



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR MARCA GEORGE FISHER
EN UNA ESTACIÓN DE CAUDAL DEL LABORATORIO DE
INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE
TECNOLOGÍAS”**

AUTOR: CHICAIZA COCHA JAIRO JAVIER

Trabajo de Graduación para la obtención del título de:

**TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

LATACUNGA, FEBRERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

UNIDAD DE GESTIÓN DE TEGNOLOGÍAS.

CERTIFICADO

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr. **CHICAIZA COCHA JAIRO JAVIER**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**.

SR. ING. PABLO PILATÁSIG

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, Enero 2015.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TEGNOLOGÍAS.
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Chicaiza Cocha Jairo Javier

DECLARO QUE:

El trabajo de grado denominado “IMPLEMENTACIÓN DE UN TRANSMISOR MARCA GEORGE FISHER EN UNA ESTACIÓN DE CAUDAL DEL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”, ha sido desarrollado en base a una investigación científica exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de trabajo de grado en mención.

Latacunga, Enero 2015

Chicaiza Cocha Jairo Javier

C.I. 1804633194

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TEGNOLOGÍAS.
AUTORIZACIÓN

Yo, Chicaiza Cocha Jairo Javier

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo “CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CAUDAL Y PUESTA EN SERVICIO DEL TRANSMISOR DE CAUDAL PARA EL LABORATORIO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS-ESPE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Enero 2015

Chicaiza Cocha Jairo Javier

C.I. 1804633194

DEDICATORIA

Primordialmente dedico este trabajo, por mi esfuerzo y dedicación a Dios porque siempre me ha enseñado que nunca estaré solo en el mundo, después dedico esto a mis padres por haberme inculcado buenos valores y sobre todo la educación que ellos me brindaron, también dedicárselo a la única mujer que amado en toda esta vida y que a pesar de todo lo vivido, siempre será el amor de mi vida gracias Eva Marisol, por todo lo que me has dado.

Jairo Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento infinito y profundo a la Universidad de las fuerzas Armadas (ESPE), y sobre todo a mis padres que me han brindado toda su confianza y así he seguido adelante para poder ser una persona de bien.

Y un agradecimiento muy grande al Ing. Pablo Pilatasig, por todo conocimiento compartido en este tiempo, todas las enseñanzas, anécdotas y sobre todo por ser mi director en este trabajo que requirió de mucho esfuerzo y dedicación.

Gracias a todos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.	1
1.3. OBJETIVOS:	2
1.3.1. General:	2
1.3.2. Específicos:	2
1.4. ALCANCE.....	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. SISTEMA DE CAUDAL.....	3
2.2. TRANSMISOR DE CAUDAL.....	3
2.2.1. Transmisores industriales.	5
2.2.2. Transmisores neumáticos.	6
2.2.3. Transmisores electrónicos.	6

2.2.4. Transmisores inteligentes.	7
2.2.5. Transmisor signet 9900 smartpro™.	8
2.2.6. Signet 8510 sensor de flujo de rueda de paletas.....	11
2.3. BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	12
2.3.1. Principio de funcionamiento.....	13
2.3.2. Bomba centrifuga marca THEBE datos técnicos.	13
2.4. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC'S).....	14
2.4.1. PLC SIEMENS S7-1200.	15
2.5. VARIADORES DE FRECUENCIA.....	20
2.5.1. Principio de funcionamiento.....	20
2.6. DIAGRAMA P&ID.....	22
CAPÍTULO III	25
DESARROLLO DEL TEMA	25
3.1. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CAUDAL.	25
3.1.1. Construcción de la estructura de la estación.	26
3.1.2. Montaje de los equipos en la estación.	26
3.1.4. Montaje de la tubería en la bomba centrifuga.....	28
3.1.5. Montaje del transmisor de caudal.....	28
3.2. Especificación de requisitos del sistema.	32
3.3. ESQUEMA DEL PANEL FRONTAL.	32
3.4. DIAGRAMA P&ID DE LA ESTACIÓN DE CAUDAL.	33
3.5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	34
3.5.1. Diagrama de bloques a lazo abierto.	36
3.5.2. Diagrama de bloques a lazo cerrado.	37
3.6. DIAGRAMA ELÉCTRICO.	37

