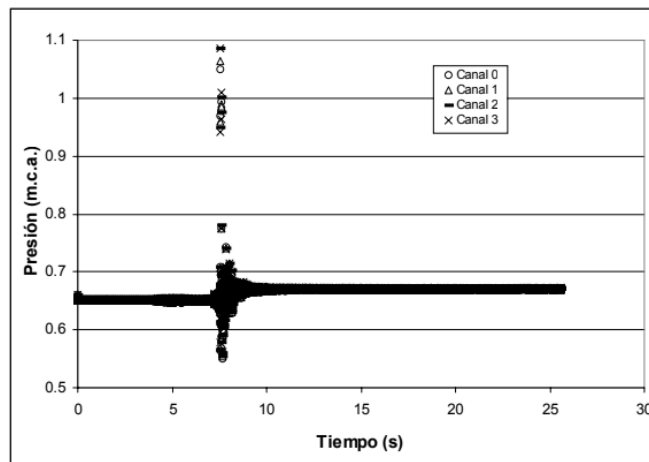


Imagen 10 Evolución en el tiempo del ensayo.

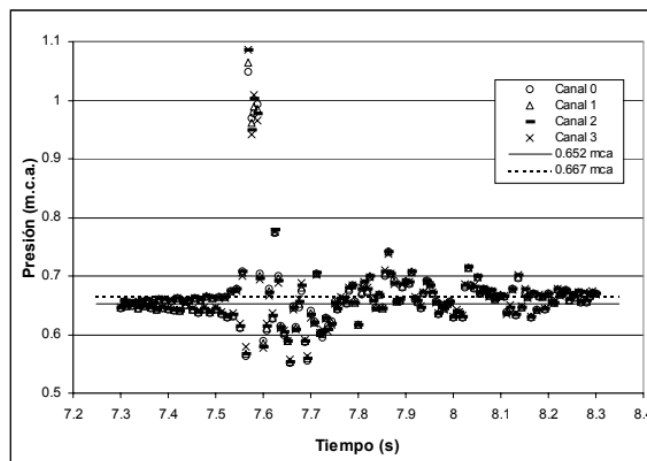


Imagen 11 Ondulación detectada.

En la anterior Figura 10. puede apreciarse como antes y después del impacto se producen unas pequeñas ondulaciones en el registro de presión alrededor de la presión estática de referencia de cada caso. Esto puede observarse con más detalle en la ampliación de la Figura 11. La ondulación detectada antes del choque responde a la vibración que produjo sobre la columna de agua el rozamiento de un cordel que ataba la pieza de madera al extremo superior del tubo de calibración. Dicho cordel permitió recuperar el prisma una vez finalizada la prueba, a la vez que comprobar la sensibilidad de los sensores a pequeñas oscilaciones en la superficie libre. La sensibilidad de los transductores, también puede apreciarse en el registro de un pequeño escalón de presión de 1.5 cm.c.a. entre antes y después del impacto. La ondulación observable una vez producido el choque del prisma, corresponde al proceso de amortiguamiento de la oscilación de la lámina libre una vez alterada por causa del impacto.

Se comprende pues que la señal conseguida con este ensayo difiere del objetivo inicial de conseguir una señal tipo Delta de Dirac. Con lo que la respuesta en frecuencias deberá alejarse de una constante, tal como puede apreciarse en los siguientes gráficos (Figura 12. y Figura 13.). De cualquier manera puede observarse que el ensayo de impacto desarrollado tiende a mostrar un rango sensiblemente constante, que correspondería al efecto del impacto del bloque de madera sobre la superficie libre, combinado con una ligera caída de la densidad espectral que estaría reflejando las frecuencias excitadas por efecto de la ondulación del registro de presión citado en el párrafo anterior.

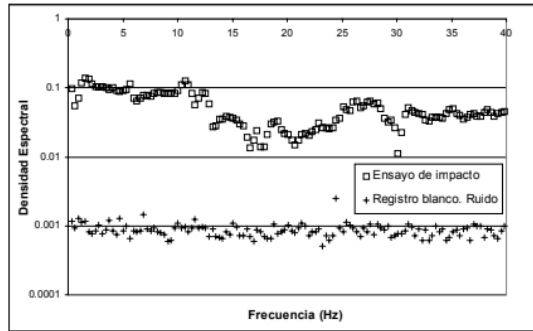


Imagen 12. Densidad espectral del ruido ambiental.

