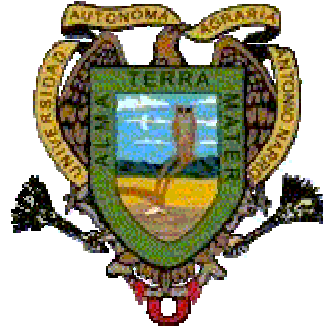


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Diseño de un medidor electrónico de
combustible para tractores agrícolas

Por:

ANGEL MENDOZA HERNÁNDEZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Agosto de 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño de un medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas

Por:

ANGEL MENDOZA HERNÁNDEZ

T E S I S

Que somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Presidente del Jurado

M.C. Héctor Uriel Serna Fernández

Sinodal

Sinodal

Ing. Francisco Javier Torres Recio

Ing. Juan Arredondo Valdez

Coordinador de la División de Ingeniería

M.C. Luis E. Ramírez Ramos

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Agosto de 2004

DEDICATORIAS

Con cariño y afecto para las personas que más quiero.

A MIS PADRES:

Sra. Juana Hernández Zárate.

Sr. Pedro Mendoza Sánchez.

A quienes les debo la vida, quienes me depositaron su confianza, su fé y todas sus esperanzas dándome todo a cambio de nada, por todo el amor que me han brindado en todo momento, por sus preocupaciones, y cuidados que siempre me han dado y por darme la herencia más valiosa en esta vida.

Una profesión.

A mi Mamá

Por todo el apoyo que me has brindado, por tu esfuerzo y sacrificio que has hecho para sacarnos adelante, y por ser el motivo principal de mi superación, gracias madre nunca podré pagarte todo lo que haz hecho por mí, quiero que sepas que este triunfo mío también es tuyo.

A mi Papá

Gracias padre por el apoyo que me brindaste y por enseñarme a ser un hombre de trabajo, gracias porque nunca dejaste de trabajar para sacarnos adelante, me siento orgulloso de tí pues tu esfuerzo lo hice valer mucho.

A mis hermanos

Eradio, Evencio, Alberto, Manuel. Hermanos gracias por el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento.

Dominga, Cresenciana, Sonia, Teresa, María, Carmela, Tranquilina, Hermanas, gracias por su apoyo y por su confianza que depositaron en mí, de verdad me siento orgulloso de tenerlas a ustedes, las quiero mucho no lo olviden.

A mis sobrinos

Julio, Pavel, Itzel, Carlos, Marisol, Fredy, Gemma. Gracias por todas las alegrías que hemos pasado juntos y por la confianza que siempre hemos tenido.

A Edith de la Cruz González

Te dedico mi trabajo con amor y cariño por todas las alegrías, tristezas, desvelos, que hemos pasado juntos, por ser tolerante, por que me has soportado, apoyado y respetado como soy y por ocupar una parte muy importante en mi vida, sinceramente te deseo que tengas éxito en el desarrollo de tu vida profesional, gracias por confiar en mí y por tomar los consejos que te dí algún día, me siento orgulloso de ti, por que no te diste por vencida y estas luchando para obtener lo que algún día te propusiste al salir de tu casa.

Recuerda chaparrita que el logro mío también es tuyo. Te quiero Mucho.

AGRADECIMIENTOS

Te agradezco a ti, **Dios** padre todopoderoso, por haberme dado la dicha de prestarme vida y de concluir una meta mas en mi formación profesional y por que has iluminado continuamente mi camino.

A mi **ALMA MATER** y en especial a su **Departamento de Maquinaria Agrícola** por haberme dado la oportunidad de fomentar mis conocimientos para formarme profesionalmente y es por esto que donde quiera que vaya pondré muy en alto el nombre de mi ALMA-MATER para sentirme muy orgulloso de ser un ***buitre de la Antonio Narro.***

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández.** A esta gran persona le agradezco el apoyo incondicional y las facilidades brindadas así como su confianza depositada en el trabajo de Tesis, por ser un ejemplo a seguir profesionalmente y por permitirme conocer al maestro, a la persona y al amigo. Gracias por todo “Que dios lo bendiga”.

Al **Ing. Francisco Javier Torres Recio** por su amistad y apoyo incondicional que me proporciono para llevar acabo este proyecto.

A sí también un agradecimiento sincero a los Ingenieros del Departamento de Maquinaria Agrícola en especial al **Dr. Aguinaldo García Santos, Dr. Martín Cadena Zapata, M.C Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Jesús Valenzuela García, M.C. Tomás Gaytán Muñiz, Ing. Juan Arredondo Valdez, Ing. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Ing. Ramiro Luna Montoya, Ing. Sergio Bernardo Martínez Medellín, Ing. Jorge Flores Berrueto, Ing. José Juan de Valle Treviño, Ing. Rosendo González Garza** y a todos aquellos que participaron con la aportación de sus conocimientos en el desarrollo de mi profesión.

A mis amigos de generación **Miguel Ángel Márquez, Octavio Cárdenas, Eddy Balán**, gracias por compartir juntos alegrías, tristezas, desvelos, pero sobre todo por la amistad que hemos tenido durante todo este tiempo.

A todos mis compañeros de la generación XCVI, de la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, **Guadalupe Segundo, Nadia Escamilla, Juan J. Vázquez, Francisco J. Rodríguez, Víctor H. Zetina, Iván de J. Méndez, José M. Gallegos, Miguel A. Chan, Kennedy Mendoza, Orlando Suárez, Miguel A. Ramírez, José Alfredo Sánchez, Carlos Augusto, Juan C. Gómez, Héctor Espejel, Héctor R. Anacleto**. Por la amistad que me brindaron y su grato compañerismo gracias.

Al personal que labora en el Taller de Maquinaria: **Mario Amaro, Ascacio Urrea, Yony**, por haberme brindado su amistad y apoyo en la realización de las pruebas de tesis. Gracias.

Agradezco sinceramente a todas aquellas personas, (amigos, compañeros, conocidos), que de una u otra forma me estimularon y me brindaron su apoyo en el trayecto de mi carrera.

Al **Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT)**, por las facilidades otorgadas, y por el apoyo económico otorgado para la realización de este proyecto de Tesis.

“ A todos Ustedes Gracias ”

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
Agradecimientos.....	iii
Dedicatorias	v
Índice de figuras.....	x
Índice de cuadros	xi
RESUMEN	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades del consumo de combustible en tractores agrícolas.....	1
1.2 Antecedentes	3
1.2 Objetivos e hipótesis	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Problemática del combustible	9
2.2 Consumo específico de combustible.....	10
2.3 Consumo real de combustible.....	11
2.4 Sistema de combustible: Gasoil.....	12
2.4.1 Principales componentes del sistema de combustible para gasoil.....	12
2.4.2 Funcionamiento del sistema de combustible	13
2.4.3 Tuberías del sistema de combustible.....	13
2.4.4 Circulación del combustible	15
2.5 Medidas de caudal	17
2.6 Factores para la selección de flujómetros.....	18
2.6.1 Rango	19
2.6.2 Exactitud requerida	19
2.6.3 Pérdida de presión.....	19
2.6.4 Tipo de indicación	19
2.6.5 Tipo de fluido	20
2.6.6 Calibración	20
2.7 Sensores.....	21
2.7.1 Clasificación de sensores	21

2.7.2	Tipos de sensores.....	21
2.8	Transductores	23
2.8.1	Clasificación de transductores	23
2.8.2	Tipos de transductores	24
2.9	Galgas extensométricas.....	27
2.9.1	Configuración de las galgas extensométricas.....	31
2.10	Puente de Wheatstone.....	32
2.11	Impacto de las labores agrícolas sobre el gasto de energía	35
2.11.1	Labranza	36
2.11.2	Cambio alto y bajo régimen.....	36
2.11.3	Mantenimiento del tractor.....	37
2.11.4	Neumáticos	37
2.11.5	Lastrado	38
2.11.6	Tipos de combustible	39
2.11.7	Manual del tractor.....	40
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1	Materiales	41
3.2	Metodología	42
3.2.1	Comprender conceptos	45
3.2.2	Evaluar conceptos.....	45
3.2.3	Establecer sistemas	45
3.2.4	Comprender sistemas	45
3.2.5	Planear	45
3.2.6	Generar información de diseño	46
3.2.7	Revisión del diseño	46
3.2.8	Prototipo final	46
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	47
4.1	Diseño de la propuesta	47
4.1.2	Conectores reductores roscados en la entrada.....	48
4.1.3	Tubería ampliada	48
4.1.4	Placa circular.....	49

4.1.5 Puntos de apoyo de la placa	49
4.1.6 Protección de placa	50
4.1.7 Soporte de placa.....	50
<u>4.1.2</u> Conectores reductores roscados en la salida	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
VI. LITERATURA CITADA	53
VII. ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1.1... Consumo de combustible para cargas parciales y totales.....	4
Cuadro 2.1... Medidores volumétricos.....	17
Cuadro 2.2... Medidores másicos.....	17
Cuadro 2.3... Principales sensores que existen en el mercado.....	22
Cuadro 2.4... Transductores activos.....	24
Cuadro 2.5... Transductores pasivos-resistivos.....	25
Cuadro 2.6... Transductores pasivos-capacitivos.....	25
Cuadro 2.7... Transductores pasivos-semiconductores.....	26
Cuadro 2.8... Transductores pasivos-inductivos.....	26
Cuadro 2.8....Otros transductores pasivos.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 2.1	Componentes del sistema de combustible.....	13
Figura 2.2	Tuberías del sistema de combustible.....	14
Figura 2.3	Circulación del combustible.....	16
Figura 2.4	Transductor activo.....	23
Figura 2.5	Transductor pasivo.....	23
Figura 2.6	Configuración típica de una galga extensométrica.....	32
Figura 2.7	Puente de Wheatstone.....	32
Figura 2.8	Circuito del puente de Wheatstone.....	35
Figura 3.1	Colocación del medidor de combustible.....	43
Figura 3.2	Medición de la presión en la línea de combustible.....	43
Figura 3.3	Manómetro Servicetech Caterpillar Tools	44
Figura 3.4	Diagrama del proceso de diseño del medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas.....	44
Figura 4.1	Componentes del dispositivo medidor.....	47
Figura 4.2	Conectores reductores roscados.....	48
Figura 4.3	Tubería ampliada.....	48
Figura 4.4	Placa circular.....	49
Figura 4.5	Apoyo de la placa.....	49
Figura 4.6	Protección de la placa.....	50
Figura 4.7	Soporte de la placa.....	50
Figura 4.8	Conectores reductores roscados.....	51

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades del consumo de combustible en tractores agrícolas

A la fecha, poco se ha aportado sobre los diferentes requerimientos funcionales para la movilización de la maquinaria sobre el campo, así como para conocer las necesidades específicas de cada cultivo. Generalmente, la acción de los implementos se evalúan al considerar como parámetro indicador, la producción de los cultivos y no con base en el conocimiento científico del efecto propio del implemento sobre las propiedades físicas del suelo (Sheafer *et. al*, 1992).

En estudios recientes se menciona que el consumo de combustible correspondiente a la agricultura alcanza el 30-45 % del total (Ortiz-Cañavate, 1990). No obstante los avances técnicos logrados con el fin de conocer la eficiencia de la maquinaria agrícola, y sus elevadas demandas energéticas hacen necesario planificar, organizar, y gestionar su empleo con precisión.

Que los tractores sean “ahorrativos” o de bajo consumo no es una consecuencia exclusiva del diseño, el diseño también dependerá de la forma en que sea utilizado. En general un mismo tractor es empleado para cumplir con labores tan diversas como una labranza, una labor secundaria o de transporte. Cada una presenta demandas diferentes de par motor y/o velocidad de avance que, a su vez implica consumos de combustible distintos; es posible optimizar el consumo con un adecuado empleo de la caja de velocidades y selección del régimen de funcionamiento del motor (Márquez, 1990).

Aplicar este criterio al uso de tractor, contribuye a mejorar sensiblemente la eficiencia en el consumo de energía en el sector agrícola.

En México alrededor de 11 millones de hectáreas se trabajan con maquinaria agrícola, las cuales presentan un uso excesivo dado que son usadas en diferentes labores, por lo cual esto implica mayor consumo de energía por hectárea, que se ve reflejada en el consumo de combustible del tractor y por ende en su elevado costo de producción lo cual hace que la rentabilidad de los cultivos sea nula (Pineda *et.al*,1996).

Lo anterior implicará la necesidad de realizar investigaciones de los gastos de energía para realizar una mejor planeación, organización y uso de los sistemas de mecanización.

Para proponer mejoras en los sistemas de mecanización se debe de identificar y cuantificar la problemática por medio de un análisis de la eficiencia, gasto de energía y costo de cada una de las labores que se realizan en el sistema de producción.

Sin embargo cabe mencionar que el avance conseguido en la mecanización agrícola, sobre todo después de la segunda guerra mundial, ha sido espectacular, prácticamente el 80 % de los trabajos agrícolas se realizan mediante medios mecánicos en los países más avanzados y todo esto depende de la energía proporcionada por el petróleo.

He aquí la importancia de cuantificar esa energía requerida, la cual es un proceso crítico del proceso del desarrollo.

Por otra parte el desarrollo es afectado por los severos problemas a los que se enfrentan muchos países en desarrollo que dependen fuertemente de la importación del petróleo. Con elevados

precios en el mercado del petróleo, los gobiernos enfrentan las necesidades de usar cada vez sumas más grandes para importar combustibles, recursos que pueden ser utilizados para otras actividades de desarrollo.

1.2 Antecedentes

Los sistemas de instrumentación para determinar las necesidades energéticas y eficiencias en el sistema tractor-implemento han sido desarrollados por los fabricantes de la maquinaria agrícola, las universidades y agencias gubernamentales. Estos sistemas son generalmente complejos, y caros los cuales incluyen un microordenador y parámetros de energía para un tractor.

Weber *et. al*, (1968), de la Universidad de Illinois ha encontrado una estrecha correlación entre el consumo de combustible promedio de tractores en Illinois y el consumo de combustible dado por la prueba del par motor a la mitad del 85% (línea número 3 de la sección de potencia variable y consumo de combustible de las pruebas Nebraska) cuando se incluye la operación de un año completo.

En el Cuadro 1.1 se estima el consumo de combustible tanto para cargas totales como parciales. El cuadro se obtuvo a partir de los datos del rendimiento de 112 tractores probados en Nebraska desde 1968. Se partió de consumos de combustible 15 % por arriba en las pruebas determinadas, con el fin de estimar de manera mas real el consumo de combustible de los tractores en campo en buenas condiciones. Hubo algunas diferencias notables en los rendimientos del combustible entre los tractores probados en el rango de 2/3

(Cuadro 1.1) se desarrolló con una desviación estándar de $\pm 1\%$ de los promedios.

Cuadro 1.1 Consumo de combustible para cargas parciales y totales

(Weber et. al, 1968).

% máximo de la * carga de PBT Gas	*	*
	Gasolina	Diesel
100 rango 2/3 1.55 (7.88)	1.89 (9.57)	2.54 (12.87)
promedio	2.0- 1.8 (10.2-9.0)	2.8-2.3(14.2-11.5)
1.6 (8.4-7.4)		1.7-
80 rango 2/3 1.46 (7.435)	1.70 (8.65)	2.46 (12.48)
promedio	1.8-1.6 (9.2-8.2)	2.6-2.3(13.4-11.7)
1.4 (8.3-7.0)		1.6-
60 rango 2/3 1.28 (6.52)	1.42 (7.22)	2.18 (11.04)
promedio	1.5-1.3 (7.8-6.6)	2.4-2.0 (12.0-10.1)
1.3-1.2(6.9-6.0)		
40 rango 2/3 1.02(5.17)	1.11(5.61)	1.72(8.74)

promedio	1.3-0.9 (6.3-4.6)	1.9-1.5 (9.8-7.7)	1.1-
0.9 (5.6-4.8)			
20 rango 2/3	0.72 (3.65)		1.19 (6.04)
0.72 (3.65)			
promedio	0.8-0.6 (4.3-2.9)	1.3-1.0 (6.7-5.3)	0.9-
0.7 (4.3-3.7)			

* Rendimiento de combustible, $\frac{Kw - h}{l} \left(\frac{hp - h}{gal} \right)$

Hadas y Wolf (1983), llevaron a cabo un trabajo para determinar la relación funcional entre la influencia de los implementos de labranza y los requerimientos energéticos para la preparación de suelos, indicaron haber comprobado la existencia de una interdependencia entre el grado de fragmentación del suelo y la cantidad de energía aplicada al suelo, o sea que “existe una relación directa entre la cantidad de energía aplicada al sistema estructural del suelo y el grado de estructuración después de su aplicación”.

Al respecto, Martínez y Pissani (1995), mencionaron que la intensidad de la labranza está directamente relacionada con el consumo energético y que ésta es un buen indicador de la eficiencia de trabajo de los implementos, ya que la magnitud de la energía que se maneja en la relación suelo-implemento, depende de la profundidad promedio de labranza, anchura de corte del implemento, velocidad de desplazamiento y uniformidad del laboreo en sí, agrupados en el término “intensidad de labranza”.

Morton *et. al.*, (1981), desarrolló un sistema simplificado que media la energía del tractor, además de la frecuencia del motor, tiempo total y consumo de combustible. La salida de potencia fue determinada a partir del esfuerzo de torsión del motor y relacionado este con el consumo de combustible neto (el total menos el combustible sin carga) por revolución. La exactitud del sistema completo era de 67%. Dividir los requerimiento de energía en la barra de tiro, en la toma de fuerza (PTO) o en los componentes hidráulicos no eran posible en este sistema. Sin embargo, este método demostró que un sistema barato puede estimar los requerimientos de energía de los implementos con un alto porcentaje de carga al PTO del implemento.

El método se puede utilizar independientemente del tipo de implemento que es probado y no requiere ninguna modificación o instrumentación en el implemento.

La energía estimada del PTO se determinó para cosechar forraje, cacahuates y algodón. Se instaló un transductor de flujo de volumen Fluidyne modelo 214-140, entre el filtro de diesel y la bomba de inyección en dos tractores de doble tracción, para estas pruebas se utilizó una cosechadora internacional (IH) modelo 884 (54 kW PTO máximo) y un Ford modelo 6610 (51 kW PTO máximo).

