

## 1.2- Presión.

### Se incluye los temas de flujo y caudal

Para optimizar el rendimiento en la obtención de electricidad a partir de la energía cinética del viento. Una de ellas está relacionada con la forma y posición de las palas del aerogenerador. Para obtener la máxima eficiencia, las palas del aerogenerador necesitan ser optimizadas en forma y ángulo de ataque, para lo cual se desarrollan tareas de investigación y desarrollo en aerodinámica tanto en túneles de viento a escala como en ensayos de campo en aerogeneradores reales.

Los escaners electrónicos de presión son ideales para estudios de mejora aerodinámica a partir de medidas de presión de múltiples puntos alrededor de la pala, perfil de presiones.

Los escaners de presión se han usado durante años en túneles de viento para realizar estudios sobre modelos a escala del ábabe. Pueden utilizarse hasta 64 canales de presión en toda la longitud de la pala. Sin embargo, en los últimos años los fabricantes de aerogeneradores han comenzado a realizar investigaciones en campo situando los escaners dentro del ábabe en diferentes puntos en toda su longitud y en movimiento.

Existen compañías de instrumentación como Scanivalve ofrece dos alternativas, el sistema completo DSA3217 compuesto de 16 canales de presión, multiplexor electrónico y sistema de adquisición todo en uno; o el escaner miniatura ZOC33 con 64 canales de presión y sistema de adquisición remoto E-RAD4000. Otros escaners de menor número de canales están disponibles dependiendo del número de puntos de medida requeridos. Se registran presiones en tiempo real a diferentes ángulos de ataque, a diferentes velocidades de viento y en cualquier condición meteorológica. Estos ensayos se llevan a cabo durante 24 horas los 7 días de la semana durante meses.

Todos los escaners de presión Scanivalve incorporan una válvula neumática de calibración, que permite al usuario purgar las líneas de entrada de presión para eliminar efectos de condensación que afectarían las medidas de forma adversa. El usuario puede purgar las entradas según sea necesario mientras el aerogenerador está en marcha. Por otro lado, cuando las palas del aerogenerador no giran por falta de viento o están bloqueadas en modo seguro, el usuario puede realizar una corrección de cero en todos los sensores de presión mediante un comando software.



Figura .- escáner ZOC33CON 64 entradas de presión, de la compañía scanivalve.

Se utilizan tubitos flexibles para llevar los puntos de medida al escaner de presión situado dentro del álabe. La localización de los escaners es crítica para obtener buenos resultados. Deben situarse lo más próximo posible al buje del aerogenerador para minimizar la fuerza centrífuga sobre ellos al rotar. Cerca del buje deben posicionarse de modo que los diafragmas de los sensores de presión en el escaner estén paralelos a la dirección de rotación en línea con el eje de perfil aerodinámico (ver figura inferior), y de esa manera los diafragmas no se vean influenciados por la fuerza centrífuga. La gravedad también debe tenerse en cuenta al corregir datos. Las fuerzas gravitacionales se suman a las medidas según el álabe asciende y se restan a la medida cuando desciende.

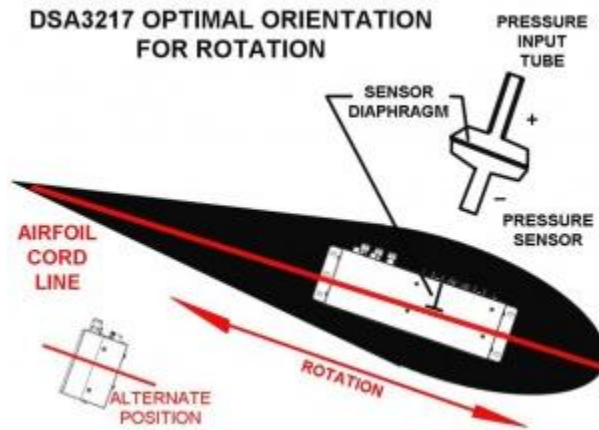


Figura .- Eje de perfil.

### SENSORES DE PRESION.

La presión (P), en particular, se define como la fuerza por unidad de área (F/A) que actúa perpendicularmente a la superficie del fluido.

$$P = F / A$$

Donde:

P = Presión

F= Fuerza

A = Área o Superficie.