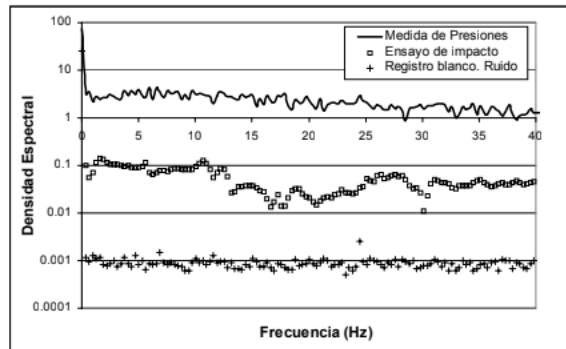


Imagen 13. Registro de un aumento instantáneo de presión.

De cualquier modo, este ensayo permitió también analizar otro aspecto importante relativo a la respuesta de los sensores: el ruido. Cualquier ensayo, basado en la adquisición de datos a una cierta frecuencia de muestreo, tiene asociado un ruido del que no es posible desprenderse. La existencia de posibles solicitaciones no deseadas, además de la presencia de campos electromagnéticos que pueden provocar señales parásitas, son los principales causantes de dicho ruido. Así, las anteriores figuras (Figura 12. y Figura 13.) permiten comparar también, los espectros de frecuencias asociados a tres ensayos distintos, a fin de comprobar la potencia de la señal registrada en cada caso. Se muestra la densidad espectral obtenida para:

1. Un registro de presión en un punto situado sobre la huella del 14o escalón contado desde el extremo aguas bajo a 0.5 cm de la arista externa del mismo, cuando circulaban 150 l/s,

2. Un ensayo en blanco, esto es, registrando la presión atmosférica. Por tanto una señal constante en la que las únicas variaciones se producirán por el ruido captado por los sensores, y

3. El ensayo de impacto sobre la superficie libre descrito anteriormente.

De dicho gráfico puede concluirse que, para todo el rango de frecuencias, la densidad espectral de la señal correspondiente al ensayo en blanco es del orden de tres órdenes de magnitud inferior al registro de presiones. Ello puede constatarse también de la estimación de la varianza de dichos ensayos. Según lo expuesto podrá asegurarse que la señal a registrar presenta suficiente potencia respecto el ruido intrínseco al sistema de medida utilizado.

<i>Tabla 3.1. Varianza estimada para tres situaciones distintas de registro de presión.</i>	
Ensayo	Varianza (m <sup>2</sup> )
Blanco (ruido)	$3.68 \cdot 10^{-7}$
Registro de un aumento instantáneo de presión	$2.27 \cdot 10^{-4}$
Registro de presión	$2.82 \cdot 10^{-2}$

Imagen.14 tabla de varianza.

### Selección del diámetro del tubo de conexión al adaptador

Debido a que el tamaño de la superficie sensible de los sensores piezorresistivos utilizados (1.2 cm de diámetro) es importante frente al tamaño de los escalones (10 cm de altura y 8 cm de huella), se ha diseñado un adaptador que permita reducir la superficie de medida. El adaptador para el modelo PTX 1830, se esquematiza en la Figura 14. La conexión física entre el sensor, que se enrosca en la parte inferior del adaptador y la estructura, se realiza mediante un tubo de, a lo sumo, 10 cm de longitud. Éste se introduce a través del orificio, hasta la expansión donde se encuentra enroscado el sensor. Una parte esencial del adaptador es la junta tórica que se encuentra en el orificio por el que se introduce dicho tubo. La finalidad de dicha junta es doble: fijar el tubo al adaptador a fin de evitar posible vibraciones y favorecer una correcta estanqueidad de todo el sistema. Este punto es crucial: toda la cámara interior del adaptador debe encontrarse llena de agua, asegurando la

---

ausencia total de cualquier burbuja de aire, que evitaría una buena propagación de las presiones en su interior.

Tanto el tubo de conexión como el adaptador se han construido en metacrilato transparente, para permitir por inspección visual asegurar que durante todo el ensayo no se forma en el interior de la cámara del adaptador ninguna burbuja de aire. Se han ensayado tres tubos de diámetros exteriores distintos: 6 mm, 8 mm y 12 mm, que corresponden a 3.7 mm, 5.8 mm y 7.5 mm de diámetro interior.