El combustible no consumido de los inyectores fue retornado a través de una bobina que pasaba a un sistema de enfriamiento antes de regresar al tanque de combustible. Así, todo el combustible que pasó a través de los inyectores fue consumido por el motor del tractor. El consumo de combustible en (cm^3), la temperatura del combustible ($^{\circ}\text{C}$) y el tiempo total fueron mostrados sobre la unidad digital Fluidyne modelo 124D indicador/ordenador. Los datos se imprimieron al final de cada prueba en una impresora digital Anadex modelo DP-500. Ambas unidades fueron montadas sobre la defensa y la llanta del tractor en una caja protectora de metal accesible para el operador del tractor.

Summer *et. al*, (1986), utilizó datos de un dinamómetro de prueba y ecuaciones polinomiales de segundo grado desarrolladas para determinar la salida de energía de PTO del motor y el consumo de combustible de dos tractores. Para cada velocidad del motor utilizó una ecuación particular, una ecuación polinómica de regresión lineal de segundo grado fue obtenida para predecir la salida de energía de PTO y el consumo de combustible en la prueba del dinamómetro. Los coeficientes de correlación se encontraban sobre 0.99 para todas las ecuaciones.

Kirste *et. al*, (1985), diseñaron un sistema de medición en el cual la velocidad del motor del extremo del esfuerzo de torsión fue mostrada como punto luminoso en una pantalla en el panel del tractor. La pantalla tiene una serie de curvas que demuestran la dependencia de un parámetro (consumo de combustible), y de dos parámetros independientes (rpm y esfuerzo de torsión).

La temperatura del gas de escape fue medida con un termopar insertado cerca del múltiple de escape, y fue utilizada como indicador indirecto del esfuerzo de torsión. Este método fue elegido como el más apropiado para el dispositivo propuesto en comparación con otros dos métodos considerados en su trabajo, la medida directa de el consumo de combustible y la posición del tanque de combustible.

Marshall *et. al*, (1982), desarrolló un sistema de adquisición de datos basado en un microprocesador para determinar: el índice de consumo de combustible, el deslizamiento de cada uno de las cuatro ruedas, la velocidad de avance, y la temperaturas del combustible, del gas y del aceite. El sistema era capaz de mostrar una variedad de valores calculados al instante así como almacenar todos estos datos medidos en un cassette magnético.

Leviticus *et. al*, (1983), determinó a través de las pruebas del tractor en Nebraska que el consumo específico de combustible (c.e.c.) aumenta más del 30% con el aumento del esfuerzo de torsión del motor, con respecto a la mitad de la carga.

Al mismo tiempo mencionó que los tractores trabajan en la media carga o menos en muchas operaciones de campo debido a las imperfecciones que se presentan y a las condiciones del suelo.

Smith (1983), determinó en una parcela demostrativa que un arado que funciona a 22 cm de profundidad utiliza cerca de tres veces más combustible por unidad de superficie trabajada, con respecto a uno que trabaja a 9 cm de profundidad. El observó que los cambios pequeños en profundidad de la labranza y velocidad podían afectar perceptiblemente los requerimientos de combustible.

Bell y Willcocks (1982), señalan que se puede lograr ahorros sustanciales en el consumo de combustible en operaciones de campo que pueden ser ganadas tan solo por un buen manejo y organización.

Mencionan que las labores de preparación de suelos son los que más demandan energía.

Por otro lado la FAO (2003), menciona que en la velocidad del tractor hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto de la energía necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así en los costos operativos. Por esta razón el aumento de la velocidad no es la manera adecuada para aumentar el rendimiento de una operación de labranza; con el doble de velocidad (8 km/h en vez de 4 km/h) se duplica el rendimiento pero necesita cuatro veces más de energía y combustible.

1.3 Objetivos e Hipótesis

Objetivo general:

- Plantear una propuesta de diseño de un medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas.

Objetivos particulares:

- Definir la metodología a seguir para obtener un prototipo de un medidor de combustible para tractores agrícolas.
- Obtener un prototipo final del diseño.

Hipótesis

Es posible realizar el diseño de un medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas, que puede ser utilizado en las pruebas y evaluaciones de maquinaria agrícola.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Problemática del combustible

El constante, y a veces acelerado encarecimiento del petróleo y sus derivados, en este caso el diesel, gasolina, aceites lubricantes para motor, transmisiones, fluidos hidráulicos, grasas, etc., obligan a mantener un cuidadoso control y registro de costos por estos conceptos. El combustible más común para tractores agrícolas, cosechadores, motores estacionarios, vehículos de carga y transporte, etc., es actualmente el diesel. El consumo de motores diesel, en litros por hora, puede ser estimado mediante el uso de un consumo específico de combustible.

Murillo (1985), menciona que los costos de combustibles y lubricantes, generalmente representan el 20 0 30 % de los costos totales de la máquina, este costo permanece casi constante año con año.

El consumo de combustible de un motor de combustión interna varía con la potencia y la carga del motor. Un motor de mayor potencia tendría un mayor consumo total, que un motor de menor potencia.

El consumo también se calcula en función de la carga del motor, puesto que el consumo horario crece con el aumento de la carga, ello dificulta la adopción de un valor medio aceptable para costos estimativos, ya que, en tractores

principalmente, el motor funciona a un régimen de carga variable: es alta, la carga en el barbecho, por ejemplo pero puede ser bastante baja en otras labores.

2.2 Consumo específico de combustible

Según Murillo (1985), el consumo específico se puede entender como la masa de combustible consumida por unidad de trabajo. Se mide en g/kw-h (gramos consumidos para proporcionar un kilovatio durante una hora).

Así:

$$c.e.c = 248 \frac{\text{gramos}}{\text{kilowatt} - \text{hora}}$$

donde c.e.c. es el consumo específico de combustible, expresado en unidades de masa del mismo por trabajo efectuado. Esta cantidad será, obviamente mucho más útil si se expresa en términos de volumen, dado que los combustibles se venden en esa forma, usualmente. La gravedad específica del diesel tiene, generalmente, un valor de 0.850 a 0.860. En consecuencia, el litro de diesel tendrá una masa de 850 a 860 gramos, según el tipo de diesel. El consumo específico de combustible puede entonces ser expresado como:

$$\begin{aligned} c.e.c &= 248 \frac{\text{gramos}}{\text{kilowatt} - \text{hora}} \times \frac{1 \text{litro}}{860 \text{gramos}} \\ &= 0.248 \frac{\text{litros}}{\text{kilowatt} - \text{hora}} \end{aligned}$$

El consumo real del motor podría variar , como puede verse, con la potencia desarrollada. Un motor de 100 kilowatts de potencia máxima, por ejemplo, consumirá 28.8 litros por hora de operación si se opera a potencia máxima, pero si se opera al 80 % de su potencia máxima, el consumo será de 23.04 litros por hora.

Los motores de los equipos agrícolas, exceptuando los motores estacionarios, trabajan a diferentes regímenes de potencia durante el ciclo o temporada agrícola. La eficiencia de utilización del equipo será determinante en el promedio de potencia desarrollada. Todos los tractores, cualquiera que sea su tamaño, se pueden comparar entre sí atendiendo a la cantidad de combustible que necesitan para trabajar una hectárea: si el trabajo que tienen que realizar es el mismo. El más eficiente será el que menos combustible consuma.

2.3 Consumo real de combustible

La combustión más eficiente sólo tiene lugar en presencia de la cantidad óptima de aire. El aprovechamiento de la energía contenida en el combustible depende de la eficiencia del gas carbónico y vapor de agua. Eso tiene lugar a través de una reacción química que desprende calor en cada explosión del motor y eleva la temperatura de los gases confinados en las cámaras de combustión, originando allí el importante aumento de presión que desplaza el pistón y su biela para producir el movimiento de rotación del cigüeñal.

Por tal razón, la proporción de combustible y comburente (oxígeno) presentes en cada explosión es el factor más importante que rige el funcionamiento de los motores diesel y determina su eficiencia.

El combustible no presenta mayores problemas; su dosificación, impulsión e ingreso a las cámaras de combustión son realizadas por el sistema de inyección, mecanismo cuya precisión siempre fue el alma del ciclo diesel y por eso es mantenido en óptimas condiciones de funcionamiento.

Pero, la disponibilidad de comburente al momento de cada explosión presenta limitaciones, si no se dispone de la cantidad necesaria de oxígeno, el combustible es mal aprovechado y el consumo específico aumenta significativamente (<http://www.fao.org/sd/spdirec/egre0058.htm>).

2.4 Sistema de combustible : Gasoil

Para John Deere (1968), la función primordial del sistema de combustible para gasoil consiste en inyectar a gran presión, pulverizándola finamente, una cantidad determinada de combustible en cada cilindro del motor, en el instante preciso.

En el motor diesel la combustión se produce en el momento en que esta carga de combustible se mezcla con el aire caliente por la compresión. Por eso no se necesita ninguna chispa para inflamar la mezcla, como ocurre con el motor de gasolina.

2.4.1 Principales componentes del sistema de combustible para gasoil

Los principales componentes del sistema de combustible para gasoil, son los siguientes:

- **Depósito de combustible:** Donde se almacena este.
- **La bomba de alimentación de combustible:** Que lo manda a la bomba de inyección a través de los filtros.
- **Los filtros de combustible:** Que dejan éste libre de impurezas.
- **La bomba de inyección:** Que dosifica el combustible y lo inyecta a presión en los cilindros en el momento preciso.
- **Los inyectores:** Que pulverizan finalmente el combustible al inyectarlo en el cilindro.

En la Figura 2.1 se han ordenado de un modo funcional todos estos componentes.

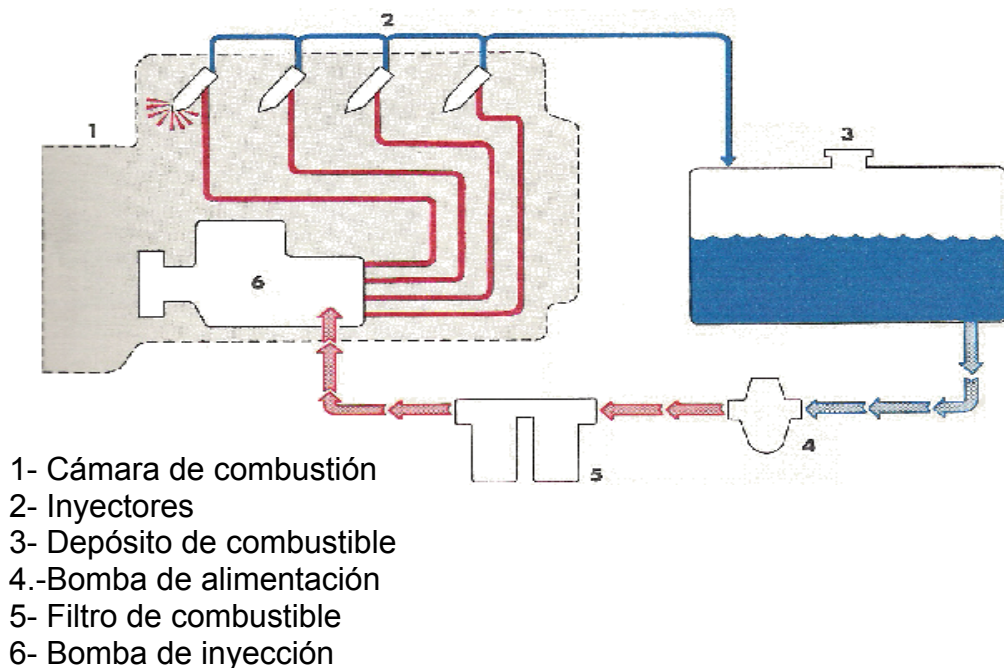


Figura 2.1 Componentes del sistema de combustible (John Deere, 1968).

2.4.2 Funcionamiento del sistema de combustible

- El combustible llega por la acción de la gravedad desde el depósito, a la bomba de alimentación.
- La bomba de alimentación impulsa el combustible a través de los filtros, donde se limpia.
- El combustible continúa hacia la bomba de inyección, que lo distribuye a gran presión a los inyectores.
- Los inyectores atomizan el combustible y lo pulverizan en la cámara de combustión de cada cilindro.

2.4.3 Tuberías del sistema de combustible

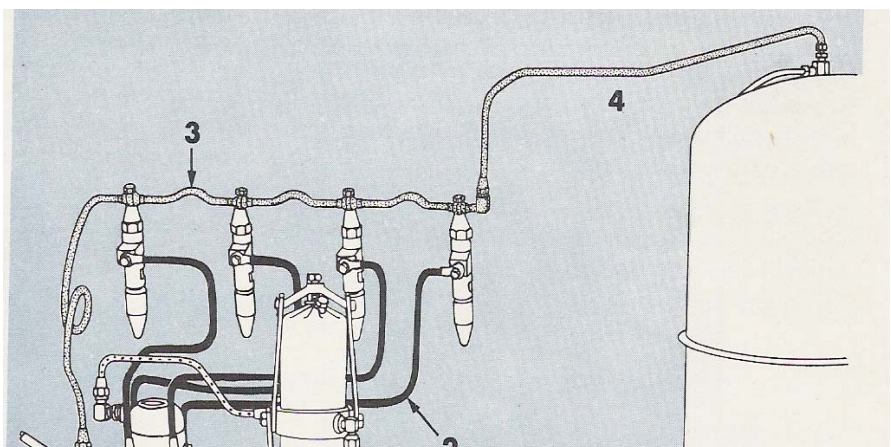
Los sistemas de combustible para gasoil emplean los tres tipos de tuberías siguientes:

1. **De alta presión.** Para unir la bomba de inyección con los inyectores.
2. **De presión media.** Para unir el depósito con la bomba de inyección.
3. **De baja presión.** Para el retorno de combustible sin presión, desde los inyectores y la bomba, al depósito.

Las tuberías de alta presión deben ser de la misma longitud, aproximadamente, para que no haya diferencias en el avance de la inyección en cada cilindro.

En la Figura 2.2 se puede apreciar la forma que se ha tenido que dar a las tuberías de inyección, por ser todas de la misma longitud.

- a - Muy alta presión
- b - Presión media
- c - Alimentación por gravedad



d - Sin presión

1 - Tubería de
alimentación de
combustible

2 - Tubería de inyección

3 - Retorno de los
inyectores

4 - Tubería de retorno
de combustible

Figura 2.2 Tuberías del sistema de combustible (John Deere, 1968).

2.4.4 Circulación del combustible

El combustible entra en la bomba de paletas después de atravesar los filtros impulsados por la bomba de alimentación.

El combustible a presión que sale de la bomba de paletas pasa en una cavidad en la que se separa el aire que podría llevar por centrifugación. El caudal y la presión del combustible a la salida de la bomba de paletas aumentan con las revoluciones de la bomba. El aire que puede entrar en el sistema se separa, juntamente con una pequeña cantidad de combustible, haciéndola salir por un orificio que lo reconduce a la boca de entrada de combustible.

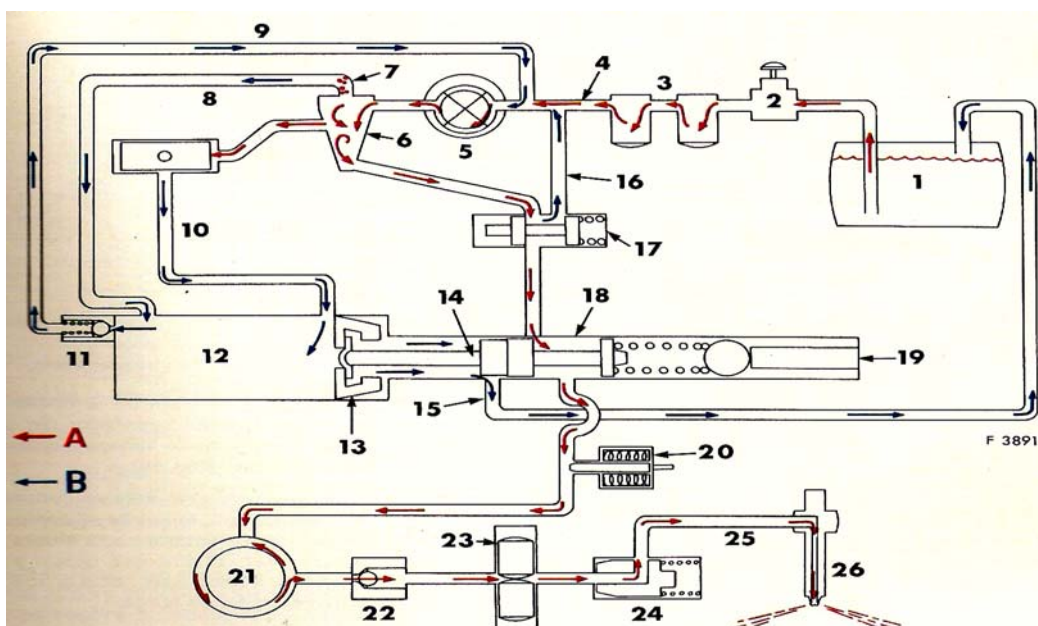
La cámara, para llevar a cabo la separación centrífuga del aire, se comunica por una canalización con el dispositivo de avance automático de la inyección. Otra canalización conduce el combustible, a través de una válvula reguladora de presión, hasta la válvula dosificadora del regulador.

La apertura de la válvula dosificadora se manda por medio de la palanquita de aceleración y los contrapesos del regulador.

La cantidad de combustible dosificada por la válvula llega a una ranura circular del rotor después de atravesar una válvula de retención y y, desde esta ranura, al cilindro de bombeo.

Cuando una de las canalizaciones de salida del rotor de distribución queda frente a la canalización de salida de la cabeza para el inyector del cilindro correspondiente, las levas interiores de un arco empujan los dos pistones opuestos por intermedio de unos rodillos y éstos comprimen el combustible. Al aumentar la presión se cierra la válvula de retención y el combustible es obligado a salir a gran presión hacia el inyector correspondiente.