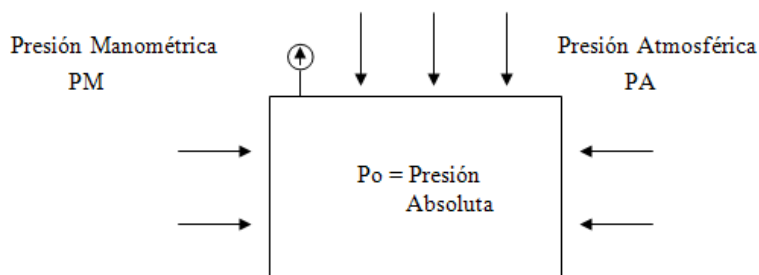
Unidades: kgr/cm<sup>2</sup>, lb/pulg<sup>2</sup>, atmosfera, columna de mercurio, columna de agua.

La ley de pascal establece que toda presión aplicada a un fluido confinado se transmite sin reducción a todos los puntos del mismo y a las paredes del deposito que lo contiene, en otras palabras, si la presión en un punto se incrementa o disminuye en una cantidad  $\Delta p$ , en todos los demas puntos la presión varia en la misma cantidad.

|                    | Psi     | Pulgada c. de agua | Pulgada c. de Hg | Atmósfera                | kg/cm <sup>2</sup>       | cm c. de a. | mm c. de Hg | Bar              | Pa                       |
|--------------------|---------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|------------------|--------------------------|
| Psi                | 1       | 27,68              | 2,036            | 0,0680                   | 0,0703                   | 70,31       | 51,72       | 0,0689           | 6894,76                  |
| Pulgada c. de a.   | 0,0361  | 1                  | 0,0735           | 0,0024                   | 0,0025                   | 2,540       | 1,868       | 0,0024           | 249                      |
| Pulgada c. de Hg   | 0,4912  | 13,6               | 1                | 0,0334                   | 0,0345                   | 34,53       | 25,4        | 0,0338           | 3386,39                  |
| Atmósfera          | 14,7    | 406,79             | 29,92            | 1                        | 1,033                    | 1033        | 760         | 1,0132           | 1,0133 × 10 <sup>5</sup> |
| kg/cm <sup>2</sup> | 14,22   | 393,7              | 28,96            | 0,9678                   | 1                        | 1000        | 735,6       | 0,98             | 98066                    |
| cm c. de a.        | 0,0142  | 0,3937             | 0,0289           | 0,00096                  | 0,0010                   | 1           | 0,7355      | 0,0009           | 98,06                    |
| mm c. de Hg        | 0,0193  | 0,5353             | 0,0393           | 0,0013                   | 0,0013                   | 1,359       | 1           | 0,00133          | 133,322                  |
| Bar                | 14,5    | 401                | 29,53            | 0,987                    | 1,02                     | 1020        | 750         | 1                | 10 <sup>5</sup>          |
| Pa                 | 0,00014 | 0,0040             | 0,00029          | 0,987 × 10 <sup>-5</sup> | 0,102 × 10 <sup>-4</sup> | 0,01        | 0,0075      | 10 <sup>-5</sup> | 1                        |

TABLA DE PRESIONES

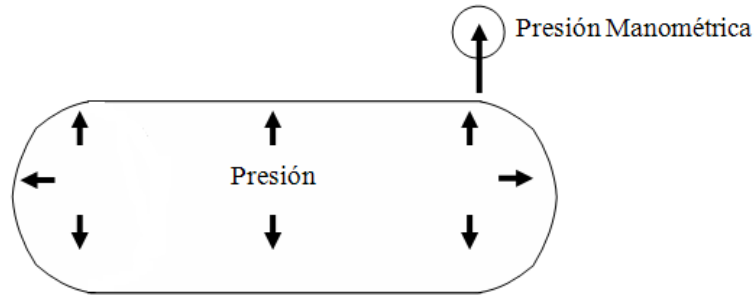
El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m<sup>2</sup>), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo de masa 1 kg, le comunica una aceleración de 1m/s<sup>2</sup> Como el pascal es una unidad muy pequeña, se emplean también el kilopascal (1kPa = 10<sup>-2</sup> bar), el megapascal (1 MPa = 10 bar) y el gigapascal (1 GPa = 10.000 bar). En la industria se utiliza también el bar (1 bar = 10<sup>-5</sup> Pa = 1,02 kg/cm<sup>2</sup>) y el kg/cm<sup>2</sup>, si bien esta última unidad, a pesar de su uso todavía muy extendido, se emplea cada vez con menos frecuencia.



$$P_o = P_{Abs.} = P_{Man} + P_{Atm}$$

## **PRESION MANOMETRICA**

Todo aquel recipiente, que tenga confinado un gas, debe calibrarse adecuadamente para su óptimo desempeño. En el interior de estos dispositivos existe una presión originada por el gas contenido, a esta presión se le llama presión manométrica, y es la presión medible, sin tomar en cuenta la presión atmosférica.