La elección del tubo de conexión no es en absoluto un aspecto trivial. Diámetros demasiado grandes pueden permitir la entrada al adaptador de burbujas de aire pertenecientes al flujo, en cambio con diámetros demasiado pequeños se detectó que no disponían de suficiente inercia como para amortiguar las vibraciones inducidas por el flujo a la estructura metálica que soporta el modelo del aliviadero escalonado (alrededor de 160 Hz), y éstas fueron captadas por el sensor, introduciendo un ruido no deseado al registro de la presión. Este fenómeno podrá observarse en las figuras siguientes.

Se situaron bajo la huella del escalón número 11 (contado desde el extremo de aguas abajo) tres sensores con sus correspondientes adaptadores, conectados al peldaño mediante tubos de diámetro exterior 6 mm, 8 mm y 12 mm, tal y como se muestra en la Figura 15. En tal situación, se realizaron dos ensayos con un caudal de 100 l/s y 150 l/s respectivamente, para determinar las posibles diferencias en los respectivos registros.



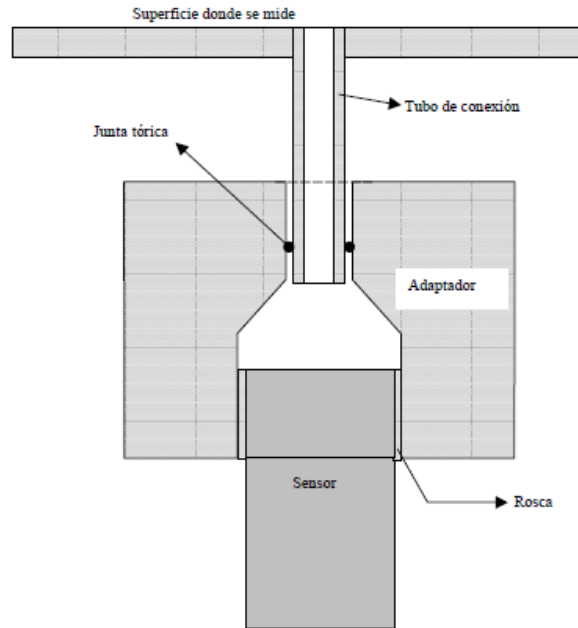


Imagen 15. Esquema del adaptador acoplado a los sensores piezorresistivos.

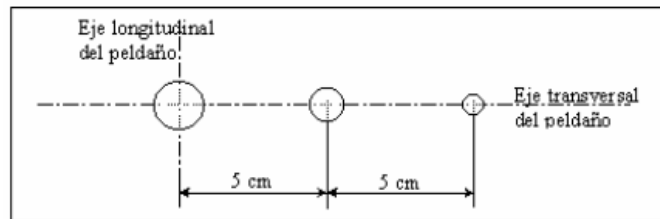


Imagen 16. Ubicación de la huella de escalon.

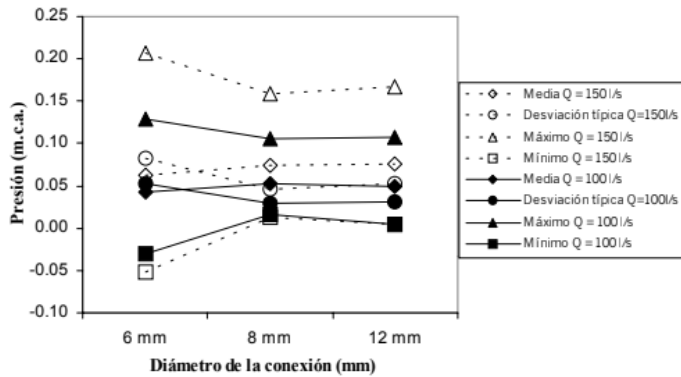


Imagen 17. Ensayos para la elección de diámetro.

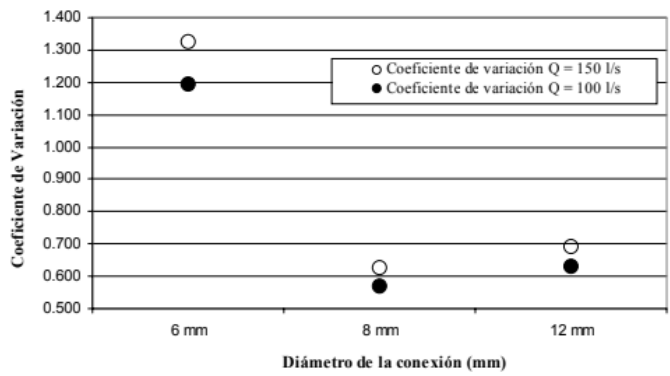


Imagen. 18 Representación del coeficiente de variación.