La bomba se autolubrica con el combustible que la atraviesa. Este llena todas las canalizaciones, cámaras y cavidades de la bomba y se mantiene a una presión determinada gracias a un regulador de presión. Esta misma presión contribuye a separar y eliminar el aire que puede entrar en la bomba con el combustible, tal y como lo muestra la Figura 2.3.



- A-Circuito desde el combustible hasta el inyector
- 1-Depósito
 - 2-Bomba de mano
 - 3-Filtros de combustible
 - 4-Entrada a la bomba
 - 5-Bomba de paletas
 - 6-Separador de aire
 - 7-Orificio de purga
 - 8-Canalización para lubricar el accionamiento
 - 9-Combustible que retorna a la bomba de paletas
 - 10-Canalización
 - 11-Válvula limitadora de la presión de la caja
 - 12-Lubricación de la caja de la bomba
 - 13-Contrapesos del regulador
- B-Circuitos de lubricación, retorno y regulación
- 14-Válvula dosificadora
 - 15-Retorno al depósito
 - 16-Retorno del sobrante a la bomba
 - 17-Regulador de la presión de alimentación
 - 18-Cilindro del regulador
 - 19-Mando de aceleración
 - 20-Parada eléctrica
 - 21-Ranura circular del rotor
 - 22-Válvula de retención
 - 23-Pistones de inyección
 - 24-Válvula de presión de inyección
 - 25-Tubería de inyección
 - 26-Inyector

Figura 2.3 Circulación del combustible (John Deere, 1968).

2.5 Medidas de caudal

Creus (1993), menciona que existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico. Los más importantes se citan a continuación en los Cuadros 2.1 y 2.2.

Cuadro 2.1 Medidores volumétricos (Creus,1993).

Sistema	Elemento	Transmisor
Presión diferencial	Placa, orificio, tobera Tubo Venturi Tubo Pitot Tubo Anular Conectados a tubo U o a elemento de fuelle o de diafragma	Equilibrio de fuerzas
Área variable	Rotámetro	Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de Impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Sondas Ultrasónicas	Potenciométrico Piezoeléctrico
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extensométricas
Tensión inducida	Medidor magnético	Convertidor Potenciométrico

Desplazamiento positivo	Disco giratorio Pistón Oscilante Pistón Alternativo Medidor Rotativo (Cicloidal, Birrotor, Oval).	Generador Tacométrico o transductor de impulso
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador de ultrasonidos.	Transductor de resistencia

Cuadro 2.2 Medidores máscicos (Creus,1993).

Térmico	Diferencia de temperatura en dos sondas de resistencias	Puente de Wheatstone
Momento	Medidor axial Medidor axial de doble turbina	Convertidor de par
Par giroscopio	Tubo giroscopio	Convertidor de par
Presión diferencial	Puente hidráulico	Equilibrio de fuerzas

La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir.

Cuando la medida de caudal se utiliza con el propósito de facturar un consumo, deberá ser lo más precisa posible, teniendo en cuenta el valor económico del fluido que pasa a través del medidor, y la legislación obligatoria aplicable en cada caso.

2.6 Factores para la selección de flujómetros

Muchos dispositivos se encuentran disponibles para la medición de flujo. Algunos de ellos miden la velocidad de flujo de volumen en forma directa, mientras que otros miden la velocidad promedio del flujo el cual puede convertirse a velocidad de flujo de volumen utilizando

$$Q = A \cdot V$$

Donde:

Q = Razón de flujo volumétrico del líquido (m^3/s)

A = Área transversal del sistema (m^2)

v = Velocidad de flujo (m/s)

Asimismo, algunos de ellos proporcionan mediciones primarias directas, mientras que otros requieren calibración o la aplicación de un coeficiente de descarga a la salida observada del dispositivo. La forma de la salida del medidor de flujo también varía en forma considerable de un tipo a otro. La indicación puede ser una presión, un nivel de líquido, un contador mecánico, la posición de un indicador en la corriente del fluido, una señal eléctrica continua o una serie de pulsos eléctricos. La elección del tipo básico de medidor de fluido y su sistema de indicación depende de varios factores, entre los cuales se encuentran:

2.6.1 Rango

Los medidores disponibles en el mercado pueden medir flujos desde varios mililitros por segundo (ml/s) para experimentos precisos de laboratorio hasta varios miles de metros cúbicos por segundo (m^3/s) para sistemas de irrigación o agua municipal y para sistemas de drenaje. Por consiguiente, para una instalación de medición en particular, debe conocerse el orden de magnitud general de la velocidad de flujo así como el rango de las variaciones esperadas.

2.6.2 Exactitud requerida

Virtualmente cualquier dispositivo de medición de flujo instalado y operado adecuadamente puede proporcionar una exactitud dentro del 5 por ciento del flujo real. La mayoría de los medidores en el mercado tienen una exactitud del 2 por ciento y algunos dicen tener una exactitud de más del 0.5 por ciento. El costo es con frecuencia uno de los factores importantes cuando se requiere de una gran exactitud.

2.6.3 Pérdida de presión

Debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, éstos proporcionan diversas cantidades de pérdida de energía o pérdida de presión conforme el fluido corre a través de ellos. Excepto algunos tipos, los medidores de fluido llevan a cabo la medición estableciendo una restricción o un dispositivo mecánico en la corriente del flujo, causando así la pérdida de energía.

2.6.4 Tipo de indicación

Los factores a considerar en la elección del tipo de indicación de flujo depende de si se desea de sensibilidad remota o grabación, si va a operar un actuador automático a la salida, si un operador necesita supervisar la salida o si prevalecen condiciones severas del medio ambiente.

2.6.5 Tipo de fluido

El funcionamiento de algunos medidores de fluido se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Una consideración básica es si el fluido es un líquido o un gas. Otros factores que pueden ser importantes son la viscosidad, la temperatura, la corrosión, la conductividad eléctrica, la claridad óptica, y las propiedades de lubricación. Los desechos y los fluidos multifásicos requieren de medidores especiales.

2.6.6 Calibración

Se requiere de calibración en algunos tipos de flujómetros. Algunos fabricantes proporcionan una calibración en forma de una gráfica o esquema del flujo real *versus* (indicación de la lectura). Algunos están equipados para hacer la lectura en forma directa con escalas calibradas en las unidades de flujo que se deseen. En el caso del tipo más básico de medidores, tales como los de cabeza variable, se han determinado formas geométricas y dimensiones estándar para las que se encuentran datos empíricos disponibles. Estos datos relacionan el flujo con

una variable de fácil medición, tal como una diferencia de presión o un nivel de fluido.

Si el usuario del dispositivo requiere de calibración, puede utilizar otro medidor de precisión como un estándar contra el cual se puede comparar la lectura del medidor de prueba. Por el contrario, puede llevarse a cabo la calibración primaria ajustando el flujo a una velocidad constante a través del medidor y después reunir la salida durante un intervalo fijo de tiempo. El fluido así colectado puede ser pesado para una calibración de peso por unidad de tiempo, o su volumen puede medirse para una calibración de velocidad de flujo de volumen (<http://www.terralia.com/revista17/pagina20.htm>).

2.7 Sensores

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores son en realidad unos elementos físicos que pertenecen a un tipo de dispositivo llamado transductor (<http://www.silica.com>).

2.7.1 Clasificación de los sensores

- Sensor activo: es un sensor que requiere una fuente externa de excitación como los RTD o celdas de carga.
- Sensor pasivo: es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación como los termopares o fotodiodos.

2.7.2 Tipos de sensores

Existen una gran cantidad de sensores en el mercado, para poder medir magnitudes físicas, tal como se muestra en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3 Principales sensores que existen en el mercado
(<http://www.culturadigital.com.do>).

1. Temperatura	2. Corriente
3. Humedad	4. Conductividad
5. Presión	6. Biométricos
7. Posición	8. Acústicos
9. Movimiento	10. Imagen
11. Caudal	12. Aceleración
13. Luz	14. Velocidad
15. Imagen	16. Inclinación
17. Químicos	

Por otro lado a los sensores, se les debe exigir una serie de características, que pasamos ahora a enumerar:

- Exactitud. Hace referencia a que se debe poder detectar el valor verdadero de la variable sin errores sistemáticos. Sobre varias mediciones, la media de los errores cometidos debe tender a cero.
- Precisión. Una medida será más precisa que otra si los posibles errores aleatorios en la medición son menores. Debemos procurar la máxima precisión posible.
- Rango de funcionamiento. El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento, es decir, debe ser capaz de medir de manera exacta y precisa un amplio abanico de valores de la magnitud correspondiente.
- Velocidad de respuesta. El sensor debe responder a los cambios de la variable a medir en un tiempo mínimo. Lo ideal sería que la respuesta fuera instantánea.
- Calibración. La calibración es el proceso mediante el que se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida que produce el sensor. La

calibración debe poder realizarse de manera sencilla y además el sensor no debe precisar una recalibración frecuente.

- **Fiabilidad.** El sensor debe ser fiable, es decir, no debe estar sujeto a fallos inesperados durante su funcionamiento.
- **Costo.** El costo para comprar, instalar y manejar el sensor debe ser lo más bajo posible.
- **Facilidad de funcionamiento.** Por último, sería ideal que la instalación del sensor no necesitara de un aprendizaje excesivo. Todas estas características son las deseables en los sensores. Sin embargo, en la mayoría de los casos lo que se procurará será un compromiso entre su cumplimiento y el costo que ello suponga a la hora del diseño y fabricación.

2.8 Transductores

Stanley y Wolf (1986), menciona que los transductores son dispositivos que transforman un tipo de variable física (fuerza, posición, temperatura, velocidad, caudal, etc.) en otra.

2.8.1 Clasificación de transductores

Los transductores pueden clasificarse según su aplicación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, etc. La clasificación de algunos transductores usados para la medición de parámetros físicos se citan a continuación:

- **Activos** (autogeneración): Convierten la energía del parámetro físico en energía eléctrica, sin necesidad de fuente de energía (Generadores), Figura 2.4.

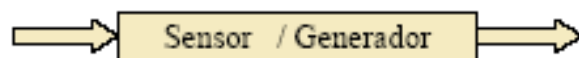


Figura 2.4. Transductor activo (<http://www.culturadigital.com.do>).

- **Pasivos:** Requieren de una fuente de energía eléctrica para operar (Moduladores), Figura 2.5.

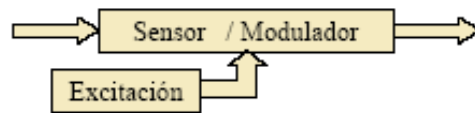


Figura 2.5. Transductor pasivo (<http://www.culturadigital.com.do>).

2.8.2 Tipos de transductores

Existen diferentes tipos de transductores los cuales se agrupan según su aplicación, método de conversión de energía, naturaleza de la señal de salida, etc. Por lo general todas estas clasificaciones terminan en áreas que se superponen. Una distinción y clasificación estricta de los tipos de transductores sería difícil en los cuadros 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8 se muestra una clasificación de los transductores de acuerdo con los principios eléctricos en que se basan. Ver Anexo B.

Cuadro 2.4 Transductores activos (<http://www.culturadigital.com.do>).

Clase de Transductor	Principio de operación, naturaleza del dispositivo y parámetro eléctrico	Aplicación típica
Electrodos	La corriente iónica es convertida en corriente electrónica detectando los diferentes potenciales eléctricos	Biopotenciales, pH, oxígeno
Termopar y termopila	Se genera una fem cuando la unión de dos metales o semiconductores diferentes se calienta	Temperatura, flujo de calor, radiación
Generador de bobina móvil	El movimiento de una bobina dentro de un campo magnético genera un voltaje	Velocidad, vibración
Detector	Se genera una fem cuando se le aplica una fuerza	Sonido, vibración,

piezoeléctrico	externa a ciertos materiales cristalinos, tal como el cuarzo	aceleración, presión
Celda fotovoltaica	Se genera un voltaje en un dispositivo semiconductor cuando la energía radiante estimula la celda	Medidor de luz, celda solar

Cuadro 2.5 Transductores pasivos-resistivos (<http://www.culturadigital.com.do>).

Clase de Transductor	Principio de operación, naturaleza del dispositivo y parámetro eléctrico	Aplicación típica
Potenciómetro	El posicionamiento de un cursor por medio de una fuerza mecánica varía la resistencia eléctrica de un potenciómetro o de un circuito puente	Presión, desplazamiento
Galga extensiométrica	La resistencia de un alambre o de un semiconductor se modifica por elongación debido a esfuerzos aplicados externamente	Fuerza, torque, desplazamiento, presión
Termómetro de resistencia (RTD)	La resistencia de un alambre de metal puro con un coeficiente resistivo de temperatura positivo se cambia con la temperatura	Temperatura, calor radiante.
Termistor	La resistencia de un cierto óxido de metal con un coeficiente resistivo de temperatura negativo se cambia con la temperatura	Temperatura, flujo, nivel, humedad
Celda fotoconductiva	La resistencia de la celda como un elemento de un circuito varía con la luz incidente	Relé fotosensible, pulso, humo

Cuadro 2.6 Transductores pasivos-capacitivos (<http://www.culturadigital.com.do>).

Clase de Transductor	Principio de operación, naturaleza del dispositivo y parámetro eléctrico	Aplicación típica
Galga de placas paralelas	La distancia entre las dos placas se varía por la aplicación de una fuerza externa	Desplazamiento, presión, proximidad
Galga dieléctrica (cilíndrico)	Variación en la capacitancia por cambios en el dieléctrico	Nivel de líquidos, espesor
Micrófono de capacitor	La presión del sonido varía la distancia entre una placa fija y un diafragma móvil	Voz, música, ruido
Higrómetro capacitivo	La capacitancia cambia con el contenido de humedad que contenga un material dieléctrico higroscópico	Humedad relativa

Cuadro 2.7 Transductores pasivos- semiconductores (<http://www.culturadigital.com.do>).

Clase de Transductor	Principio de operación, naturaleza del dispositivo y parámetro eléctrico	Aplicación típica
Efecto "Hall"	Una diferencia de potencial se genera a través de una placa semiconductor cuando el flujo magnético interactúa con una corriente aplicada	Flujo magnético, corriente
Fotodiodo y fototransistor	Generación de portadores en el semiconductor debido a radiación incidente	Desplazamiento, luz, nivel, pulso, presencia, radiación
Circuito LM335	La conducción del semiconductor cambia con la temperatura proporcionando un voltaje relativo	Temperatura

Cuadro 2.8 Transductores pasivos- inductivos (<http://www.culturadigital.com.do>).

Clase de Transductor	Principio de operación, naturaleza del dispositivo y parámetro eléctrico	Aplicación típica
Transductor de circuito magnético	La autoinductancia o inductancia mutua de una bobina excitada con c.a. se varía cambiando su circuito magnético	Presión, proximidad desplazamiento
Detector de reluctancia	La reluctancia de un circuito magnético se cambia variando la posición del núcleo de hierro de una bobina	Presión, desplazamiento, vibración, posición
Transformador Diferencial (LDVT)	El voltaje diferencial de dos devanados secundarios de un transformador se cambia variando la posición de un núcleo magnético por medio de una fuerza aplicada	Presión, fuerza, desplazamiento, vibración
Medidor de corriente parásita	La inductancia de una bobina se varía aproximándole un plato con corrientes inducidas	Desplazamiento, espesor
Galga magnetométrica	Las propiedades magnéticas se varían por presión y esfuerzos mecánicos	Fuerza, presión, sonido

Cuadro 2.9 Otros transductores pasivos (<http://www.culturadigital.com.do>).

Clase de Transductor	Principio de operación, naturaleza del dispositivo y parámetro eléctrico	Aplicación típica
Cámara de ionización	Flujo electrónico inducido por ionización de un gas debido a radiación radiactiva	Conteo de partículas, radiación
Celda fotoemisiva	Emisión electrónica debido a radiación incidente sobre superficies fotoemisoras	Luz y radiación
Tubo fotomultiplicador	Emisión electrónica secundaria debido a la radiación incidente sobre un cátodo fotosensible	Luz y radiación, relees fotosensibles
Ultrasonido	Emisión y recepción de señales ultrasónicas, detectando por efecto doppler el cambio de frecuencia	Distancia, proximidad, flujo

2.9 Galgas extensométricas

Dieck (2000), las galgas extensométricas (Figura 2.6) son los transductores de fuerza que transforman los esfuerzos mecánicos en cambios de resistencia que pueden transducirse fácilmente en señales eléctricas como corriente o voltaje. Estos dispositivos transducen la deformación extensométrica a cambio en resistencia eléctrica.

Stanley (1992), las galgas extensométricas reciben su nombre porque al deformarse longitudinalmente (estiradas) cambian su resistencia. La deformación se define como un cambio en su longitud de un material debido a un esfuerzo aplicado externamente.

$$\epsilon = \Delta L / L$$

Donde:

ΔL = Cambio en la longitud debido a la fuerza aplicada

L = Longitud original

Para mantener el funcionamiento lineal de estos transductores, la fuerza aplicada no debe deformar el material del transductor más allá del 50 % de su límite elástico (el límite elástico es la máxima deformación longitudinal que puede soportar un material y retornar a su longitud original) una vez que el esfuerzo se ha dejado de aplicar. Cuando se estira una galga extensométrica, su resistencia cambia de acuerdo con:

$$\Delta R = \rho \frac{\Delta L}{A} \quad \text{ec. (2.1)}$$

donde

ρ = Resistividad del material

ΔL = Cambio en la longitud efectiva del conductor

A = Área del conductor

La mayoría de las galgas extensométricas se fabrican de tal modo que la resistencia varíe linealmente con los cambios en su longitud. Los cambios tanto en su resistividad (son una función del esfuerzo) como en el área son mínimos y por lo tanto se puede ignorar. La resistencia sin deformación es generalmente de 120 a 350 ohms.