## **PRESION ABSOLUTA**

Es el que se obtiene de la suma, de la presión manométrica y atmosférica.

## **PRESION ATMOSFERICA (BAROMETRICA)**

Es la presión originada por las masas de gas, que rodean a la tierra. La presión atmosférica varia dependiendo de la altura sobre el nivel del mar. A nivel del mar la presión atmosférica es mayor, al ascender la presión atmosférica disminuye.



## **PRESION RELATIVA**

Es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se realiza la medición.

## **PRESION DIFERENCIAL**

Es la diferencia entre 2 presiones.

## **VACIO**

Es la presión medida por debajo de la atmosférica, esta expresado en mm columna de mercurio, mm de columna de agua o pulgadas de columnas de agua. Las variaciones de las presiones atmosféricas influyen considerablemente en las lecturas de vacío.

## DEFINICION DE CAUDAL

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por una área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por una área dada en la unidad de tiempo. Las unidades que maneja son, litros/seg, mts<sup>3</sup>/seg, pies<sup>3</sup>/seg, gals/hora, etc.

La formula de caudal es:

$$Q = v/t$$

Donde:

Q: es el caudal

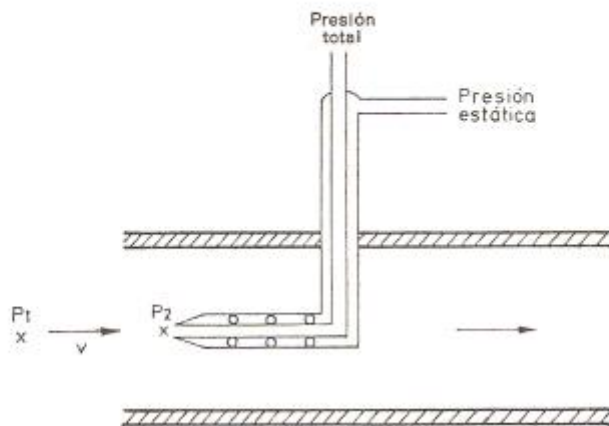
v: es el volumen

t: es unidad de tiempo.

## TUBOS PITOT

El tubo "Pitot" es el elemento primario de un instrumento de flujo. El tubo tiene dos conexiones roscadas de presión que entran a la línea: una, la conexión de impacto queda directamente frente al lado ascendente; la otra abertura, la conexión estática, abre en ángulo recto a la dirección de flujo. La presión en la conexión de impacto es la suma de la "altura dinámica" y de la presión estática en la línea. La Conexión estática solamente mide la presión estática. Las dos conexiones están conecta- das a un medidor diferencial que mide la "altura dinámica" o "carga de velocidad", la cual esta directamente relacionada al regimen de flujo.

$P_2$  = presión de impacto o total absoluta en el punto donde el líquido anula su velocidad;  
 $P_1$  = presión estática absoluta en el fluido;  
 $\rho$  = densidad;  
 $V_1$  = velocidad del fluido en el eje del impacto.