3.7. AJUSTE DEL TRANSMISOR DE CAUDAL.	40
3.7.1. Modificar parámetros del trasmisor de caudal.	40
3.7.2. Modificar las operaciones del transmisor de caudal.	42
3.8. RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	44
3.9. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SITEMA.....	45
3.10. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL TRANSMISOR DE CAUDAL....	45
3.11. TEST DE PRUEBAS DEL TRANSMISOR.....	67
3.11.1. Test de pruebas en el trasmisor de caudal.	69
CAPÍTULO IV.....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
4.1. Conclusiones.	71
4.2. Recomendaciones.	72
GLOSARIO DE TÉRMINOS	73
NETGRAFÍA	76
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Average=OFF, Sensibility=0.....	47
Tabla 2: Average=OFF, Sensibility=25.....	48
Tabla 3: Average=OFF, Sensibility=50.....	49
Tabla 4: Average=OFF, Sensibility=75.....	50
Tabla 5: Average=OFF, Sensibility=100.....	51
Tabla 6: Average=LOW, Sensibility=0.....	52
Tabla 7: Average=LOW, Sensibility=25.....	53
Tabla 8: Average=LOW, Sensibility=50.....	54
Tabla 9: Average=LOW, Sensibility=75.....	55
Tabla 10: Average=LOW, Sensibility=100.....	56
Tabla 11: Average=MED, Sensibility=0.....	57
Tabla 12: Average=MED, Sensibility=25.....	58
Tabla 13: Average=MED, Sensibility=50.....	59
Tabla 14: Average=MED, Sensibility=75.....	60
Tabla 15: Average=MED, Sensibility=100.....	61
Tabla 16: Average=HIGH, Sensibility=0.....	62
Tabla 17: Average=HIGH, Sensibility=25.....	63
Tabla 18: Average=HIGH, Sensibility=50.....	64
Tabla 19: Average=HIGH, Sensibility=75.....	65
Tabla 20: Average=HIGH, Sensibility=100.....	66
Tabla 21: Pruebas realizadas en el transmisor de caudal.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Transmisor de caudal Signet 9900 SmartPro™	9
Figura 2: Sensor de flujo de rueda de paletas GF Signet 8510	11
Figura 3: Bomba centrífuga.	12
Figura 4: Principio de funcionamiento.	13
Figura 5: Placa de bomba centrífuga marca THEBE.	14
Figura 6: Controladores lógicos programables.	14
Figura 7: PLC S7 1200 y partes	16
Figura 8: Interfaz PROFINET integrada.	17
Figura 9: Módulos de señales para PLC S7-1200.	18
Figura 10: Módulos de señales integradas para PLC S7-1200	19
Figura 11: Módulos de comunicación para PLC S7-1200	19
Figura 12: Variador de frecuencia.	20
Figura 13: Principio de funcionamiento	21
Figura 14: Ejemplo diagrama P&ID	24
Figura 15: Equipos montados en la estación de caudal.	25
Figura 16: Construcción de la estación de caudal	26
Figura 17: Bomba centrífuga	26
Figura 18: Parte frontal de la estación de caudal.	27
Figura 19: Sistema eléctrico físico.	27
Figura 20: Diámetro de la tubería	28
Figura 21: Montaje del transmisor de caudal	28
Figura 22: Conexión para energizar el transmisor de flujo.	29
Figura 23: Colocación de bornera en el trasmisor	30
Figura 24: Conexión sensor 8510.	30

Figura 25: Parte física de conexión sensor de paletas 8510.....	31
Figura 26: Procedimiento de reemplazo del rotor.....	32
Figura 27: Esquema del panel frontal.....	33
Figura 28: Diagrama P&ID del sistema.....	33
Figura 29: Diagrama de bloques del sistema.	35
Figura 30: Diagrama de bloques a lazo abierto.	36
Figura 31: Diagrama de bloques a lazo cerrado.	37
Figura 32: diagrama eléctrico.	39
Figura 33: Transmisor de caudal Signet 9900 SmartPro™.	40
Figura 34: Acceso al menú de selección.	40
Figura 35: Contraseña de acceso.....	41
Figura 36: Opciones menú de selección.....	41
Figura 37: Salir del menú de ajuste.....	42
Figura 38: Acceso al menú de selección.	43
Figura 39: Contraseña de acceso.....	43
Figura 40: Salir del menú de ajuste.....	44
Figura 41: Acceso al menú de selección.	46
Figura 42: Contraseña de acceso.....	46
Figura 43: Average=0FF, Sensibility=0.....	48
Figura 44: Average=0FF, Sensibility=25.....	49
Figura 45: Average=0FF, Sensibility=50.....	50
Figura 46: Average=0FF, Sensibility=75.....	51
Figura 47: Average=0FF, Sensibility=100.....	52
Figura 48: Average=LOW, Sensibility=0.....	53
Figura 49: Average=LOW, Sensibility=25.....	54