Se seleccionaron originalmente esos valores debido a que corresponde a la resistencia crítica de amortiguamiento de los galvanómetros empleados en estas galgas. Debido a que hoy en día muy pocos instrumentos utilizan galvanómetros para medir la salida de circuitos puente, la resistencia de las galgas extensométricas ya no se necesita mantener en esos valores. Como resultado de ello se ha aumentado para igualar con los requisitos de los amplificadores de instrumentos del circuito integrado, para reducir los requerimientos de potencia y para aumentar la relación de señal al ruido. Resulta de todo ello que la resistencia sin deformación se ha aumentado a valores tan altos como sea posible fabricarlos. Estos valores son de aproximadamente 1 K Ω en las galgas extensométricas actuales de platino (92 %) y tungsteno (8 %), y tiene un factor de galga (K) de 4.5, en donde K se define como:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R_g}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad \text{ec. (2.2)}$$

siendo

K = Factor de galga (usualmente ≈ 2 , pero puede ser de varios cientos)

ΔR = Cambio en la resistencia de la galga

R_g = Resistencia de la galga

ΔL = Cambio en la longitud de la galga

L = Longitud de la galga

En la Figura 2.6 se muestra una configuración básica de una galga extensométrica.

Las zonas grandes en el extremo (baja resistencia) reducen los efectos de la deformación transversal (deformación perpendicular a la longitud de la galga). La longitud de la galga puede variar desde unos milímetros hasta varias pulgadas, dependiendo de la longitud del área sobre la que se vaya a promediar la deformación. Una galga debe unirse o pegarse a una superficie que esta sujeta a deformación uniforme porque la deformación se promedia sobre la deformación de la galga.

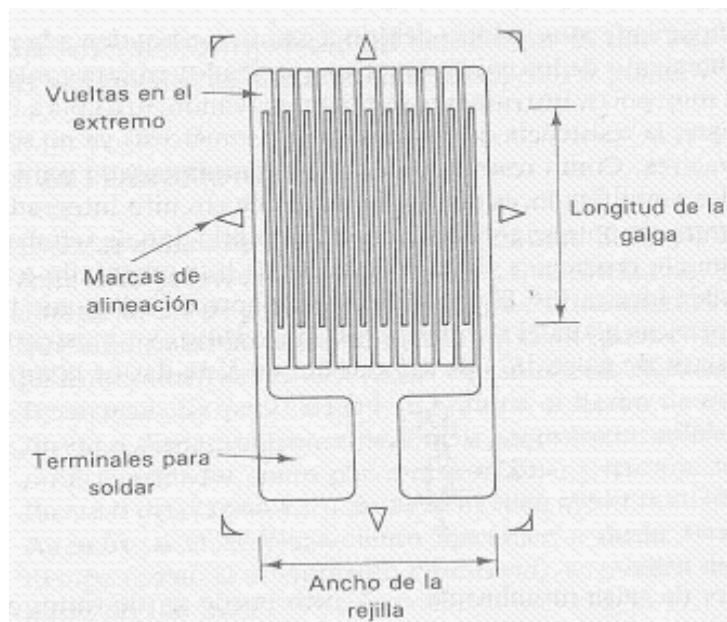


Figura 2.6 Configuración típica de una galga extensométrica (Stanley, 1992).

Se ha observado que los cambios de resistencia esperados en galgas extensométricas son muy pequeños. Por ello es importante la consideración de los efectos de temperatura en las galgas extensométricas. La resistencia de las galgas es influenciada fuertemente por los cambios de temperatura. Existe un coeficiente de temperatura, α_0 , que describe las variaciones de resistencia con respecto a la temperatura ambiental.

Para una temperatura arbitraria T , diferente a la nominal T_0 :

$$T = T_0 + \Delta T \quad \text{ec.(2.3)}$$

Se tiene el siguiente cambio en la resistencia de la galga:

$$R(T) = R_{T_0} [1 + \alpha_0 \Delta T] \quad \text{ec.(2.4)}$$

Donde $R(T)$ es la resistencia a T °C, R_{T_0} es la resistencia a una temperatura de referencia T_0 , α_0 es el coeficiente de temperatura $\Omega / (^\circ\text{C } \Omega)$ y ΔT es el cambio de temperatura con respecto a la nominal. La ecuación (2.4) representa una linealización del efecto térmico sobre el material (usualmente metal) que compone el conductor formando el serpentín de la galga extensométrica. De hecho el mecanismo que afecta el cambio de resistencia en las galgas es prácticamente el mismo que afecta a las resistencias o potenciómetros convencionales. También, los sensores tipo RTD o resistencias de níquel y platino que se usan para transducción de temperatura, usan el mismo principio de linealización para considerar los cambios de temperatura.

Otra forma de ver el cambio de resistencia es:

$$\Delta R = R_{T_0} \alpha_0 \Delta T \quad \text{ec.(2.5)}$$

Donde el cambio de resistencia en la galga es indicado por ΔR .

2.9.1 Configuraciones de las galgas extensométricas

Las galgas extensométricas tienen varios tipos de configuraciones físicas para implantarlas en aplicaciones variadas (Ver anexo A). Estas configuraciones son:

- *Galgas de hilo metálico.* Son las más sencillas y se encuentran en configuraciones fijables. Normalmente están adheridas a una base (portadora) de dimensiones estables.
- *Galgas laminares metálicas.* Son las que se desarrollan por métodos de fotograbado. Se fabrican de forma similar a la producción de circuitos impresos en bases flexibles.
- *Galgas de metal depositado.* Son las aplicadas directamente sobre superficies mediante métodos de evaporización o bombardeo químico. Se usan en los diafragmas de los sensores de presión.
- *Semiconductoras.* Son las fabricadas con silicio u otro material semiconductor. El rango de deformación es de aproximadamente igual a $3000 \mu\epsilon$ mientras que las de metal se extiende aproximadamente $40,000 \mu\epsilon$. Su cambio resistivo es menos lineal que las de metal y tiene gran dependencia en la temperatura. Se usan en la fabricación de sensores integrados de presión donde se implantan en microdiafragmas para sensar presión diferencial o presión barométrica. Los sistemas integrados de la serie MPX [MOPre] usan este tipo de tecnología.

2.10 Puente de Wheatstone

Las mediciones más precisas de la resistencia se obtienen con un circuito llamado puente de Wheatstone (Figura 2.7), en honor al físico británico Charles

Wheatstone, debido a que éste se considera como un sistema muy sensible a cambios diminutos en resistencias y es el dispositivo más común para sensar cambios producidos por galgas extensométricas (Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation).

Figura 2.7 Puente de Wheatstone

(Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation).

El puente de Wheatstone es un circuito que puede ser empleado para determinar el cambio de resistencia que una galga puede presentar cuando es sujeta a una deformación. El rango de resistencia que puede medir varía de 1Ω a $1M\Omega$ (Holman, 1981).

Según Stanley (1992), un puente es el nombre que se usa para denotar una clase especial de circuitos de medición. Estos se emplean para hacer mediciones de resistencia, capacitancia e inductancia. Los puentes se emplean para mediciones de resistencia cuando se necesita una determinación muy exacta de una resistencia en particular. El puente más conocido y el que se emplea más ampliamente es el puente de Wheatstone, el cual se emplea para medir con exactitud valores de resistencia desde miliohms hasta megaohms.

La mayor parte de los puentes de Wheatstone comerciales tienen una exactitud de aproximadamente 1%. Así, los valores de resistencia obtenidos con el puente son mucho más exactos que los obtenidos con el óhmetro o con el voltmetro-ampémetro.

En la Figura 2.8 se muestra el circuito del puente de Wheatstone de cd. en donde R_x es la resistencia que se ha de medir. El puente funciona según el principio de que no pasará corriente a través del galvanómetro de D' Arsonval, muy sensible, que esta conectado a los puntos b y c del circuito si no hay diferencia de potencial entre ellos. Cuando no pasa corriente, se dice que el puente esta balanceado. El estado de balance se logra si el voltaje V_0 se divide en el camino abd por las resistencias R_1 y R_2 en la misma relación que en el trayecto acd por las resistencias R_3 y R_x . Entonces los puntos b y c estarán al mismo potencial. Por ello si no pasa corriente a través del galvanómetro quiere decir que:

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{ec.(2.6)}$$

Ahora si R_x se desconoce y R_1 , R_2 y R_3 se conocen, se puede encontrar R_x mediante:

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1} \quad \text{ec. (2.7)}$$

En la práctica, la relación R_2 a R_1 se controla mediante un interruptor que cambia esta relación por decenas (es decir, factores de 10). Así, si la relación R_2 / R_1 se puede ajustar a 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 1 , 10 , 10^2 , 10^3 . R_3 es una resistencia ajustable de variación continua. Cuando se logra la indicación a cero, se puede leer directamente la resistencia de los indicadores porque las posiciones de los indicadores corresponde a las variables de la ec. (2.7).

Como se sabe que el valor de resistencia de un resistor cambia con la frecuencia, las resistencias que se emplean en aplicaciones de alta frecuencia se debe medir a la frecuencia de uso. Cuando se llevan a cabo esas mediciones, se emplea una fuente de ca en lugar de una batería. Hay disponibles varios

detectores, incluyendo el osciloscopio u aún los audífonos, para determinar el cero o condición de equilibrio.

A menudo los puentes se nivelan con un timbre en vez de un galvanómetro, que cuando el puente no está nivelado emite un sonido que corresponde a la frecuencia de la fuente de corriente alterna; cuando se ha nivelado no se escucha ningún tono.

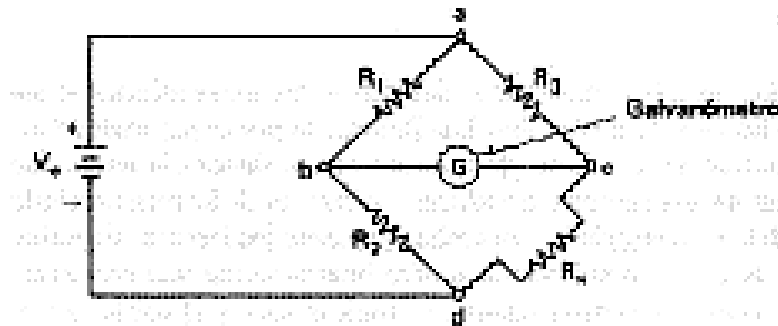


Figura 2.8 Circuito del puente de Wheatstone (Stanley ,1992).

El cálculo de la sensibilidad del arreglo del puente cuando es montado en el transductor es:

$$V_s = V_e \times \varepsilon \times n \times F_g \times G \quad \text{ec.(2.8)}$$

Donde

V_s = Voltaje de salida esperado

V_e = Voltaje de excitación

ε = Deformación unitaria

n = Número de galgas activas

F_g = Factor de galga

G = Ganancia

2.11 Impacto de las labores agrícolas sobre el gasto de energía

En cualquier lugar , el gasoil sigue siendo el principal costo de operación de la maquinaria, con la particularidad de la situación actual donde primero se paga y luego se carga en el tanque.

En este contexto es prudente mencionar algunas pautas que permiten optimizar el uso del combustible por parte de los productores en general ya sea que trabajen con maquinaria propia o contratada.

2.11.1 Labranza

Los trabajos de labranza son los que mayor demanda energética solicitan al tractor, y en consecuencia son los que mayor gasto en combustible generan. De este modo, el tipo de labranza realizado y el número de labores determinarán la ecuación final sobre el gasto de combustible.

No siempre reducir labores es beneficioso desde el punto de vista técnico, sino que la combinación de labores con estrategias de fertilización y control de malezas, plagas y enfermedades determinan opciones más rentables.

La calidad de las labores previas muchas veces incide sobre el costo de las siguientes. Un ejemplo lo da el hecho de generar compactación por trabajar en condiciones de excesiva humedad que generarán un costo adicional en laboreo de descompactación en un futuro.

Aquí es necesario remarcar que el estado de la maquinaria de labranza y el correcto enganche de la misma, determinan el requerimiento de potencia

demandada al tractor y consecuentemente inciden sobre el consumo de combustible.

2.11.2 Cambio alto y bajo régimen

Cuando se trabaja en operaciones en que se le demanda al tractor menos del 65 % de la potencia disponible a la barra de tiro, es una práctica aconsejable trabajar en un cambio alto y a bajo régimen siempre y cuando el motor no trabaje sobrecargado (la sobrecarga se refiere a la solicitud de un elevado torque a bajas revoluciones para lo cual no ha sido diseñado el motor).

Un síntoma de sobrecarga será el humeado del motor, aún trabajando a bajas revoluciones y otro seguramente complementario al anterior será el aumento de la temperatura de trabajo del motor.

Si bien el trabajo óptimo del motor del tractor se realiza cerca del régimen de potencia máxima, existen labores que no demandan toda la potencia como por ejemplo labranza secundaria, siembra fina o gruesa, rastrillado u otras labores que se realizan con otros implementos similares.

Las labores con un cambio alto y a bajo régimen permiten sustanciales ahorros de combustible.

2.11.3 Mantenimiento del tractor

Un adecuado mantenimiento del tractor permite optimizar la potencia del mismo. Esto indica que con el mismo combustible se puede lograr obtener mayor potencia y por ende, generar ahorro.

2.11.4 Neumáticos

El uso de neumáticos seleccionados correctamente y la utilización de la presión adecuada también repercuten sobre el ahorro de combustible.

En dos tractores iguales pero uno con neumáticos nuevos y el otro con neumáticos ya asentados, seguramente habrá distinto consumo de combustible.

Lo usual sería que aquel tractor que esté calzado con neumáticos nuevos consume menos, pero si los neumáticos son de taco alto, a menos que se esté trabajando en el barro generarán un gasto mayor de combustible, ya que la flexión del taco genera pérdidas de potencia.

Si las condiciones de suelo son firmes, es un error usar duales en los tractores, ya que no será necesaria la flotación y se genera un gasto de combustible extra.

Como concepto general deberá manejarse que la presión de inflado deberá ser la mínima admitida por el fabricante del rodado para mantener el peso dinámico del tractor (dinámico se refiere a tener el implemento enganchado, lo cual genera transferencia de peso y aumenta el peso o carga sobre los neumáticos que traccionan).

Una sobre presión genera patinamiento, disminuye la tracción, genera desgaste de tacos y deteriora el neumático aceleradamente. Un neumático desinflado genera un excesivo esfuerzo en los flancos y debilita la estructura llegando a agrietar la estructura en el mediano plazo.

2.11.5 Lastrado

Es común en un establecimiento propio, tener un tractor que permita hacer tanto las operaciones de labranza como las de cultivo en general. Rara vez se sacan los lastres del tractor y en general ocurre que se utiliza el tractor pesado

todo el tiempo cuando el requerimiento del lastrado total no supera el 15 ó 20 % de su uso anual.

Un tractor que trabaja unas 2000 horas al año se usa lastrado para su máxima exigencia todo el tiempo, es decir que 1600 horas seguramente andará "pesado" sobre los lotes.

Hay que mencionar aquí que en general los fabricantes no facilitan la tarea del manejo de los contrapesos ya que su forma y peso individual dificultan la tarea de intercambio, pero lo que es indiscutible es que llevar peso ocioso genera no sólo aumento de consumo sino una sobrecarga de la transmisión y una solicitud adicional al sistema de lubricación de la misma. Adicionalmente genera desgaste de los neumáticos generalmente por fatiga.

Un tractor liviano por el contrario quema gasoil inútilmente ya que aumentará el patinamiento y generará desgaste de neumáticos por rozamiento excesivo.

2.11.6 Tipo de combustible

Ante la dificultad de conseguir gasoil y hostigado por el incesante aumento del precio, es muy común hacer negocios que pueden generar más pérdidas que ganancias. El gasoil que se comercializa en verano comúnmente es menos fluido que el que se utiliza en invierno. Deberá usarse en invierno un gasoil de menor peso específico para que corra mejor en condiciones de muy bajas temperaturas. El contenido de parafinas del gasoil utilizado en época invernal deberá ser menor ya que al cristalizar taponan los filtros dejando parado el equipo.

Si bien existen alternativas para mejorar la fluidez del gasoil en invierno, aquellas que no estén contempladas por el fabricante del motor deberán estar supervisadas por gente idónea para no correr riesgos innecesarios de roturas.

Un combustible más pesado deberá sospecharse de alto contenido de azufre y generará alto residuo carbonoso, con lo cual deberá aumentarse la frecuencia de recambio del aceite de cárter elevando el costo de operación del tractor.

2.11.7 Manual del tractor

Por último, la vieja recomendación de leer periódicamente el manual del tractor ofrecerá sorpresas a más de un tractorista sobre técnicas que permiten ahorrar combustible y prolongar la vida útil del tractor. Asimismo contribuirá a eliminar conceptos que habitualmente se manejan en campo y muchas veces no tienen bases técnicas que han sido superados por los avances tecnológicos.

La adopción de las medidas señaladas precedentemente ayudarán a reducir el consumo de combustible y con ello el impacto del uso del tractor en el resultado operativo de la explotación.

(<http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/gestion/parte%201.pdf>).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Se llevó a cabo el diseño del medidor electrónico de combustible en su primera etapa que comprende el diseño conceptual, sin embargo para caracterizar este trabajo y obtener algunos datos técnicos importantes, se tuvieron que realizar pruebas para obtener la presión de la línea de combustible, para ello se utilizaron los siguientes materiales.

- Un tractor agrícola New Holland modelo 5010 para efectuar las pruebas.
- Un manómetro Servicetech Caterpillar Tools, con capacidad máxima de 400 KPa para medir la presión.
- 2 Tornillos de $\frac{3}{4}$ de pulg. de diámetro por $\frac{1}{2}$ de longitud, los cuales se acondicionaron y maquinaron, para poder obtener la medición de la presión en la tubería de combustible.
- Una computadora con Software de Auto-CAD 2002 para realizar la ingeniería de diseño del prototipo final.
- Galgas extensiométricas para tensión – compresión EA – 130601Z – 120, con un factor de galga de 2.09.
- Placa de acero inoxidable 303.
- Conectores varios.

3.2 Metodología

El diseño en ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos (Shigley, 1990).