## USO DEL TUBO "PITOT"

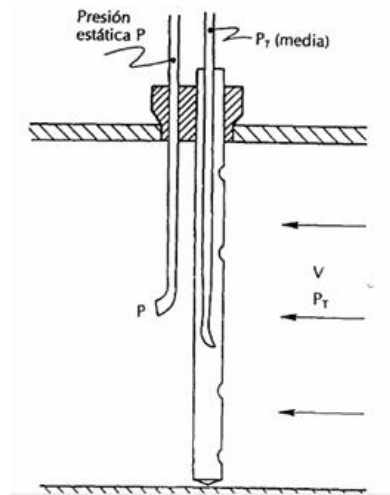
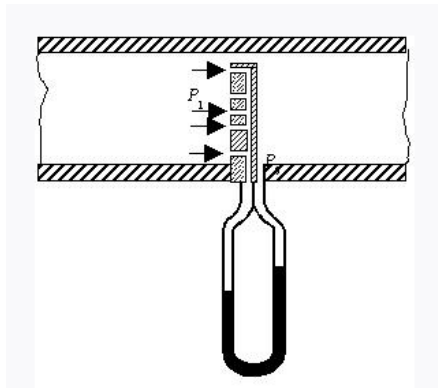
El tubo "Pitot" tiene una aplicación algo limitada en líneas de los tamaños mayores, en donde el costo de instalación de una boquilla de flujo que se haría necesaria debido a la alta velocidad sería exorbitante. También se usa para altas velocidades en donde la presión estática es baja, pues el tubo "Pitot" no introduce ninguna pérdida de presión. Otra ventaja es que puede instalarse fácilmente en donde la línea ya está en operación y que sería imposible cortar la línea para instalar una placa de orificio o boquilla de flujo.

Las entradas del tubo "Pitot" son bastante pequeñas y se tapan fácilmente si el tubo se usa en gases o líquidos sucios. Su instalación no se recomienda excepto bajo condiciones de flujo ideales.

## TUBO ANNUBAR

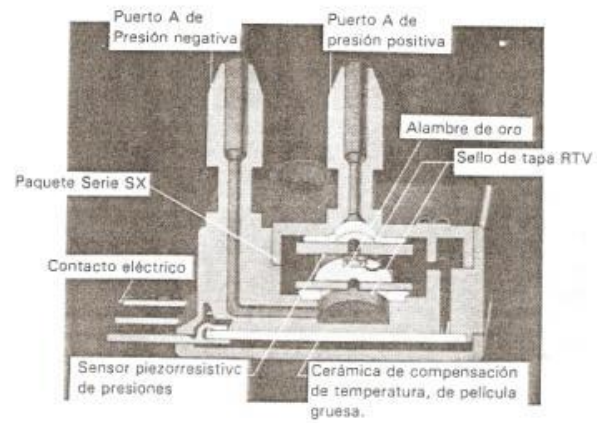
El tubo Annubar es otra variante del tubo de Pitot, el cual posee varios agujeros para la toma de la presión de estancamiento, ubicados en diversos puntos a lo largo de la sección transversal del tubo. Todas estas tomas se unen en el interior del instrumento, de esta manera la presión de estancamiento medida será un promedio de la presión correspondiente a diversas velocidades sobre el perfil de velocidades del fluido.

Este instrumento posee una mayor precisión que el tubo de Pitot simple del orden del 1 al 3%. Esto ya que la posición de las tomas de presión está mejor controlada y se obtiene automáticamente un promedio de la presión de estancamiento en unos puntos determinados en la construcción del instrumento.

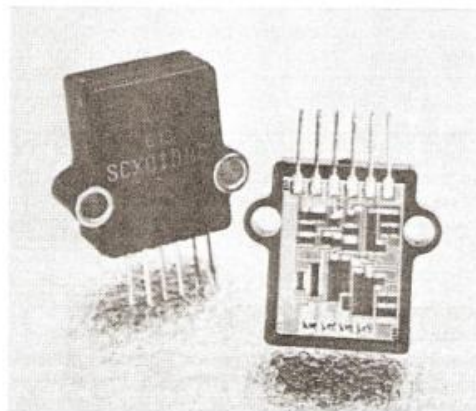


Sin embargo tiene la desventaja de no poder utilizarse para determinar el perfil de velocidades. La pérdida de carga que produce es pequeña y se emplean en la medida de pequeños y grandes caudales de líquidos y gases.

## SENSOR PIEZORESISTIVO



a)



b)

Sensor Piezoresistivo de presión de circuito integrado.  
a) Esquema; b) ensamble típico.

## Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX5700 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

### Features

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element

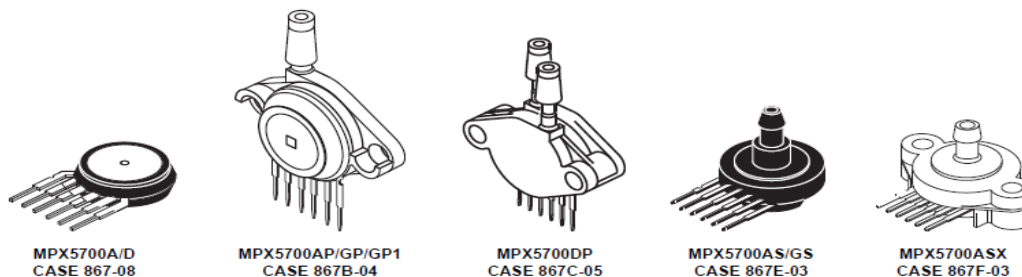
### MPX5700 Series

0 to 700 kPa (0 to 101.5 psi)  
15 to 700 kPa (2.18 to 101.5 psi)  
0.2 to 4.7 V Output

| ORDERING INFORMATION             |          |            |        |      |               |              |          |             |
|----------------------------------|----------|------------|--------|------|---------------|--------------|----------|-------------|
| Device Name                      | Case No. | # of Ports |        |      | Pressure Type |              |          | Device Name |
|                                  |          | None       | Single | Dual | Gauge         | Differential | Absolute |             |
| Unibody Package (MPX5700 Series) |          |            |        |      |               |              |          |             |
| MPX5700A                         | 867      | •          |        |      |               |              | •        | MPX5700A    |
| MPX5700AP                        | 867B     |            | •      |      |               |              | •        | MPX5700AP   |
| MPX5700AS                        | 867E     |            | •      |      |               |              | •        | MPX5700A    |
| MPX5700ASX                       | 867F     |            | •      |      |               |              | •        | MPX5700A    |
| MPX5700D                         | 867      | •          |        |      |               | •            |          | MPX5700D    |
| MPX5700DP                        | 867C     |            |        | •    |               | •            |          | MPX5700DP   |
| MPX5700GP                        | 867B     |            | •      |      | •             |              |          | MPX5700GP   |
| MPX5700GP1 <sup>(1)</sup>        | 867B     |            | •      |      | •             |              |          | MPX5700GP   |
| MPX5700GS                        | 867E     |            | •      |      | •             |              |          | MPX5700D    |

1. MPX5700GP1 has 90 degree lead form.

### UNIBODY PACKAGES





## Pressure

### Operating Characteristics

**Table 1. Operating Characteristics** ( $V_S = 5.0$  Vdc,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted,  $P1 > P2$ . Decoupling circuit shown in required to meet electrical specifications.)

| Characteristic   | Symbol    | Min            | Typ      | Max            | Unit        |
|--|-----------|----------------|----------|----------------|-------------|
| Pressure Range <sup>(1)</sup><br>Gauge, Differential: MPX5700D<br>Absolute: MPX5700A           | $P_{OP}$  | 0<br>15        | —<br>—   | 700<br>700     | kPa         |
| Supply Voltage <sup>(2)</sup>  | $V_S$     | 4.75           | 5.0      | 5.25           | Vdc         |
| Supply Current   | $I_O$     | —              | 7.0      | 10             | mAdc        |
| Zero Pressure Offset <sup>(3)</sup><br>Gauge, Differential (0 to 85°C)<br>Absolute (0 to 85°C) | $V_{off}$ | 0.088<br>0.184 | 0.2<br>— | 0.313<br>0.409 | Vdc         |
| Full Scale Output <sup>(4)</sup><br>(0 to 85°C)  | $V_{FSO}$ | 4.587          | 4.7      | 4.813          | Vdc         |
| Full Scale Span <sup>(5)</sup><br>(0 to 85°C)  | $V_{FSS}$ | —              | 4.5      | —              | Vdc         |
| Accuracy <sup>(6)</sup><br>(0 to 85°C)   | —         | —              | —        | ±2.5           | % $V_{FSS}$ |
| Sensitivity  | $V/P$     | —              | 6.4      | —              | mV/kPa      |
| Response Time <sup>(7)</sup>   | $t_R$     | —              | 1.0      | —              | ms          |
| Output Source Current at Full Scale Output   | $I_{O+}$  | —              | 0.1      | —              | mAdc        |
| Warm-Up Time <sup>(8)</sup>  | —         | —              | 20       | —              | ms          |

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset ( $V_{off}$ ) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output ( $V_{FSO}$ ) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span ( $V_{FSS}$ ) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
  - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
  - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
  - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
  - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
  - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
  - Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of  $V_{FSS}$ , at 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the device to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.