Figura 50: Average=LOW, Sensibility=50.....	55
Figura 51: Average=LOW, Sensibility=75.....	56
Figura 52: Average=LOW, Sensibility=100.....	57
Figura 53: Average=MED, Sensibility=0.	58
Figura 54: Average=MED, Sensibility=25.	59
Figura 55: Average=MED, Sensibility=50.	60
Figura 56: Average=MED, Sensibility=75.	61
Figura 57: Average=MED, Sensibility=100.	62
Figura 58: Average=HIGH, Sensibility=0.....	63
Figura 59: Average=HIGH, Sensibility=25.....	64
Figura 60: Average=HIGH, Sensibility=50.....	65
Figura 61: Average=HIGH, Sensibility=75.....	66
Figura 62: Average=HIGH, Sensibility=100.....	67
Figura 63: Acceso al menú de selección.	67
Figura 64: Contraseña de acceso.....	68
Figura 65: Salir del menú de ajuste.....	68
Figura 66: Prueba de corriente del transmisor de caudal.....	70

RESUMEN

La finalidad de este trabajo de graduación fue implementar un transmisor de caudal George Fisher modelo Signet 9900 el cual ofrece una interfaz mono canal para numerosos parámetros distintos, como caudal, pH o potencial redox, conductividad o resistividad, presión, temperatura, nivel, salinidad y señales de salida de 4 a 20 mA de otros tipos de sensores. A través de un sensor de rueda de paletas Signet 8510. Luego de haber ajustado ciertos parámetros como un factor K que es ingresado de acuerdo a las especificaciones del sensor, como diámetro de tubería, galones por minuto (GPM) establecidos y ajuste del transmisor que dependió de pruebas realizadas en pleno funcionamiento de la estación. Para que por medio de un variador de frecuencia, envíe una señal de 0 a 60Hz y haga que la bomba centrífuga varíe su velocidad de flujo, y entonces el sensor capte dicho caudal y lo interprete tal y como fue ajustado el transmisor. Por esta razón el rango que fue establecido en la medición de caudal por el transmisor es de 30 galones por minuto (GPM), para obtener una correcta sintonía con todos los dispositivos instalados en la estación. La versatilidad de este transmisor son sus funciones paramétricas y sus características modulares hace que esta unidad resulte idónea para diversas aplicaciones, entre las que se incluyen las siguientes: tratamiento de aguas residuales, ósmosis inversa, deionización, fabricación de productos químicos, tratamientos de acabado de metales y plásticos, lavadores de gases, torres de refrigeración y filtración de medios.

PALABRAS CLAVE:

- **TRANSMISOR.**
- **SENSORES.**
- **SEÑAL ESTANDAR.**
- **CAUDAL.**
- **AJUSTE.**

ABSTRACT

The purpose of this graduate work was to implement a flow transmitter George Fischer Signet 9900 model which provides a mono channel interface for many different parameters such as flow rate, pH or redox potential, conductivity or resistivity, pressure, temperature, level, salinity and output signals of 4 to 20 mA of other types of sensors. Through a paddlewheel sensor Signet 8510. After having set certain parameters as a K factor which is paid according to the specifications of the sensor, such as pipe diameter, gallons per minute (GPM) set and adjust the transmitter depended on tests performed in the operation of the station. To that through an inverter, send a signal from 0 to 60Hz and then the centrifugal pump varied its flow rate, and then the flow sensor that captures and interprets it as the transmitter was adjusted. For this reason the range that was established in flow measurement by the transmitter is 30 gallons per minute (GPM) to obtain a correct tune with all the devices installed on the station. The versatility of this transmitter are its parametric functions and modular features makes this unit ideally suited for various applications, among which include the following: waste water treatment , reverse osmosis, deionization, chemical manufacturing , finishing treatments metals and plastics, scrubbers , cooling towers and filtration media .

KEY WORDS:

- **TRANSMITTER.**
- **SENSORS.**
- **SIGNAL STANDARD.**
- **CAUDAL.**
- **SETTING.**

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el laboratorio de Instrumentación Virtual, no cuenta con estaciones didácticas para el estudio de diferentes variables relacionadas con procesos industriales que permitan al estudiante desarrollar sus conocimientos teóricos. El desconocimiento en el uso de estas tecnologías puede ser una desventaja frente a otros profesionales en el ambiente laboral que es muy exigente.

El no contar con estaciones de procesos para el monitoreo y control automático de sus variables, no permiten desarrollar prácticas relacionadas con la Instrumentación como son puesta en servicio de transmisores de caudal, ajuste y calibración de transmisores de caudal, adquisición de señales estándares de corriente de 4-20mA, entre otras prácticas de laboratorio relacionadas con la Instrumentación.