Por otro lado Mott (1995), menciona que el objetivo final del diseño mecánico es, desde luego, producir un dispositivo de utilidad que sea seguro eficiente y práctico. Cuando se inicia el diseño de un elemento independiente, es importante definir las funciones y las especificaciones del diseño para el dispositivo en forma completa y clara.

Los enunciados que hacen mención a las funciones indican lo que se supone que debe realizar el dispositivo. A menudo son generales, sin embargo, en ellos se deben emplear fases en voz activa por ejemplo, para transmitir, para sostener o dar soporte.

Después de que se determinan las funciones, se elabora un conjunto de especificaciones de diseño, las especificaciones de diseño deben detallarse en forma minuciosa y específica, deben proporcionar información cuantitativa siempre que sea posible.

Para caracterizar la presión de la línea de combustible se tubo que medir en la parte donde se piensa colocar el dispositivo medidor, que comprende entre la bomba de alimentación y el filtro de combustible, como se muestra en la Figura 3.1

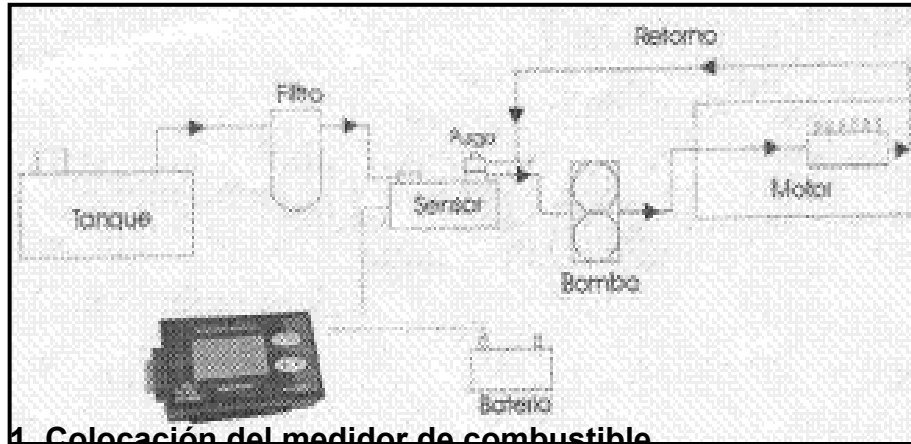


Figura 3.4 Colocación del medidor de combustible.

Para obtener estas mediciones de presión en la línea de alimentación de combustible se tuvo que acondicionar el lugar donde se efectuaron estas y posteriormente se obtuvo la lectura de presión, esta medición se realizó con un manómetro Servicetech Caterpillar Tools, tal y como se muestra en la Figura 3.3 y en la que se efectuaron mediciones a diferentes revoluciones del tractor, obteniendo los rangos de lecturas de la presión en la línea de combustible.

De todo lo anterior se concluye que la presión en este punto comprende entre rangos de 5-6 psi



Figura 3.2 Medición de la presión en la línea de combustible.



Figura 3.3 Manómetro Servicetech Caterpillar Tools.

Para el proceso del diseño del medidor de combustible fue necesario seguir las siguientes etapas.

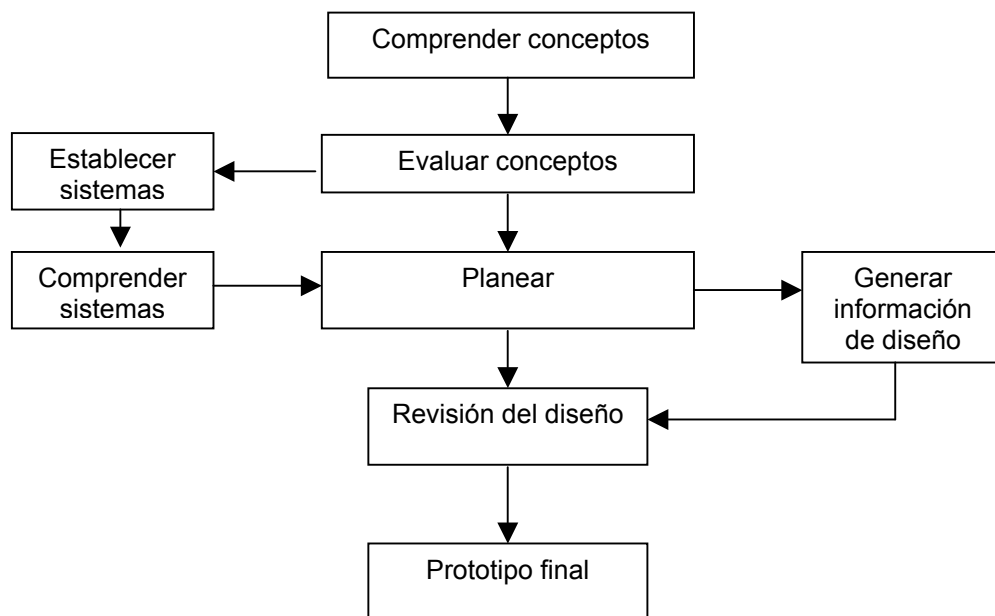


Figura 3.4 Diagrama del proceso de diseño del medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas.

3.2.1 Comprender conceptos

El desarrollo del trabajo inicio a partir de los conceptos que se tenían sobre los medidores de caudal para líquidos, y principalmente los que existen en el mercado, para esto se tuvo que comparar precios y marcas de los posibles a utilizar.

3.2.2 Evaluar conceptos

Posterior a ello se evaluaron estos conceptos, de los cuales se analizaron los posibles a utilizar. Entre los analizados podemos citar los siguientes : (Ver anexo D).

- Medidores de turbina
- Medidores de engrane
- Medidor magnético
- Medidores ultrasónicos

3.2.3 Establecer sistemas

Después de que se analizaron cada uno de estos métodos se estableció un sistema detallado de lo que sería el medidor.

3.2.4 Comprender sistemas

De la misma forma se entendió el sistema y cada uno de los componentes que lo conforman.

3.2.5 Planear

De aquí se paso a hacer una planeación sobre la elaboración del diseño.

3.2.6 Generar información del diseño

Después de que se contaba con mayor información sobre conceptos, y las posibles formas de llevar a cabo el diseño se comenzó a generar la ingeniería del diseño.

3.2.7 Revisión del diseño

Una vez terminado la ingeniería del diseño se revisó detalladamente la función de cada uno de los componentes, y la forma de cómo este deberá de funcionar.

3.2.8 Prototipo final

Finalmente se elaboró el prototipo de lo que será el medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas en su conjunto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de la propuesta

Como resultado en este trabajo se pudo obtener el diseño del medidor de combustible en su conjunto el cual se muestra en la Figura 4.1, donde además se presenta cada uno de los elementos: (1) conectores reductores roscadas en la entrada, (2) tubería ampliada, (3) placa circular, (4) punto de apoyo de la placa, (5) protección de la placa, (6) soporte de la placa, (7) Conectores reductores roscadas en la salida.

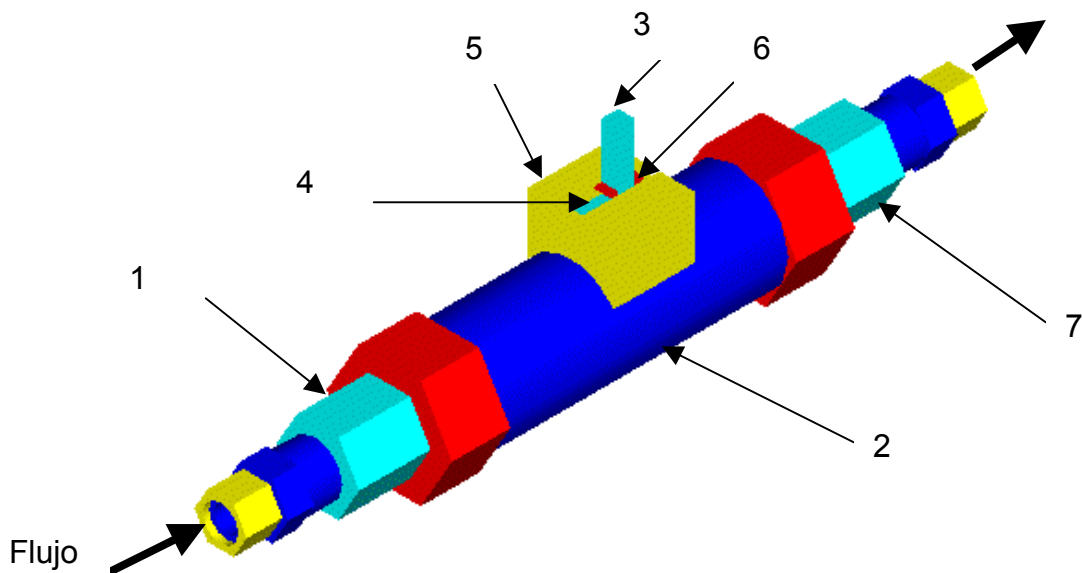


Figura 4.1 Componentes del dispositivo medidor.

En la Figura 4.1, se muestra la dirección que sigue el flujo del combustible al dispositivo. En la entrada del combustible al dispositivo tenemos un diámetro de la tubería de 5/16 pulg. la cual es prácticamente el diámetro de la línea de la tubería de alimentación. Para mejor entendimiento desglosamos cada uno de los elementos que conforman el dispositivo.

4.1.1 Conectores reductores roscadas en la entrada

Para poder acondicionar el medidor de placa se tuvo que buscar la forma de ampliar la parte de la tubería esto para un mejor manejo, por lo que se buscaron conectores de una dimensión de 5/16 pulg. a 1 pulg. se usaron 4 conectores reductores roscadas como se aprecia en la Figura 4.2.

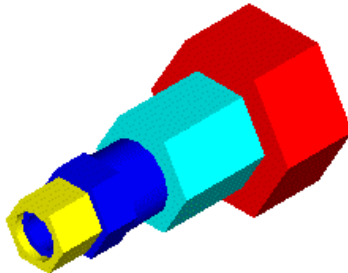


Figura 4.2 Conectores reductores roscados

4.1.2 Tubería ampliada

La tubería que se usó para el diseño es de 1 pulg de diámetro esto como se mencionó anteriormente debido a que su manejo se facilita al usar tuberías de mayor tamaño, Figura 4.3.

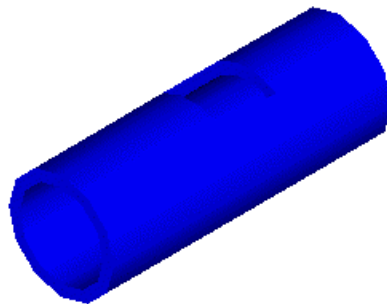


Figura 4.3 Tubería ampliada

4.1.3 Placa circular

Es una placa circular la cual se mantiene en el centro de la tubería por medio de una barra normal al flujo. Esta es la parte esencial del trabajo es un tipo de placa de acero inoxidable de calibre 304. la cual se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Placa circular

4.1.4 Puntos de apoyo de la placa

Estos apoyos ayudan a la placa para que al generar el fluido una fuerza sobre la placa, esta ultima no sea desplazada en la misma dirección, Figura 4.5.



Figura 4.5 Apoyo de la placa

4.1.5 Protección de la placa

Para que la placa se sujete es necesario que la instrumentación este bien acondicionada, además le ayuda a la tubería para que el combustible no salga por las averías sirve también como soporte de la placa, Figura 4.6.

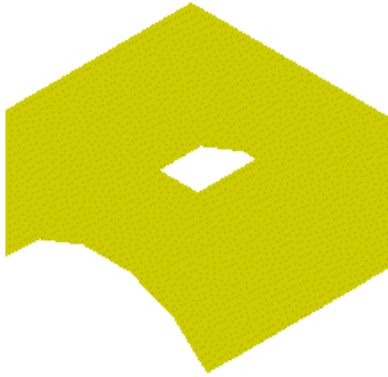


Figura 4.6 Protección de la placa

4.1.6 Soporte de la placa

El soporte le ayuda a la placa para que este permanezca fijo y presente movimiento al fluir el combustible, Figura 4.7.

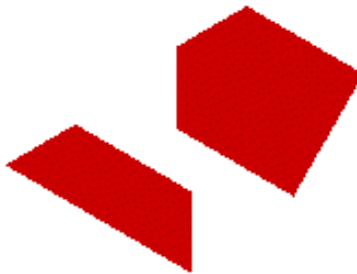


Figura 4.7 Soporte de la placa

4.1.7 Conectores reductores roscados en la salida

Los conectores que se usaron para reducir la tubería de 1 pulg. a 5/16 para poder conectar a la línea de combustible fueron de la misma medida que los que se usaron en la entrada, Figura 4.8.

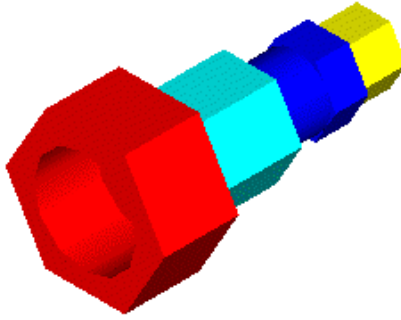


Figura 4.8 Conectores reductores roscados

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En esta primera etapa, que comprende la parte del diseño conceptual se obtuvo el diseño del medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas donde nos muestra una primera forma de lo que sería el trabajo final.
- Se diseñaron todos los elementos que conforman el medidor electrónico de combustible para tractores agrícolas.
- Es necesario recabar más información sobre transmisor neumático de equilibrio de fuerzas ya que sería la otra forma de como se podrá instrumentar el equipo y así comparar las dos formas y seleccionar la más conveniente.
- Es importante llevar a cabo la construcción y evaluación del dispositivo para comprobar y/o rechazar lo afirmado en este trabajo.
- Las mejoras al presente trabajo se deben de realizar posterior a la construcción y evaluación del primer prototipo.

VI. LITERATURA CITADA

- 1.- Cooper, William D; Helfrick, Albert D. 1991 Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición. Edición Prentice-Hall.

- 2.- Creus, A.1993. Instrumentación Industrial, 5ª Edición. Editorial Alfaomega-marcombo. España.

- 3.- Dieck A. G., 2000. Instrumentación, Acondicionamiento electrónico y adquisición de datos. 1ª Edición. Editorial Trillas. ITESM

- 4.- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1981) Boletín de ensayo del tractor Fiat 800 E. IIR CICA Cautelar.

- 5.- John Deere Company. 1968. Fundamentos de Técnica Aplicada Motores. Editorial, Lito Diseño, S. A.

- 6.- Liljedahl, J. B.; Carleton, W. M.; Turnquist, Paul K.; Smith, David W. 1984 Tractores diseño y funcionamiento: Limusa.

- 7.- Marquez Delgado; L. (1990) Sólotractor. Ed. Laboreo. España.

- 8.- Murillo Soto F. 1985 Equipo Agrícola Selección y Administración 1ª Edición, Editorial Tecnológica de Costa Rica. Instituto, Tecnológico de Costa Rica.

9.- Ortiz, Cañavate J., Hernández J. I 1989 Técnica de la Mecanización Agraria. Edición Mundi-Prensa, Madrid. España.

10.- Ressia, J.M, Botta, G. F., De Simone, M.E. Consumo de combustible del tractor en relación a las curvas características del motor y su transmisión. (Documento Web) http://www.unlu.edu.ar/maqagro/CADIR_96.pdf

11.- Revista Chapingo, 1999. Serie Ingeniería Agropecuaria Vol.II Núm. 2. Universidad Autónoma Chapingo. México.

12.- Robertl L. Mott. 1996. Mecanica de Fluidos Aplicada. 41^a Edición, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana.

13.- Stanley Wolf., Richard F. M. Smith. 1992 Guía para mediciones Electrónicas y prácticas de laboratorio. 1^a Edición. Editorial Prentice-Hall. México.

14.- Summer H. R., Hellwig R. E. y Monroe G. E. 1986. Measuring Implement Power Requirements from Tractor Fuel Consumption. Transactions of the ASAE. Vol. (29) January-February, 1986

15.- Soto Molina S. 1983 Introducción al estudio de Maquinaria Agrícola. Editorial Trillas, México.

16.- Enciclopedia Microsoft ® Encarta ® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

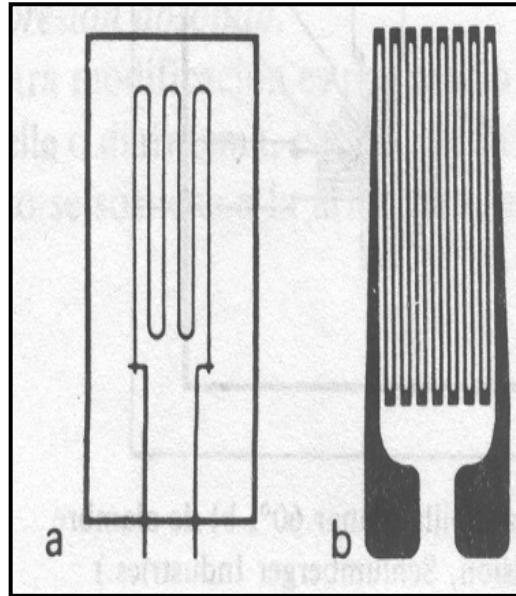
17.- Vallejo H. D. ; 2001 Saber Electrónica, México, Televisa.