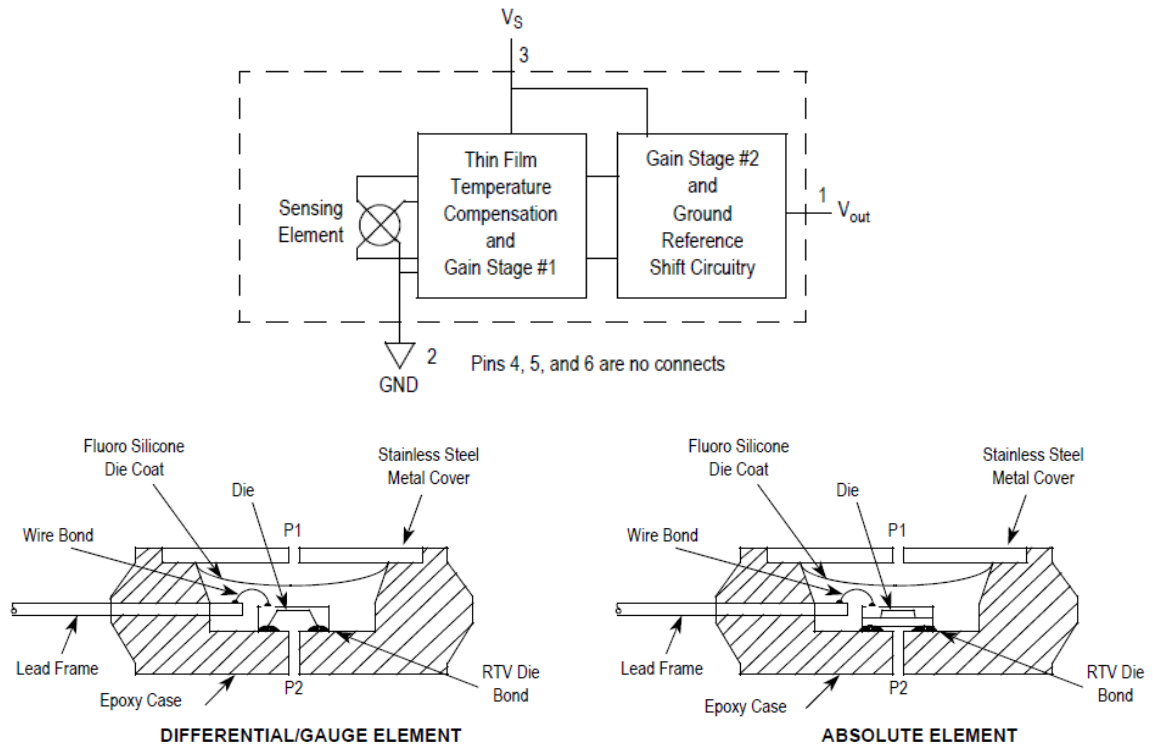
# Maximum Ratings

**Table 2. Maximum Ratings<sup>(1)</sup>**

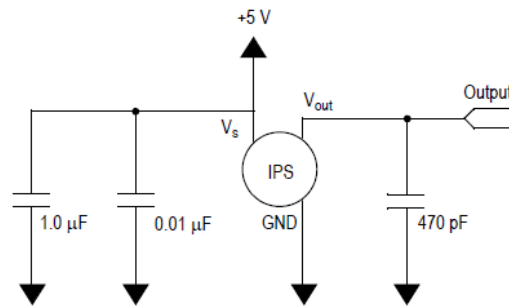
| Parametrics   | Symbol     | Value       | Unit |
|---|------------|-------------|------|
| Maximum Pressure <sup>(2)</sup> ( $P2 \leq 1$ Atmosphere) | $P1_{max}$ | 2800        | kPa  |
| Storage Temperature                                       | $T_{stg}$  | -40 to +125 | °C   |
| Operating Temperature                                     | $T_A$      | -40 to +125 | °C   |

1. Maximum Ratings apply to Case 867 only. Extended exposure at the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.
2. This sensor is designed for applications where P1 is always greater than, or equal to P2. P2 maximum is 500 kPa.

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.



**Figure 3. Cross-Sectional Diagrams (not to scale)**



**Figure 4. Recommended Power Supply Decoupling and Output Filtering (For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646)**