En los gráficos de la Figura 17. y Figura 18. puede observarse como, en el caso del menor diámetro de conexión existe una mayor variabilidad aunque el valor medio es sensiblemente inferior al de los otros dos.

El comportamiento de las medidas llevadas a cabo con el menor de los diámetros de conexión es distinto no sólo en el dominio del tiempo como acabamos de ver sino también en el de las frecuencias. En las figuras siguientes (Figura 17. a Figura 18.) se presentan los espectros de frecuencias resultantes en cada caso. En ellos puede observarse como, en el espectro correspondiente al tubo de diámetro 6 mm aparecen dos zonas en las que se concentra la densidad espectral, una entre las frecuencias 0 y 20 Hz y la otra entre 160 Hz y 170 Hz. En cambio, los espectros correspondientes a los ensayos realizados con los diámetros de 8 mm y 12 mm,

únicamente muestran una concentración de la densidad espectral entre los 0 y 20 Hz.

Por este motivo, y también para eliminar el ruido eléctrico de los 50 Hz, se seleccionó la frecuencia de 80 Hz para el filtro paso banda del sistema de medida. Tal y como se ha citado en párrafos anteriores, este fenómeno puede haberse producido por el tamaño relativo entre el diámetro de los tubos que se han ensayado, respecto el tamaño y peso de los sensores de medida. Con los dos diámetros mayores (8 mm y 12 mm), los sensores quedaban perfectamente sujetos al peldaño en el que se fuera a realizar la medida. En cambio el tercer transductor acoplado con el tubo de diámetro 6mm, a pesar de encajar perfectamente con el orificio realizado en el punto de medida, a simple vista se observaba su incesante vibración, asociada a la vibración de la estructura metálica que soporta el modelo reducido, que se transmitía a través del tubo de conexión entre la superficie del peldaño y el adaptador.

Así, se entiende que los registros realizados con el transductor acoplado con el diámetro menor (6 mm), muestran, con una gran potencia, un fenómeno que no se corresponde con el que se pretende analizar. Es por este motivo que se desestimó la utilización del tubo de diámetro 6 mm, pasándose a elegir el tubo de diámetro inmediatamente mayor, 8 mm.

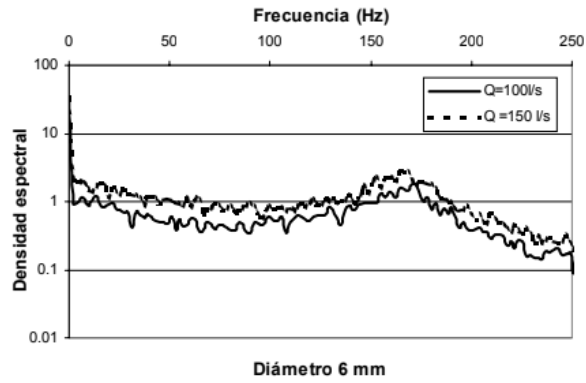


Imagen 19. Espectro de frecuencia.

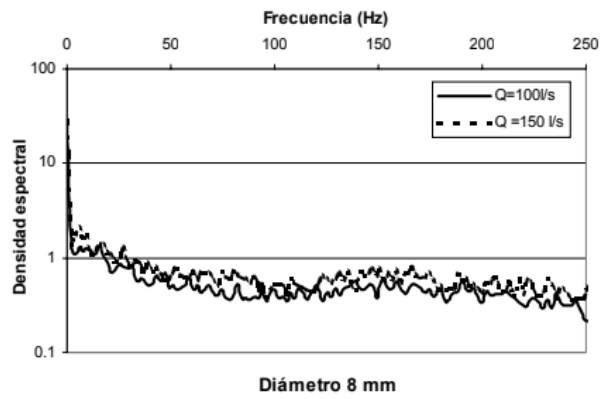


Imagen.20 Frecuencia de adquisición del ensayo.