- 18.- <http://www.fao.org/sd/spdirect/egre0058.htm>
- 19.- <http://www.terralia.com/revista17/pagina20.htm>
- 20.- <http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/gestion/parte%201.pdf>
- 21.- http://www.supercampo.uolsinectis.com.ar/edicion_0098/nota_02.htm
- 22.- <http://www.measurementsgroup.com>
- 23.- <http://www.measurementsgroup.com/gages/mm.htm>
- 24.- <http://www.iotech.com>
- 25.- <http://www.silica.com>

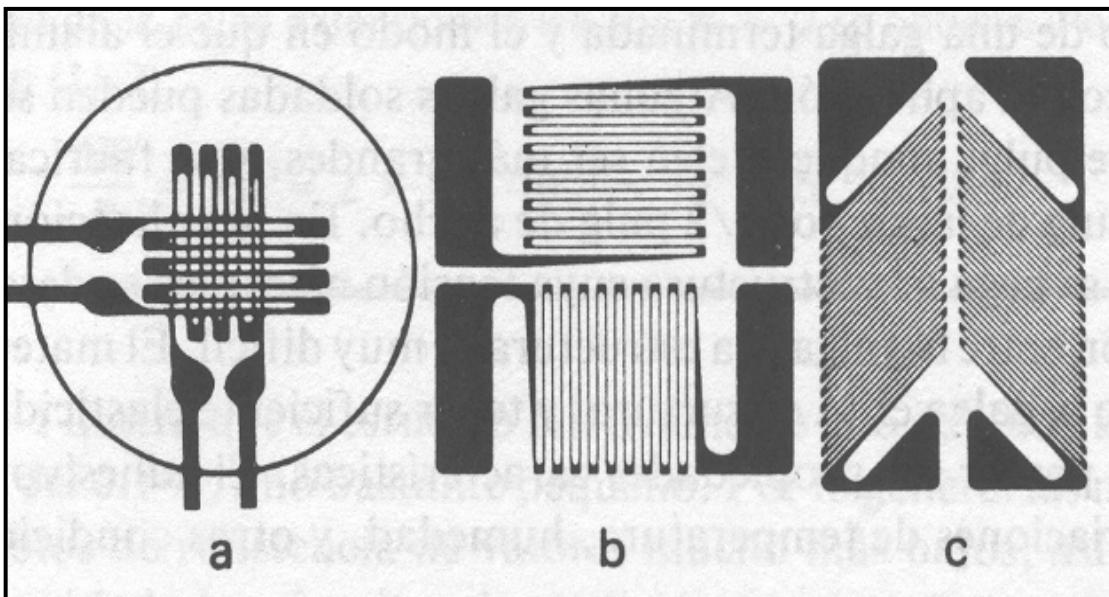
VII. ANEXOS

ANEXO A

Configuraciones de una galga extensométrica

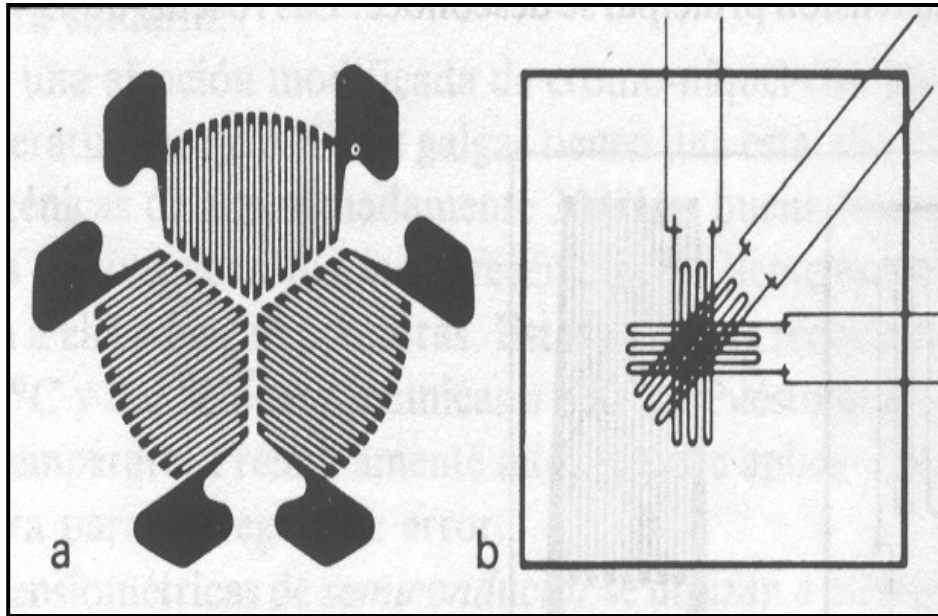


Galga extensométrica uniaxial : a) alambre; b) laminilla (Cooper,1991).

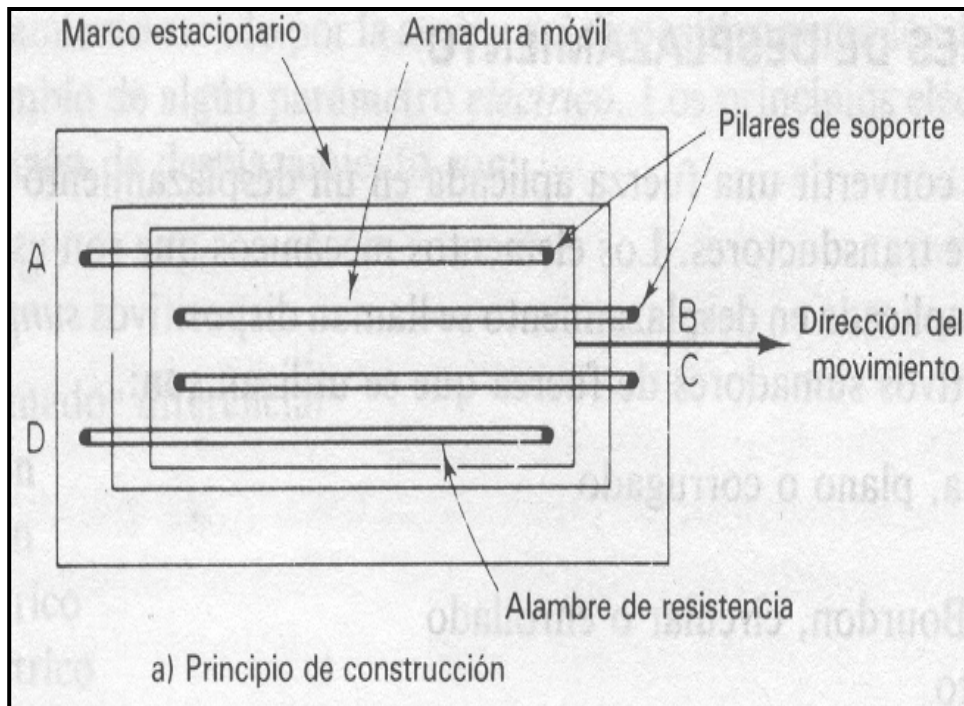


Roseta de dos elementos a) laminillas apiladas a 90° ; laminilla planar a 90° ; laminilla plana sesgada a 90° (Cooper,1991).

Galga extensométrica desoldada



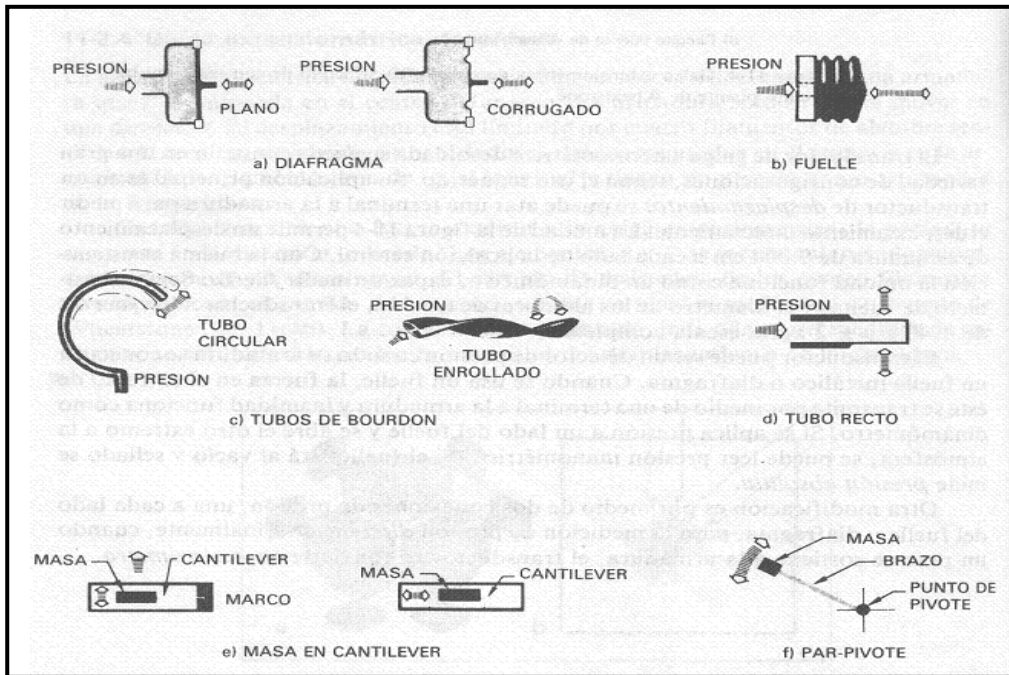
Roseta de tres elementos; a) laminilla planar 60° ; b) de alambre apilado a 45°C (Cooper,1991).



Galga extensométrica desoldada: a) principio de construcción; b) circuito puente de Wheatstone (Cooper,1991).

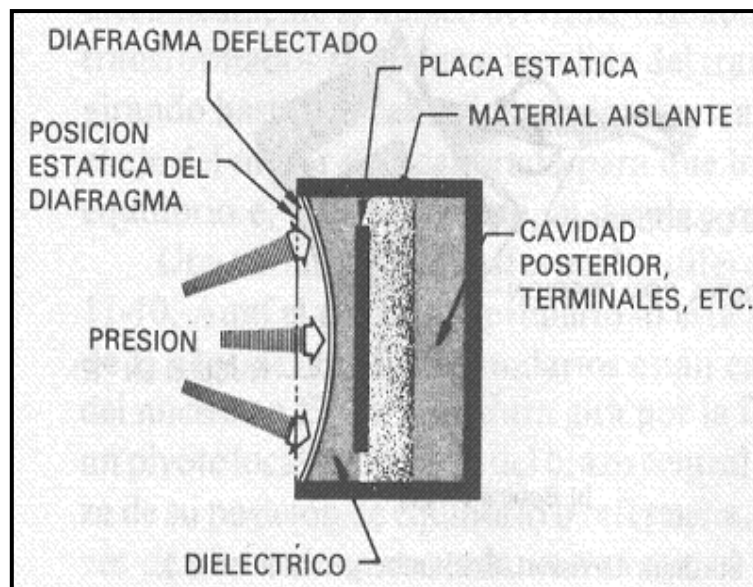
ANEXO B

Transductores de desplazamiento



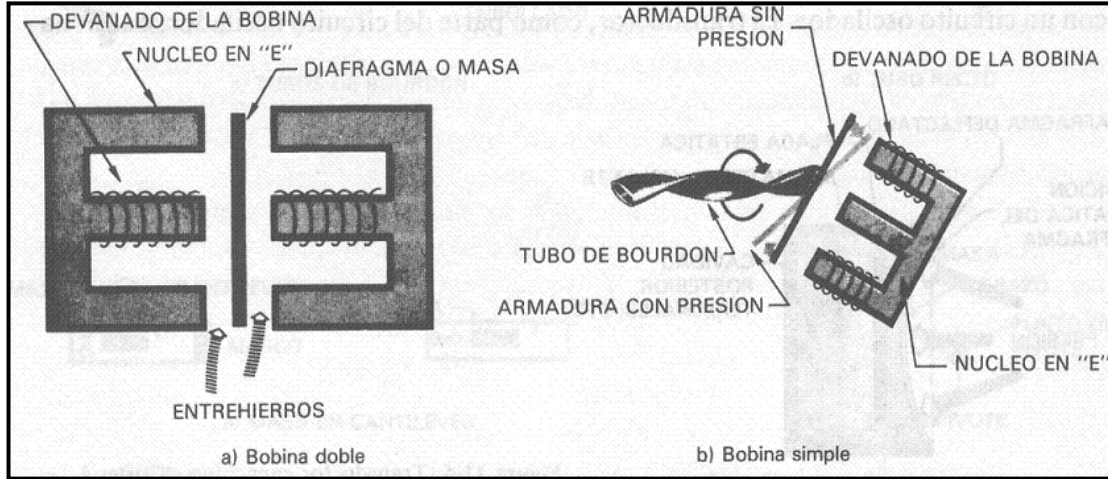
Dispositivos sumadores de fuerza (Cooper,1991).

Transductor capacitivo



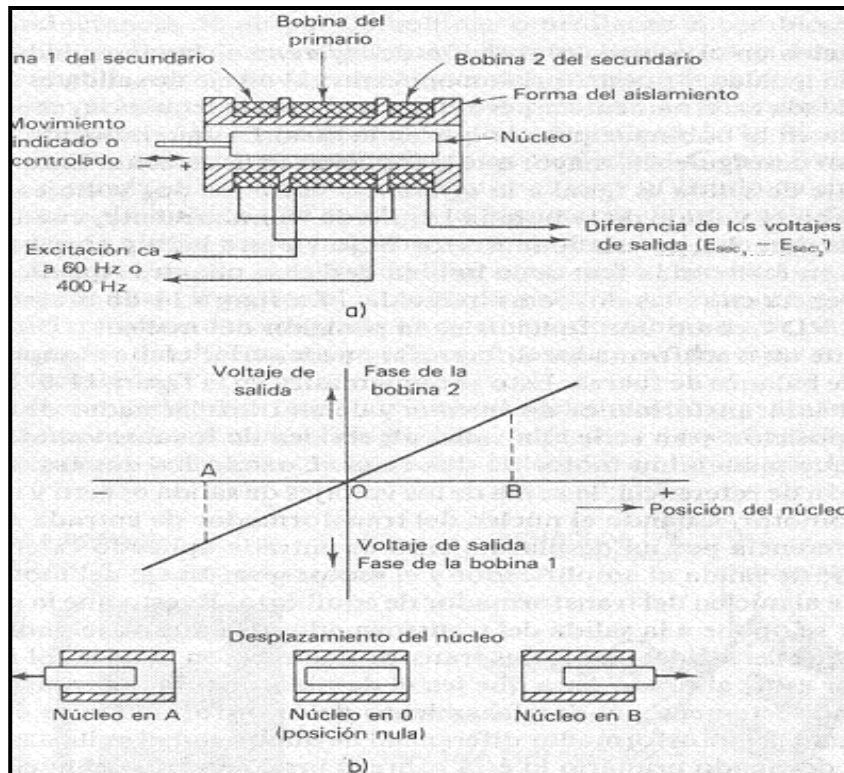
Transductor capacitivo (Cooper,1991).

Transductor inductivo

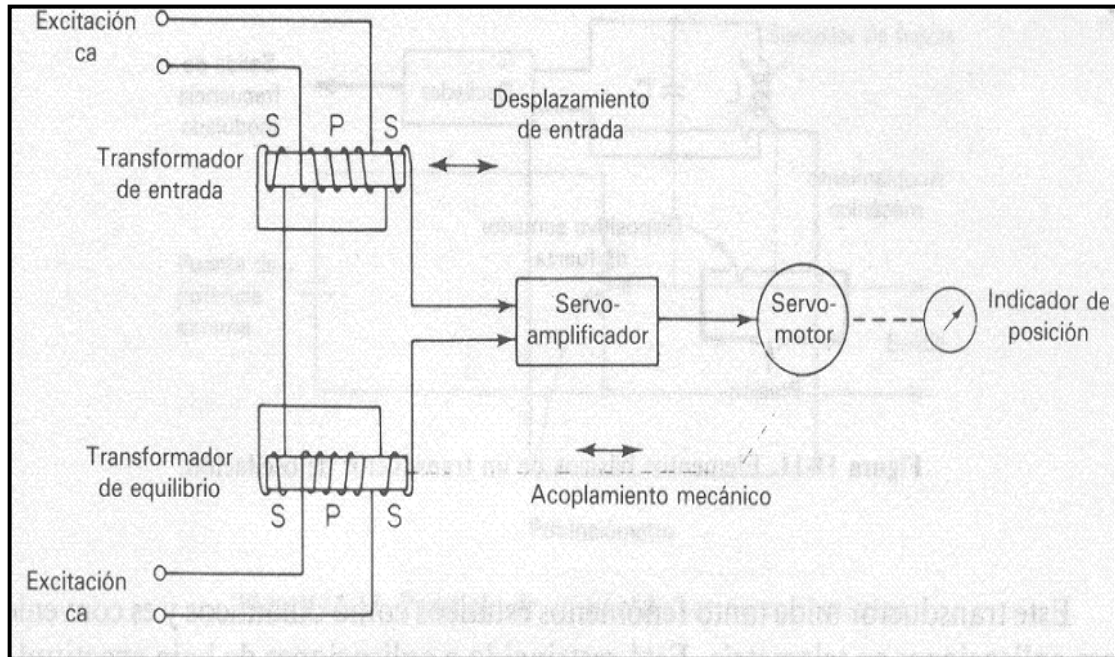


Transductores inductivos (Cooper,1991).

Transductor transformador diferencial variable

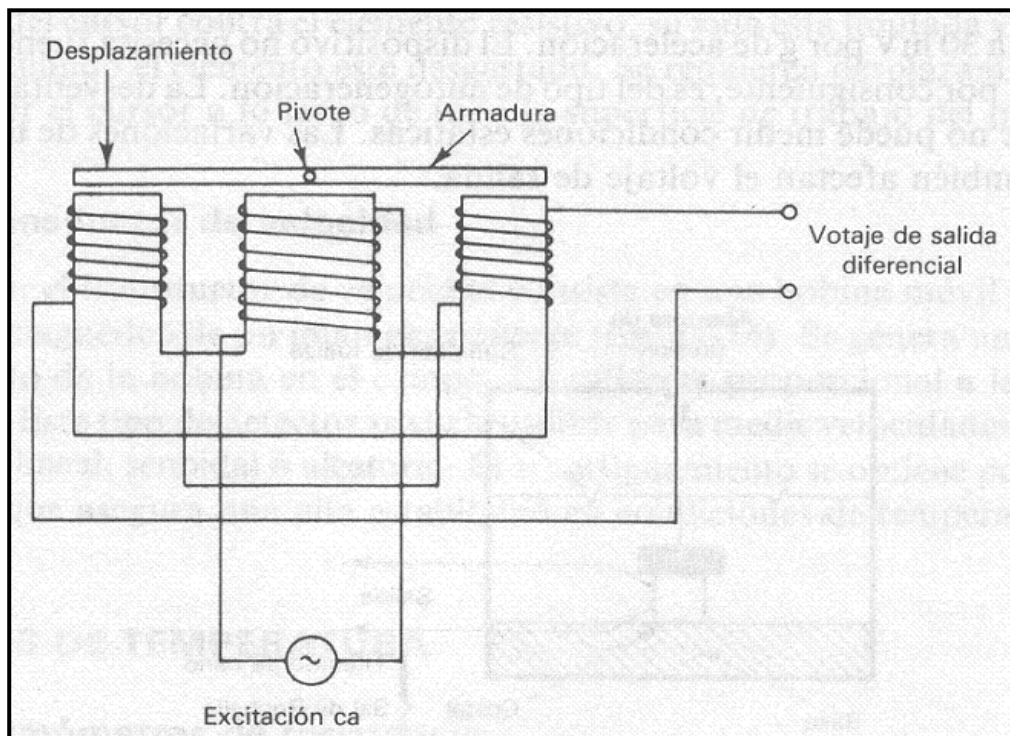


Transformador diferencial variable lineal (LVDT): a) componentes esenciales del LVDT; b) las posiciones relativas de los núcleos generan los voltajes de salidas indicados. Las características lineales se obtienen limitando el movimiento del núcleo, lo cual es un máximo de 5mm a partir de la posición nula (Cooper,1991).