En vista de las necesidades antes mencionadas no existen estaciones didácticas de caudal y presión por lo que a futuro sería importante la construcción de dicha estación.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

Al ver la necesidad de una estación de CAUDAL que posea instrumentos industriales de alta tecnología como transmisor, PLC, VARIADOR, TOUCH PANEL y BOMBA, se plantea la construcción de dicha estación para que esta sea de gran ayuda en la formación profesional de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE-UGT.

Actualmente en el Laboratorio de Instrumentación Virtual no existen estaciones didácticas de caudal que permitan fortalecer el conocimiento teórico de los alumnos, por lo que se tiene la necesidad de construir dicha estación con instrumentos acordes a la tecnología actual y que se implementan en el ámbito industrial a fin de que sirva de ayuda en la capacitación de los estudiantes en la calibración y ajuste del transmisor de caudal y así permitir una buena formación profesional.

El resultado de este tipo de proyectos, permitirá obtener conocimientos significativos en el ámbito industrial que ayuden al estudiante a obtener recursos para su vida profesional, por esta razón se empieza la construcción de una estación de

CAUDAL y la puesta en servicio del transmisor para el laboratorio de instrumentación virtual de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.UGT.

1.3. OBJETIVOS:

1.3.1. General:

Implementar un transmisor marca George Fisher en una estación de caudal del laboratorio de instrumentación virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

1.3.2. Específicos:

- Investigar el funcionamiento de un proceso de caudal.
- Investigar los diferentes dispositivos para la construcción de la estación de caudal.
- Seleccionar los diferentes dispositivos para la construcción de la estación de caudal.
- Construir la estación de caudal.
- Implementar los diferentes dispositivos adquiridos en la estación de caudal.
- Realizar ajuste del transmisor de caudal.

1.4. ALCANCE

Este proyecto está dirigido a la Carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica de la Unidad de Gestión de Tecnologías para un conocimiento más amplio teórico-práctico de los alumnos y docentes de esta carrera. La finalidad de este proyecto es la construcción de una estación de caudal y puesta en servicio del transmisor de caudal para el laboratorio de instrumentación virtual de la unidad de gestión de tecnologías de la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. SISTEMA DE CAUDAL.

El caudal nominal mide el volumen de líquido que pasa a través de un sistema bajo condiciones de presión específicas. Dependiendo de la región, puede ser medido en galones por minuto, o GPM, o litros por minuto, o LPM. Los cálculos para determinarlas pueden ser críticos para una operación de mantenimiento exitosa y el diseño de varios sistemas de cañerías o industriales.

Los fluidos están presentes en la mayoría de los procesos industriales, ya sea porque intervienen en forma directa en el proceso de producción o porque pertenecen a los circuitos secundarios necesarios. Sea por la razón que sea, los fluidos están ahí y, por tanto, hay que controlarlos, para lo que es necesario saber en todo momento cuáles son las principales características de los fluidos, que pueden variar mucho de una aplicación a otra. En el mercado existe una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación como de principios de funcionamiento. Esto es debido a que se intenta conseguir la máxima precisión para la mayor cantidad de aplicaciones.

El caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Dependiendo del tipo de fluido puede ser caudal nominal (líquidos) o caudal de aire. **Fuente:** (Fernández, 2014)

2.2. TRANSMISOR DE CAUDAL.

El transmisor de caudal es un instrumento que capta la variable en el proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador; pero en realidad es eso y mucho más, la función primordial de este dispositivo es tomar cualquier señal para convertirla en una señal estándar adecuada para el instrumento receptor, es así como un transmisor capta señales tanto de un sensor como de un transductor, aclarando siempre que todo transmisor es transductor más no un transductor puede

ser un transmisor de caudal; como ya sabemos las señales estándar pueden ser neumáticas cuyos valores están entre 3 y 15 Psi, las electrónicas que son de 4 a 20 mA o de 0 a 5 voltios Dc, las digitales que entregan 0 o 5 voltios para 0 o 1 respectivamente.

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicos, hidráulicas, digitales y telemétricas. Las más usadas en la industria son las neumáticas, las hidráulicas se utilizan ocasionalmente cuando se necesita una gran potencia y las señales telemétricas se emplean cuando hay una distancia de varios kilómetros entre el trasmisor y el receptor.

Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable linealmente de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) para el campo de medida de 0-100% de la variable. Esta señal está normalizada por la SAMA, (Scientific Apparatus Makers Association), Asociación de fabricantes de instrumentos y ha sido adoptada en Genaro por los fabricantes de transmisores y controladores neumáticos en EEUU.