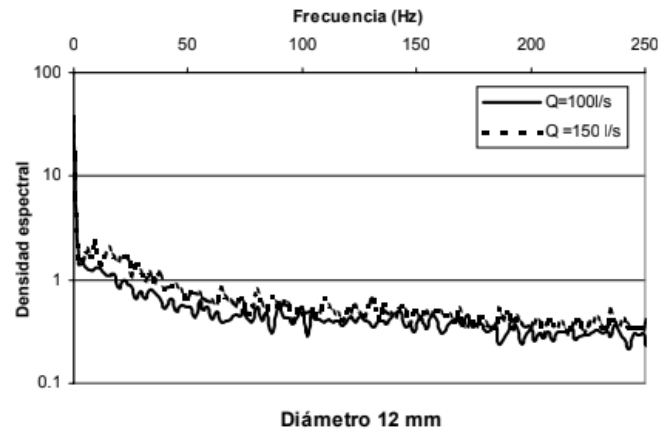


Imagen 21. Espectro de frecuencia para caudales.

### Sistema de medida en la contrahuella.

Otro aspecto importante para la puesta a punto del sistema de medida resultó ser el registro de presiones en la contrahuella de los escalones. Ubicando directamente el sensor, mediante el acoplador citado, en una de las caras verticales de la estructura, se observa que éste, así como el pequeño volumen de agua que asegura la correcta transmisión dinámica de las presiones, se encuentra en posición horizontal (ver Figura 21). Ello hace que, se propicie la entrada de burbujas de aire en el sistema que falseará el proceso dinámico que se pretende registrar.

La solución a dicho fenómeno se estableció conectando el recinto del adaptador a un pequeño depósito ubicado a una cierta altura por encima del sensor, que le proporcionara una carga constante, tal y como se esquematiza en la Figura 21. De esta manera, cuando el modelo se encuentra en vacío, por el tubo de conexión entre el adaptador y el escalón estará saliendo permanentemente un cierto caudal de agua. Dicho caudal deberá ser suficientemente pequeño para que el flujo que se origine en el adaptador distorsione lo menos posible el registro de la presión, pero a su vez debe ser suficientemente elevado para evitar la formación de burbujas de aire en el adaptador. Para establecer ese caudal, la conexión entre el depósito de carga constante y el adaptador se realizó con el típico sistema de gota a gota clínico que cuenta con un sencillo sistema de regulación del flujo. De esta manera se consigue mantener libre de aire el sistema de medida.

---

En la Tabla 3.4 que se muestra en el siguiente apartado, se justifica la bondad de este mecanismo de medida mediante el sistema de carga constante. Imagen.22 esquema de ubicación de un sensor en la contrahuella de un escalon.

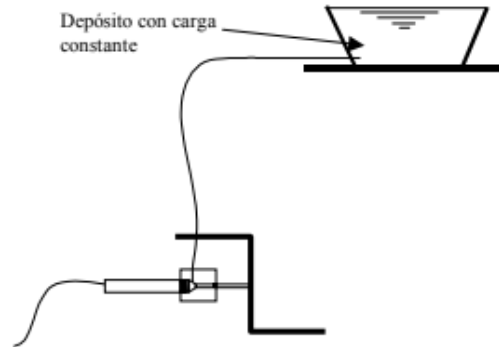


Imagen.22 esquema de ubicación de un sensor en la contrahuella de un escalón.

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

### 4.1 Resultados

Los siguientes resultados van de la mano con la producción haciendo notar que si los sensores en las líneas están calibrados la producción en cuestiones de calidad es mejor y las piezas que se fabrican en las líneas alcanzan una mejor calidad y al cliente se le disminuye las piezas defectuosas en este procesos se encuentra el beneficio mutuo, pues tanto el cliente, como la empresa se ven beneficiados en cuestiones económicas ahorrando hasta un 10%.

### 4.2 Trabajos Futuros

Realizar bitácoras y Chek-list cada 15 días para identificar el periodo exacto en donde se deben calibrar los equipos para que estos se calibren en el momento oportuno.

### 4.3 Recomendaciones

Se recomiendan hacer pruebas en las líneas cada mes para verificar que los sensores realizan su función de manera adecuada.

---

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Payas-Areny, sensores y acondicionadores de señal, Ed Marcombo 1988.

D.G. Buerk, biosensors. Theory and applications, 1993.

S.M. Sze. (Ed): Semiconductors Sensors, Wiley 1994.

Rudolf. F. Graf. Diccionario modern de electronica. Mexico, 1997

F.E. Wolfgang SCHUCH, manual de la tecnica Del automovil. Mexico 1999.