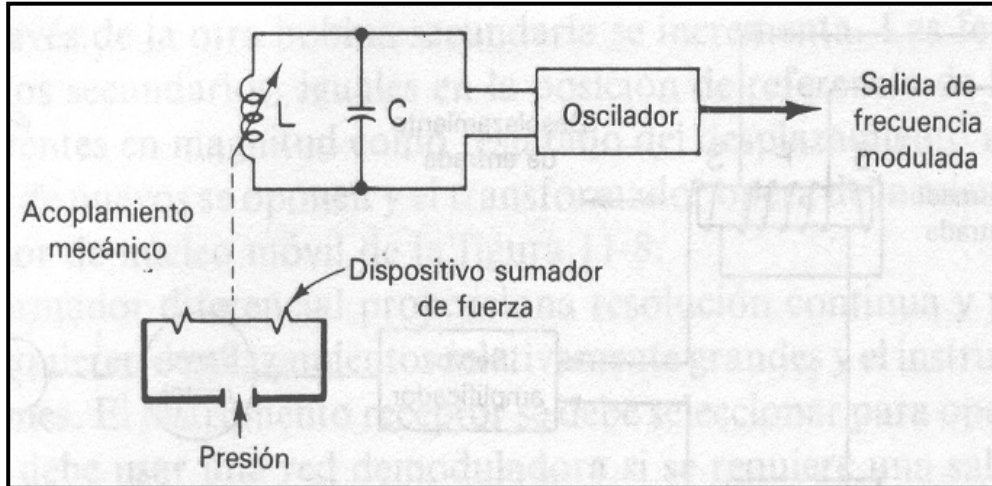


Medición de desplazamiento utilizando dos transformadores diferenciales en un servosistema de lazo cerrado (Cooper,1991).

Transductor de oscilación

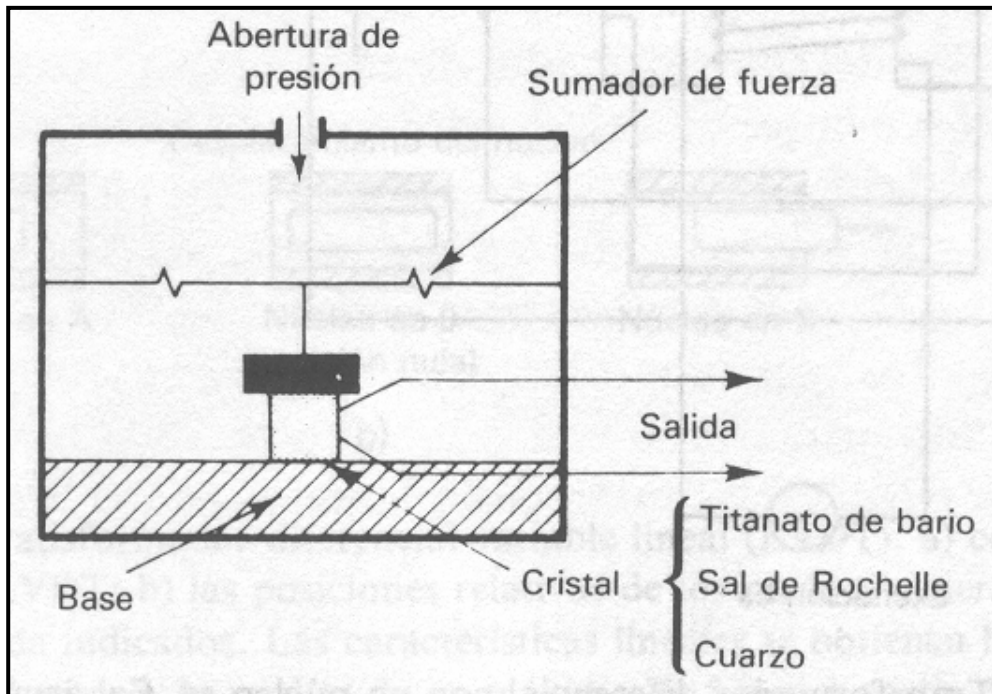


Transformador diferencial con un núcleo en E y armadura con pivote (Cooper,1991).

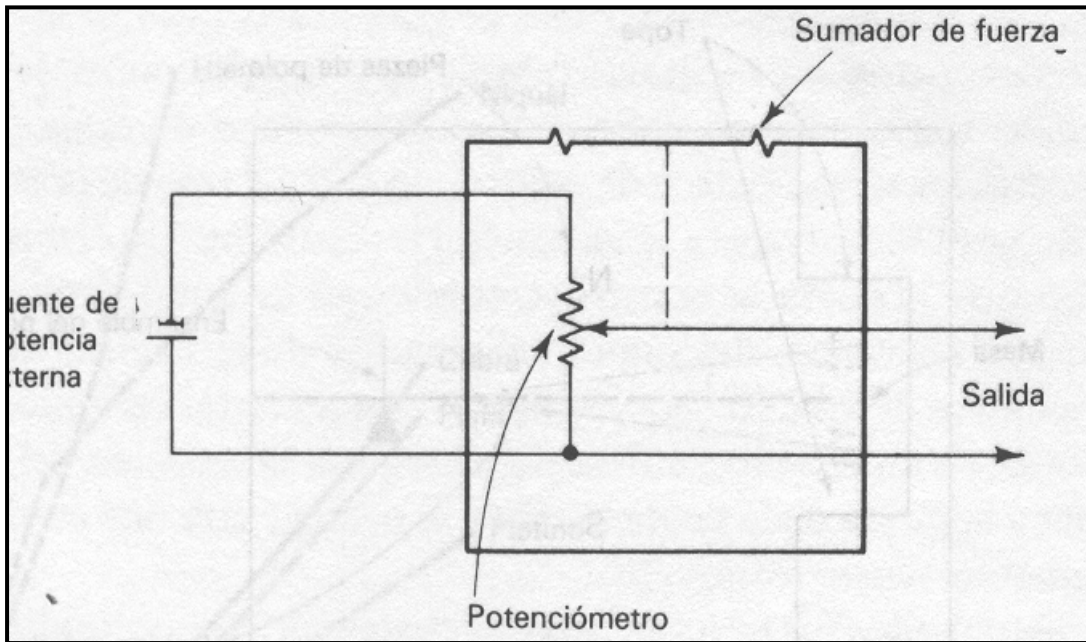


Elementos básicos de un transductor de oscilación (Cooper,1991).

Transductor piezoeléctrico

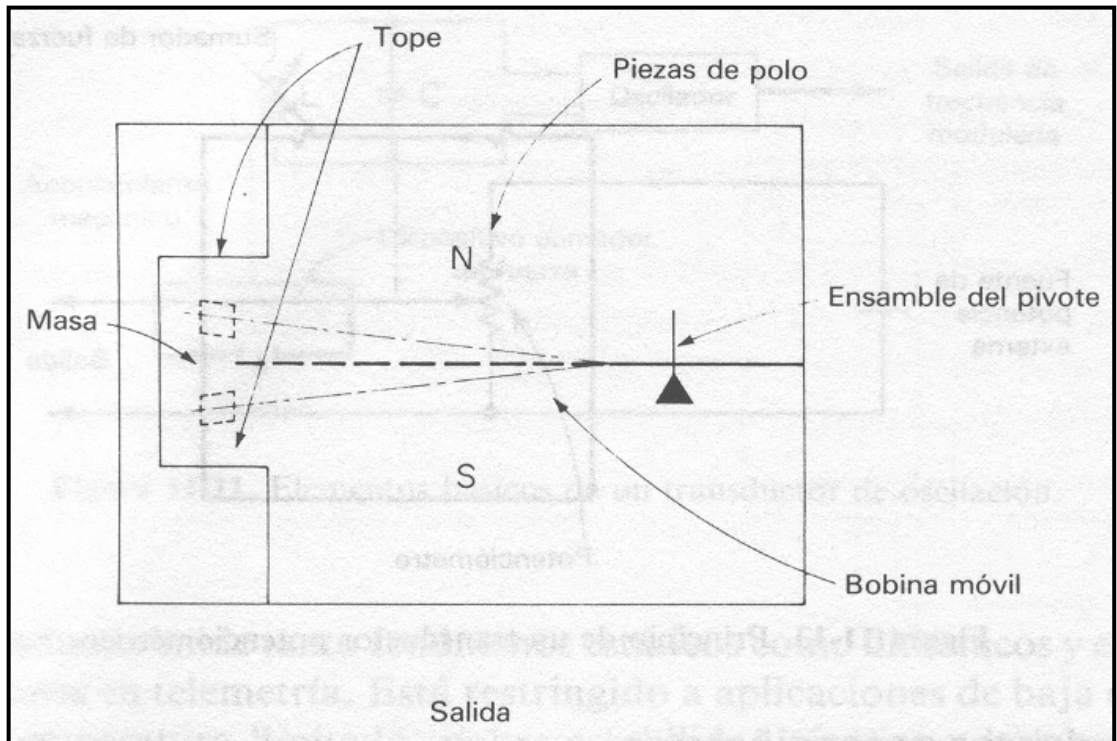


Elementos de un transductor piezoeléctrico (Cooper,1991).



Principio de un transductor potenciométrico (Cooper,1991).

Transductor de velocidad



Elementos de un transductor de velocidad (Cooper,1991).

ANEXO C

DIMENSIONES DE TUBOS DE ACERO CALIBRE 40

Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pic)	(mm)	(pic ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

DIMENSIONES DE TUBOS DE ACERO CALIBRE 80

Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pic)	(mm)	(pic ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.095	2.41	0.215	0.017 92	5.5	0.000 253	2.350 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.119	3.02	0.302	0.025 17	7.7	0.000 497	4.617 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.126	3.20	0.423	0.035 25	10.7	0.000 976	9.067 × 10 ⁻⁵
1/2	0.840	21.3	0.147	3.73	0.546	0.045 50	13.9	0.001 625	1.510 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.154	3.91	0.742	0.061 83	18.8	0.003 00	2.787 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.179	4.55	0.957	0.079 75	24.3	0.004 99	4.636 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.191	4.85	1.278	0.106 5	32.5	0.008 91	8.278 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.200	5.08	1.500	0.125 0	38.1	0.012 27	1.140 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.218	5.54	1.939	0.161 6	49.3	0.020 51	1.905 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.276	7.01	2.323	0.193 6	59.0	0.029 44	2.735 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.300	7.62	2.900	0.241 7	73.7	0.045 90	4.264 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.318	8.08	3.364	0.280 3	85.4	0.061 74	5.736 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.337	8.56	3.826	0.318 8	97.2	0.079 86	7.419 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.375	9.53	4.813	0.401 1	122.3	0.126 3	1.173 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.432	10.97	5.761	0.480 1	146.3	0.181 0	1.682 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.500	12.70	7.625	0.635 4	193.7	0.317 4	2.949 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.593	15.06	9.564	0.797 0	242.9	0.498 6	4.632 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.687	17.45	11.376	0.948 0	289.0	0.705 6	6.555 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.750	19.05	12.500	1.042	317.5	0.852 1	7.916 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.842	21.39	14.314	1.193	363.6	1.117	0.1038
18	18.000	457.2	0.937	23.80	16.126	1.344	409.6	1.418	0.1317
20	20.000	508.0	1.031	26.19	17.938	1.495	455.6	1.755	0.1630
24	24.000	609.6	1.218	30.94	21.564	1.797	547.7	2.535	0.2344

DIMENSIONES DE TUBERÍA DE ACERO

Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pic)	(mm)	(pie ²)	(m ²)
1/8	3.18	0.052	0.813	0.061	0.00505	1.549	2.029×10^{-4}	1.883×10^{-5}
		0.055	0.889	0.055	0.00458	1.797	1.840×10^{-4}	1.533×10^{-5}
3/16	4.76	0.052	0.813	0.124	0.01029	3.137	8.189×10^{-4}	7.728×10^{-6}
		0.055	0.889	0.117	0.00979	2.985	7.570×10^{-4}	6.996×10^{-6}
1/4	6.35	0.055	0.889	0.180	0.01500	4.577	1.787×10^{-3}	1.642×10^{-5}
		0.049	1.24	0.152	0.01267	3.861	1.280×10^{-3}	1.171×10^{-5}
5/16	7.94	0.055	0.889	0.243	0.02021	6.160	3.207×10^{-3}	2.980×10^{-5}
		0.049	1.24	0.215	0.01788	5.448	2.509×10^{-3}	2.531×10^{-5}
3/8	9.53	0.055	0.889	0.305	0.02542	7.747	5.074×10^{-3}	4.714×10^{-5}
		0.049	1.24	0.277	0.02308	7.036	4.183×10^{-3}	3.883×10^{-5}
1/2	12.70	0.049	1.24	0.402	0.03330	10.21	8.814×10^{-3}	8.189×10^{-5}
		0.065	1.65	0.370	0.03083	9.40	7.467×10^{-3}	6.937×10^{-5}
5/8	15.88	0.049	1.24	0.527	0.04192	13.39	1.513×10^{-2}	1.407×10^{-4}
		0.065	1.65	0.495	0.04125	12.57	1.378×10^{-2}	1.242×10^{-4}
3/4	19.05	0.049	1.24	0.652	0.05153	16.56	2.519×10^{-2}	2.194×10^{-4}
		0.065	1.65	0.620	0.05167	15.75	2.097×10^{-2}	1.948×10^{-4}
7/8	22.23	0.049	1.24	0.777	0.06175	19.74	3.795×10^{-2}	3.059×10^{-4}
		0.065	1.65	0.745	0.06208	18.92	3.027×10^{-2}	2.812×10^{-4}
1	25.40	0.065	1.65	0.870	0.07190	22.10	4.128×10^{-2}	3.835×10^{-4}
		0.083	2.11	0.874	0.06950	21.18	3.794×10^{-2}	3.524×10^{-4}
1 1/8	31.75	0.065	1.65	1.120	0.09113	28.45	6.842×10^{-2}	6.336×10^{-4}
		0.083	2.11	1.084	0.09033	27.51	6.100×10^{-2}	5.954×10^{-4}
1 1/2	38.10	0.065	1.65	1.370	0.11142	34.80	1.024×10^{-1}	9.510×10^{-4}
		0.083	2.11	1.334	0.1112	33.88	9.706×10^{-2}	9.017×10^{-4}
1 3/4	44.45	0.065	1.65	1.620	0.1350	41.25	1.411×10^{-1}	1.330×10^{-3}
		0.083	2.11	1.584	0.1320	40.27	1.368×10^{-1}	1.271×10^{-3}
2	50.80	0.065	1.65	1.870	0.1598	47.50	1.907×10^{-1}	1.772×10^{-3}
		0.083	2.11	1.834	0.1528	46.58	1.835×10^{-1}	1.704×10^{-3}

ANEXO D

Medidores de turbina

La Figura 19 muestra la sección transversal de un medidor de turbina típico para líquidos. Consta de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiple, montado sobre cojinetes, para que pueda girar con facilidad, y soportado aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida. La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que, en el margen lineal del medidor, es proporcional a la velocidad media axial del fluido y, por tanto, al caudal volumétrico.

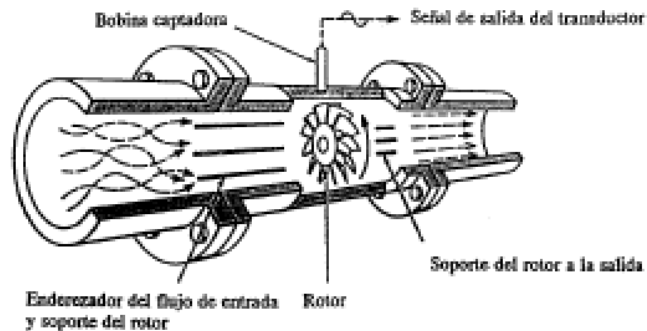


Fig. 19. Sección transversal de un medidor de turbina para líquidos.

Los medidores de turbina para gas o líquido difieren fundamentalmente en el diseño del rotor. Una salida mediante impulsos eléctricos se produce cuando se detecta el paso de cada paleta alrededor de uno o más sensores situados en el campo del medidor. El punto más débil en un medidor de turbina para líquidos son los cojinetes, ya que tienen que soportar el peso del rotor.

Medidores de caudal electromagnéticos

El medidor de caudal electromagnético utiliza el mismo principio básico que el electrogenerador, es decir, cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético se genera una fuerza electromotriz en el conductor, siendo su magnitud directamente proporcional a la velocidad media del conductor en movimiento. Si el conductor es una sección de un líquido conductor circulando por un tubo aislado eléctricamente, a través de un campo magnético y se montan los electrodos diametralmente opuestos en la pared de la tubería, tal como se muestra en la Figura 22, la fuerza electromotriz generada a través de los electrodos es directamente proporcional a la velocidad media del fluido.