Fuente: (Transmisores, 2014)

- **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 de agua o agua municipal o sistemas de drenaje. 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.

- **Exactitud requerida.**

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

- **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 de flujo, causando así la pérdida de energía.

- **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, las propiedades de lubricación y homogeneidad.

- **Calibración.**

Se requiere de calibración en algunos tipos de medidores. 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 los 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 fácil de medición, tal como una diferencia de presión o un nivel de fluido. **Fuente:** (Guerra, 2013)

2.2.1. Transmisores industriales.

Los transmisores son instrumentos que convierten la señal captada por el transductor (variable del proceso) en una señal estándar (al ser estándar es compatible con cualquier instrumento de control con independencia de su marca comercial), que se transmite a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o combinación de estos.

Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Según el tipo de señal se clasificarán los transmisores. **Fuente:** (Marcos, 2003)

2.2.2. Transmisores neumáticos.

Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable linealmente de 3 a 15 psi para el campo de medida de 0-100% de la variable. Utilizando el sistema métrico decimal la señal que se empleará será de 0,2 a 1 bar, siendo prácticamente equivalente a la anterior. Así, por este procedimiento, según la presión de salida se transmitirá un valor de la variable de medición.

Existen varias configuraciones posibles basándose todas ellas en un sistema tobera obturador, mediante el cual se regula la presión de la señal de salida. El movimiento del obturador, dejando más sección de la tobera libre o menos, determina la presión de salida, así sólo queda regular el movimiento de éste en función de la señal de entrada.

Los transmisores neumáticos presentan las siguientes características:

- Un consumo de aire más bajo para el caudal nulo de salida.
- Un caudal mayor de salida hacia el receptor.
- Una zona muerta de presiones de salida.
- Son de acción directa. **Fuente:** (Mavinsa, 2009)

2.2.3. Transmisores electrónicos.

Desde la introducción de los instrumentos electrónicos hace décadas, existe un enorme avance en el diseño de sensores y transductores de presión electrónicos. Este avance ha venido sobre todo del campo aeroespacial. Otra razón está en el desarrollo de los semiconductores, circuitos impresos, etc. Muchos sensores electrónicos incorporan elementos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica. Generalmente son más precisos y de más rápida respuesta que los mecánicos. Esto se debe en parte a la precisión de los circuitos electrónicos y en parte a los pequeñísimos movimientos que se necesitan en los elementos elásticos para obtener el cambio eléctrico. **Fuente:** (Becerra, 2011)

Los transmisores electrónicos presentan las siguientes características:

- Generan una señal estándar de 4-20 mA c.c.
- A veces esta señal de salida es sustituida por un voltaje de 1-5V, si existen problemas de suministro electrónico.
- La señal de corriente guarda relación entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo.
- Al ser corriente continua y no alterna, elimina la posibilidad de captar perturbaciones, está libre de corriente parásitas, emplea sólo dos hilos que no precisan blindaje y permite actuar directamente sobre miliamperímetros, potenciómetros, calculadores analógicos, etc. Sin necesidad de utilizar rectificadores ni modificar la señal.
- La relación de 4 a 20 mA c.c. es de 1 a 5 la misma que la razón de 3 a 15 psi en la señal neumática y el nivel mínimo seleccionado de 4 mA elimina el problema de la corriente residual que se presenta al desconectar los circuitos a transistores.
- El cero vivo con que empieza la señal (4 mA c.c.) ofrece las ventajas de poder detectar una avería por corte de un hilo (la señal se anula) y de permitir diferenciar todavía más el ruido de la transmisión cuando la variable está en su nivel más bajo. **Fuente:** (Montenegro, 2012)

2.2.4. Transmisores inteligentes.

Son aquellos instrumentos capaces de realizar funciones adicionales a la de la transmisión de la señal del proceso gracias a un microprocesador incorporado. Los transmisores inteligentes permiten leer valores, configurar el transmisor, cambiar su campo de medida, diagnosticar averías, calibración y cambio en el margen de medida. Algunos transmisores gozan de auto calibración, auto diagnóstico de elementos electrónicos; su precisión es de 0.075%.

Monitorea las temperaturas, estabilidad, campos de medida amplios, posee bajos costos de mantenimiento pero tiene desventajas como su lentitud, frente a variables

rápidas puede presentar problemas y para el desempeño en las comunicaciones no presenta dispositivos universales, es decir, no intercambiable con otras marcas.