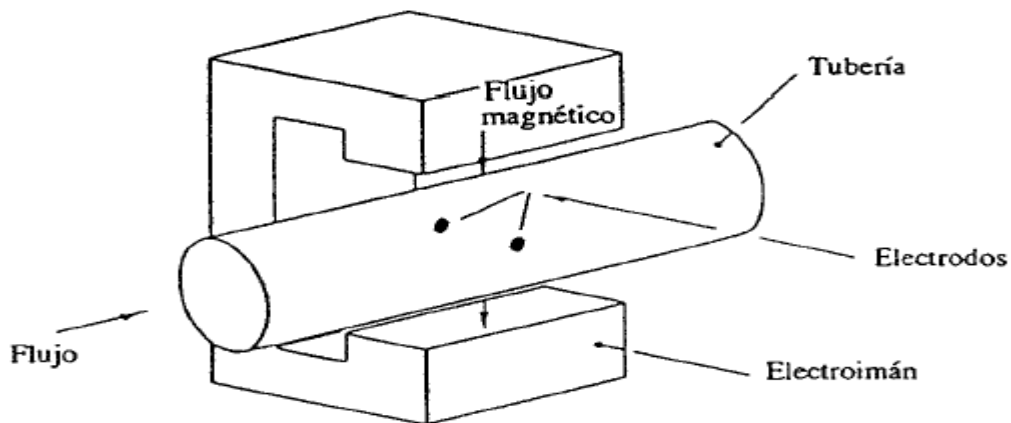


Fig. 22 Elementos de un medidor electromagnético.

Es importante señalar que la diferencia de potencial entre los electrodos es del orden de milivoltios, por lo que dicha señal tiene que ser amplificada mediante un dispositivo secundario denominado convertidor, que proporciona una señal de salida en miliamperios, en voltios o en impulsos. Puesto que los electrodos tienen que hacer un contacto con el fluido, su material tiene que ser compatible con las propiedades químicas del fluido que circula. Entre los materiales más utilizados se pueden citar los siguientes: acero inoxidable no magnético, platino/iridio, monel, hasteloy, titanio, y circonio para líquidos particularmente agresivos.

Medidores ultrasónicos

Dos tipos de medidores ultrasónicos son utilizados, fundamentalmente, para la medida de caudal en circuitos cerrados. El primero (tiempo de tránsito o de propagación) utiliza la transmisión por impulsos, mientras que el segundo (efecto Doppler) usa la transmisión continua de ondas.

Medidores ultrasónicos por impulsos

Los medidores ultrasónicos modulados por impulsos son los más precisos y se utilizan, preferentemente, con líquidos limpios, aunque algunos tipos permiten medidas de líquidos con cierto contenido de partículas y gas. El método diferencial de medida por tiempo de tránsito, se basa en un sencillo hecho físico. Si imaginamos dos canoas atravesando un río sobre una misma línea diagonal, una en el sentido del flujo y la otra en contra del flujo, la canoa que se desplaza en el sentido del flujo necesitará menos tiempo en alcanzar su objetivo.

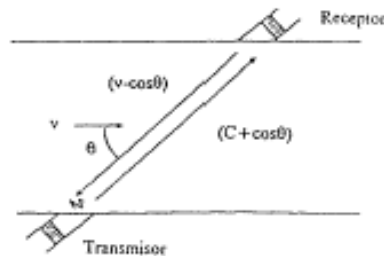


Fig. 23. Tiempo de desplazamiento del impulso.

Las ondas ultrasonoras se comportan exactamente de la misma forma. Las ecuaciones básicas son las mismas para ambos métodos de diferencia de frecuencia y tiempo de propagación. Como se muestra en la Figura 23, un impulso ultrasónico se emite diagonalmente a través de la tubería.

Medidores ultrasónicos utilizando el efecto Doppler

El efecto Doppler puede entenderse fácilmente si se considera el cambio que se produce en la frecuencia cuando un tren se mueve hacia un observador con su

bocina sonando. Cuando el tren se acerca, la bocina es percibida por el observador con una graduación de tono más alta, ya que la velocidad del tren da lugar a que las ondas sonoras sean más próximas que si el tren estuviera parado. De igual manera, si el tren se aleja aumenta el espaciamento, dando como resultado una graduación de tono o frecuencia más baja. Este aparente cambio en la frecuencia se denomina efecto Doppler y es directamente proporcional a la velocidad relativa entre el objeto móvil, el tren, y el observador.

Los medidores ultrasónicos de tipo Doppler utilizan el concepto de que si se deja pasar el ultrasonido en un fluido en movimiento con partículas, el sonido será reflejado de nuevo desde las partículas. La variación de frecuencia del sonido reflejado será proporcional a la velocidad de las partículas.

En la Figura 24 se muestra un cabezal individual transmitiendo con una frecuencia f_T y un ángulo α .

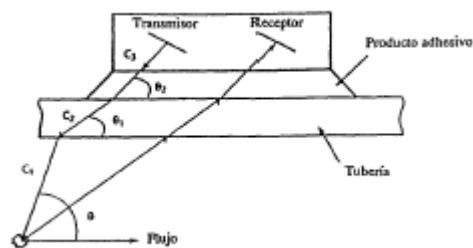


Fig. 24. Cabezal individual transmisor/receptor

El sonido tiene que realizar un recorrido a través del encapsulado, el adhesivo, la pared de la tubería y el fluido. En cada límite de separación el sonido es refractado.

Al igual que en el caso de los medidores magnéticos, los medidores de caudal por ultrasonidos no presentan obstrucciones al flujo, no dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña. Los transductores son incorporados en el cuerpo del medidor, sin necesidad de

juntas en contacto con el fluido. No se necesita tubería en derivación ni válvulas de aislamiento, ya que todos los elementos activos pueden reemplazarse sin contacto alguno con el líquido. Para tuberías de diámetros superiores a 400 mm ofrecen una solución competitiva. Respecto a la precisión, los medidores de tipo magnético pueden llegar hasta un $\pm 0,25\%$ del caudal real, mientras que los de tipo de ultrasonidos hasta un $\pm 0,5 \%$. Su fácil instalación reduce los costes de mantenimiento, y además la medición, sin apenas pérdida de carga, reduce los costos energéticos.

Medidores de paletas deslizantes

En la Figura 15 se muestra un medidor de paletas deslizantes, que consta de un rotor con unas paletas, dispuestas en parejas opuestas, que se pueden deslizar libremente hacia adentro y hacia afuera de su alojamiento. Los miembros de las paletas opuestas se conectan rígidamente mediante varillas, y el fluido circulando actúa sobre las paletas sucesivamente, provocando el giro del rotor. Mediante esta rotación el líquido se transfiere desde la entrada a la salida a través del espacio entre las paletas. Como éste es el único camino para el paso del líquido desde la entrada a la salida, contando el número de revoluciones del rotor, puede determinarse la cantidad de líquido que ha pasado. El cierre se lleva a cabo por la acción de las paletas sobre la pared de la cámara, mediante una combinación de presión de líquido y fuerzas centrífugas, auxiliado por el apriete, mediante resortes, de las paletas contra la pared de la cámara. Esto ayuda a mantener en valores aceptables cualquier escape de líquido que pueda producirse a través de las paletas.

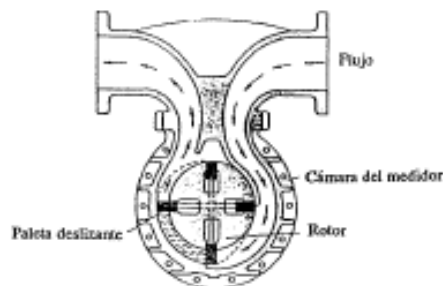


Fig. 15. Medidor de paletas deslizantes.

Medidores de engranajes

Entre los más importantes medidores de engranajes se pueden destacar los siguientes:

- medidores de rueda oval, y
- medidores helicoidales.

Medidores de rueda oval

El medidor de rueda oval, que se muestra en la Figura 16, dispone de dos ruedas ovales que engranan entre sí y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el flujo de líquido. La acción del líquido actúa de forma alternativa sobre cada una de las ruedas, dando lugar a un giro suave de un par prácticamente constante.

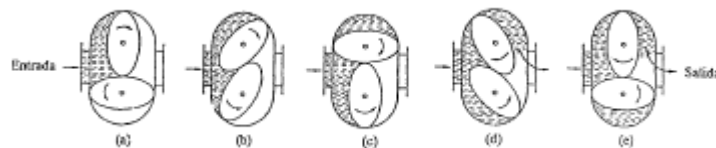


Fig. 16. Medidor de rueda oval.

Tanto la cámara de medida como las ruedas están mecanizadas con gran precisión, con el fin de conseguir que el deslizamiento entre ellas se produzca con el mínimo rozamiento, sin que se formen bolsas o espacios muertos y desplazando la misma cantidad de líquido en cada rotación.

La principal ventaja de estos medidores es que la medida realizada es prácticamente independiente de variaciones en la densidad y en la viscosidad del líquido.

Medidores helicoidales

En la Figura 17 se muestra un medidor de tipo helicoidal, cuyo funcionamiento es similar al de la rueda oval, por lo que no merece más detalles.

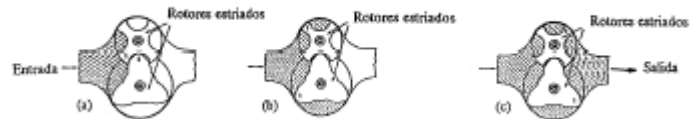


Fig. 17. Medidor de engranajes helicoidales.

ANEXO E

Consideraciones generales para llevar a cabo la instalación del flujómetro.

La fuerza dinámica del flujo de velocidad, se detecta como una fuerza de fricción en una placa (disco) suspendida en la dirección del flujo. Esta fuerza se transmite por medio una barra y un tubo sólido, la cual produce una flexión sobre la galga de tensión del brazo (Figura

1). Este circuito puente de galga extensométrica traduce la tensión mecánica debido a la fricción del sensor en una salida eléctrica generalmente proporcional.

La fuerza de fricción es generalmente proporcional al caudal (Figura 2.). La señal eléctrica no es afectada por variaciones del exterior.

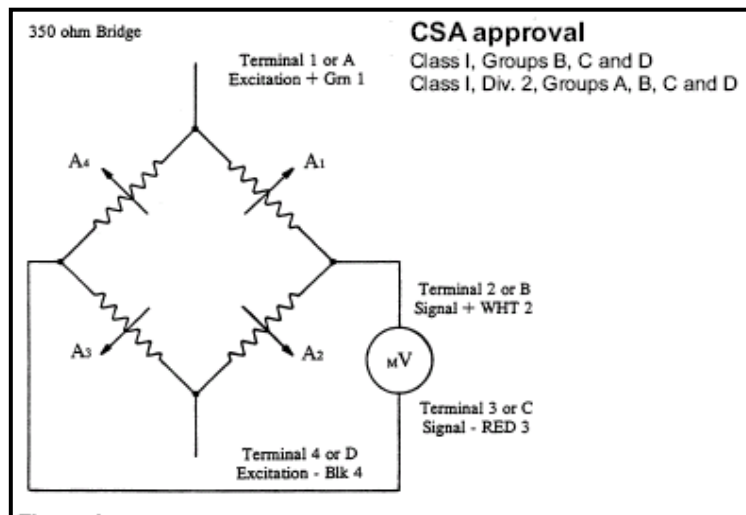


Figura 1 Flexión de la galga de tensión.

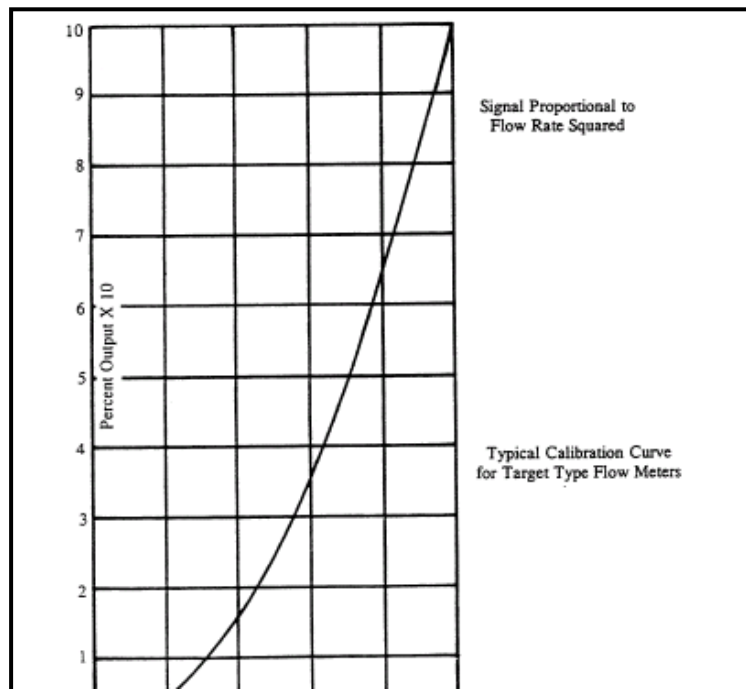


Figura 2 Fuerza de fricción comparado con el caudal.

Principios de instalación

Es recomendable conocer la posición de montaje elegido. Para la C.C. los sistemas excitados, el cable eléctrico deben ser un conductor cuatro o seis cables blindado, cubierto con caucho, neopreno, vinilo o material similar. La galga de alambre se debe elegir tomando en cuenta la resistencia del anillo del plomo en la consideración.

Las terminales eléctricas

A o 1 - puente de excitación + verde

D o 4 - puente de excitación + negro

B o 2 – puente de salida - blanco

C o 3 - puente de salida – rojo

E o 5 conexiones a tierra

Montaje del flujómetro

El flujómetro se puede montar en cualquier posición. Las posiciones más usuales son la forma horizontal y la vertical. Este arreglo se hace más fácil para que el instalador coloque el flujómetro y alinee las juntas. Los sensores integrales de la presión y de temperatura, si son incluidos, no afectan los resultados. En algunas instalaciones el sensor de temperatura está en un tubo pequeño, sellado adyacente a la placa.

Principio de operación

El nivel de flujo del flujómetro se da generalmente en la hoja de datos. La señal es continua sobre el nivel completo al flujo cero. Sin embargo, para utilizar la señal debajo del 10% de flujo, el equipo electrónico asociado debe tener un voltaje ultra-estable y un alto aumento, amplificador estable de excitación. El caudal en

cualquier punto se puede determinar de acuerdo con la señal de salida en ese punto y el nivel completo.

$$Q_I = \sqrt{\frac{E_I}{E_{FS}}} Q_{FS}$$

Donde:

Q_I = caudal instantáneo

Q_{FS} = caudal completo

E_I = voltaje instantáneo de salida

E_{FS} = salida completa de voltaje

Nota: E_I y E_{FS} se pueden sustituir por E_{re} y E_{RFS} , las salidas instantáneas y completa expresadas en milivoltios por voltio de la excitación.

La ecuación anterior es válida siempre que el número de Reynolds (RD) indique que el flujo es turbulento. Asegurándose de que el voltaje de la excitación no excede el voltaje máximo indicado.

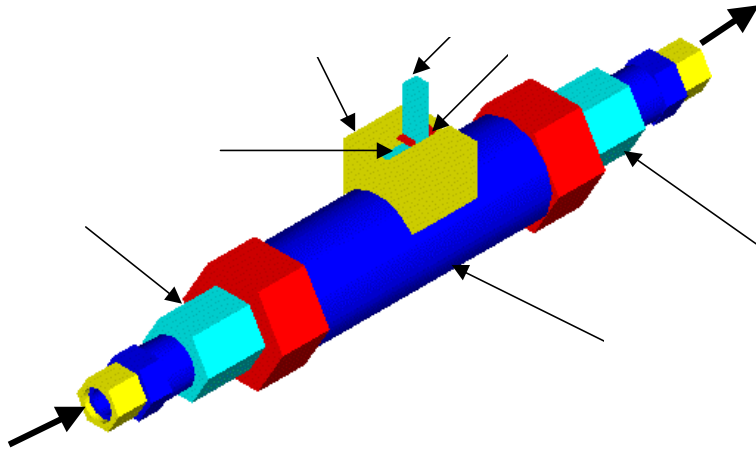
Los elementos de la galga de tensión del flujómetro pueden ser dañados o quemados permanentemente por sobrecargas. Se debe tener precaución para medir el nivel voltaje entre cualquier lado de la fuente de la excitación del puente y la tierra antes de conectar el flujómetro. Cualquier voltaje requiere de aislamiento completo de la fuente de la excitación, por otro lado puede ocurrir una interrupción del voltaje de la galga. Para la estabilidad y la exactitud máximas, dé un plazo por lo menos de 15 minutos de tiempo de calentamiento del sistema. En general, cuanto más bajo es el voltaje de la excitación, menos el tiempo de calentamiento del flujómetro requiere. Para una estabilidad máxima, el voltaje de la excitación debe ser constante.

La mayoría de las galgas comerciales de tensión funcionan con un voltaje del portador o de la excitación entre 3 y 10 voltios.

Calibración eléctrica

Este resistor de calibración se puede conectar permanentemente en el sistema a través de un interruptor normalmente abierto. Así, la estandarización del sistema puede ser comprobada en cualquier momento simplemente parando flujo, presionando el interruptor, y observando la amplitud en el registrador o el indicador de la señal simulada.

**MEDIDOR ELECTRÓNICO DE COMBUSTIBLE PARA
TRACTORES AGRÍCOLAS**



ESPECIFICACIONES		
No. PARTE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Conectores reductores roscados en la entrada	1
2	Tubería ampliada	1
3	Placa circular Apoyo de la placa	1
4	Protección de la placa	4
5	Soporte de la placa	2
6	Conectores reductores roscados en la salida	1



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPTO. DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



MEDIDOR DE COMBUSTIBLE PARA TRACTORES AGRÍCOLAS



DISEÑADO POR:
Angel Mendoza Hernández

REVISADO POR:
M.C. Héctor Uriel Serna Fernández

ESCALA:
1:1

COTA:
Centímetros

NÚMERO:
1

FECHA:
Julio 2004