2.2.5. Transmisor signet 9900 smartpro™.

El transmisor Signet 9900 ofrece una interfaz mono canal para numerosos parámetros distintos, como caudal, pH o potencial redox, conductividad o resistividad, presión, temperatura, nivel, salinidad y señales de salida de 4 a 20 mA de otros tipos de sensores. Sus funciones mono canal y multiparamétrica y su diseño modular actualizable sobre el terreno permiten a los clientes mejorar su nivel de servicio y, al mismo tiempo, mantener unos niveles bajos de inventario en todo momento. **Fuente:** (Fischer, 2013)

El transmisor 9900 es un miembro de los instrumentos SmartPro™ de Signet, proporciona una interfaz de un solo canal para todas las aplicaciones mediante el intercambio del sensor. El transmisor posee las siguientes aplicaciones:

- Medición de caudal de líquidos.
- Medición de pH / Medición de ORP.
- Medición de Conductividad / Medición de Resistividad / Medición de Salinidad.
- Medición de Turbidez.
- Medición de Cloro libre.
- Medición de Temperatura.
- Medición de Presión.
- Medición de Nivel.

Para la implementación del sistema de presión se utiliza el sensor con el código 2450 y para el de temperatura se emplea el 2350 propios de la marca Signet.

Las principales características del transmisor Georg Fischer 9900 son:

- El transmisor proporciona una señal de salida de 4 - a 20 mA.
- La pantalla bien iluminada y la pantalla extra grande (aprox. 99 x 99 mm) con retroiluminación automática se pueden leer en comparación con los transmisores convencionales en cuatro a cinco veces la distancia.
- La pantalla muy bien iluminada y caracteres grandes reducen el riesgo de falsas lecturas o interpretaciones erróneas de los valores mostrados.
- La pantalla digital muestra líneas separadas para las unidades, medidas y una pantalla analógica digital del valor medido.
- El transmisor 9900 puede montarse en el panel o en el campo tal como se muestra en la figura 1. Ambas versiones pueden funcionar con voltaje de 10,8 a 35,2 VCC (24 VCC nominales), y pueden alimentar ciertos sensores con corriente de bucle

El transmisor se puede utilizar para la programación rápida y fácil con los valores por defecto. El indicador analógico digital también es programable.



Figura 1: Transmisor de caudal Signet 9900 SmartPro™

Fuente: (+GF+, 2014).

Una de las principales características de este nuevo dispositivo es su amplia pantalla (3,90 x 3,90") con detección automática y retroiluminación, que hace que los datos resulten visibles a una distancia entre 4 y 5 veces mayor que con otros transmisores. El elevado nivel de iluminación de esta pantalla y sus caracteres de gran tamaño reducen el riesgo de que se produzcan lecturas o interpretaciones

erróneas de los valores presentados en pantalla. Asimismo, la pantalla presenta líneas independientes para las unidades y las mediciones principales y secundarias, así como un gráfico digital semicircular con barras. También incluye LED de relés y de advertencia y un menú intuitivo que facilita su programación.

Sus módulos complementarios, diseñados para ofrecer una flexibilidad máxima, permiten adaptar fácilmente la unidad a los cambios en las necesidades de los clientes. Entre los módulos opcionales se incluyen módulos para relés, de conductividad/resistividad directa y H COMM, así como una herramienta de configuración PC COMM. Esta unidad puede utilizarse con sus valores predeterminados, que posibilitan una programación rápida y sencilla, o personalizarse con etiquetas, ajustes mínimos y máximos para el gráfico semicircular de barras y opciones de selección de las unidades y posiciones decimales para las mediciones. Este versátil dispositivo también permite utilizar señales de 4 a 20 mA de otros dispositivos como entradas, con la ayuda de un convertidor del modelo 8058.

"El transmisor Signet 9900 se desarrolló con el fin de poner numerosas funciones nuevas a disposición de nuestros clientes y, al mismo tiempo, mantener muchas de las funciones de nuestras gamas ProcessPro y ProPoint a las que éstos ya se han acostumbrado", señala Norma Frotton, gestora de productos de Georg Fischer Signet. "Además de su función mono canal para múltiples parámetros, la nueva pantalla facilita enormemente la lectura de valores en ambientes con baja iluminación, a una distancia entre 4 y 5 veces mayor que con otros transmisores".

Este transmisor se encuentra disponible en versiones montadas en panel o para su montaje en campo. Ambas versiones pueden funcionar utilizando una fuente de alimentación de 12 a 32 V c.c. (valor nominal: 24 V c.c.). Además, el transmisor Signet 9900 también puede recibir alimentación conectándolo a otros sensores compatibles. La precisión de la señal de salida es de $\pm 32 \mu\text{A}$ de error máximo a 25 °C y 24 V c.c., con una resolución de 6 μA o superior. Entre las normas que cumple y las homologaciones que posee se incluyen las siguientes: NEMA 4X/IP 65, CE y UL, así como la normativa china de restricción del uso de sustancias peligrosas (RoHS, por sus siglas en inglés).

La versatilidad de sus funciones paramétricas y sus características modulares hace que esta unidad resulte idónea para diversas aplicaciones, entre las que se incluyen las siguientes: tratamiento de aguas residuales, ósmosis inversa, deionización, fabricación de productos químicos, tratamientos de acabado de metales y plásticos, lavadores de gases, torres de refrigeración y filtración de medios.

Fuente: (+GF+, 2014)

2.2.6. Signet 8510 sensor de flujo de rueda de paletas.

El sensor de flujo Signet 8510 Rotor-X con alta repetitividad, mide el flujo del líquido en las tuberías completas y es muy utilizado en sistemas de baja presión, además es un sensor resistente que ofrece un valor excepcional, con poco o ningún mantenimiento, posee facilidad de instalación y mantiene una larga tradición de operación confiable.

La selección de materiales incluyendo el polipropileno y PVDF hacen que este modelo sea versátil y químicamente compatible con muchas soluciones líquidas de procesos.



Figura 2: Sensor de flujo de rueda de paletas GF Signet 8510.

Fuente: (Fischer, 2013).

Características generales del sensor de paletas GF Signet 8510:

- Rango de Flujo de 0,3 a 6 m/s.
- Materiales químicamente resistentes.

- Detección de flujo en ambas direcciones.
- Utiliza montaje de instalación que se ajusta para controlar la profundidad de inserción correcta del sensor y orientarlo para que sea paralelo con el flujo de fluido. **Fuente:** (Fischer, 2013)

2.3. BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Una bomba centrífuga es una máquina con carcasa tipo voluta, o sea, forma de caracol, con impulsor o rodete de álabes radiales cerrado o abierto, el que recibe rotación del eje horizontal. La aspiración del líquido es en forma axial, o frontal al impulsor. La descarga del líquido es en forma radial o vertical al eje de la bomba.

Según el tipo de motor acoplado, se denomina al conjunto electrobomba cuando el motor es eléctrico, y motobomba cuando es a combustión.

Las partes constitutivas de una bomba centrífuga dependen de su construcción y tipo. **Fuente:** (Benoit, 2009)

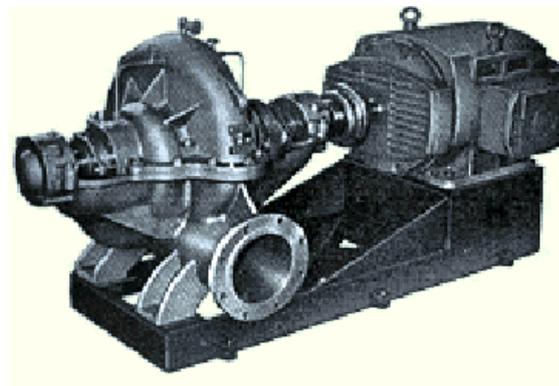


Figura 3: Bomba centrífuga.

Fuente: (Marco teorico, 2014).

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética

mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

2.3.1. Principio de funcionamiento.

El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida. **Fuente:** (unet, 2014)

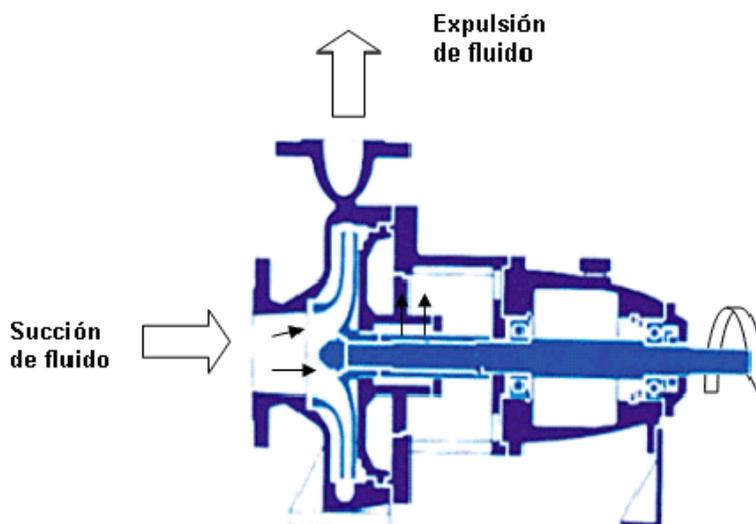


Figura 4: Principio de funcionamiento.

Fuente: (unet, 2014).

2.3.2. Bomba centrífuga marca THEBE datos técnicos.

Las características técnicas principales de esta bomba centrífuga que muestra la **figura 5**, donde viene detallada en el mismo dispositivo predeterminado por una placa, la cual indica lo siguiente:

- 1: Conexión que se debe realizar, para hacer que la bomba centrífuga entre en funcionamiento.
- 2: Indica las características eléctricas de bomba centrífuga.

- 3: Representa las características generales de la bomba centrífuga.



Figura 5: Placa de bomba centrífuga marca THEBE.

2.4. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC'S).

El controlador lógico programable (PLC) es una pequeña computadora usada en la automatización de procesos del mundo real, tales como líneas de producción, manejo de partes, empaquetado, bandas transportadoras, estaciones de bombeo, semáforos, etc., como se muestra en la **figura 6**. El rango de complejidad de los sistemas controlados mediante PLC's va desde aplicaciones pequeñas dedicadas hasta poderosas y extremadamente complejas líneas de ensamblado (por ejemplo, en la manufactura de vehículos). El PLC usualmente utiliza un microprocesador. A diferencia de la computadoras de propósito general, el PLC es empacado y diseñado para trabajar en amplios rangos de temperatura, suciedad, y son inmunes al ruido eléctrico. Mecánicamente son más fuertes y resistentes a la vibración e impacto.



Figura 6: Controladores lógicos programables.

Fuente: (Siemens Supply, 2015).

Los PLC's son en definitiva, los caballos de batalla en la automatización de la manufactura moderna. El control automático permite la producción de un producto

consistente a un costo razonable y el PLC es la tecnología de control prevalente en la manufactura.

Los PLC presentan las siguientes características:

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar posibles averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado. **Fuente:** (Prieto, 2007)

2.4.1. PLC SIEMENS S7-1200.

El S7-1200, es el último dentro de una gama de controladores SIMATIC de Siemens. El controlador SIMATIC S7-1200 es compacto para pequeños sistemas de automatización que requieran funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes. Gracias a su diseño compacto, su bajo costo y sus potentes funciones, los sistemas de automatización S7-1200 son idóneos para controlar tareas sencillas.

La familia de productos S7-1200 y la herramienta de programación STEP 7 Basic proporcionan la flexibilidad necesaria para cubrir las diferentes necesidades de automatización que se presentan en las industrias.

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de procesos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta.

Para la programación de los PLC S7-1200 se emplea el software desarrollado por Siemens “TIA PORTAL”, el cual optimiza todos los procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con su intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es increíblemente fácil de utilizar.

Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, funciones matemáticas complejas, instrucciones de conteo y temporización, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Para comunicarse con una programadora, la CPU incorpora un puerto PROFINET integrado. La CPU puede comunicarse con paneles HMI o una CPU diferente por la red PROFINET.

En la **figura 7** se muestran las partes PLC S7 1200 que incluyen:

1. Conector de corriente.
2. Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas).
3. LED's de estado para las E/S integradas.
4. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU).

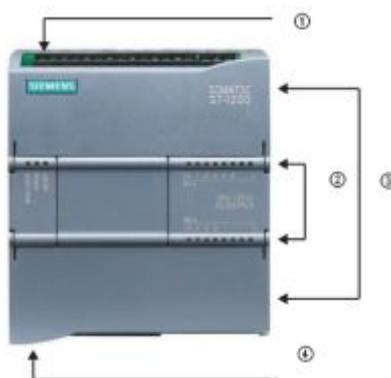


Figura 7: PLC S7 1200 y partes.

Fuente: (Catedu, 2009).

Una de las características del PLC SIMATIC S7-1200, es su interfaz integrada que garantiza una comunicación perfecta con el sistema de ingeniería SIMATIC

STEP 7 BASIC integrado. La comunicación PROFINET permite la programación y la comunicación con los paneles de la gama SIMATIC HMI BASIC PANELS para la visualización, con controladores adicionales para la comunicación de CPU a CPU y con equipos de otros fabricantes para ampliar las posibilidades de integración mediante protocolos abiertos de Ethernet.

La interfaz PROFINET integrada está a la altura de las grandes exigencias de la comunicación industrial. En la **figura 8** se muestra el puerto de conexión Profinet del PLC.

La interfaz de comunicación de SIMATIC S7-1200 está formada por una conexión RJ45 inmune a perturbaciones, con función Autocrossing, que admite hasta 16 conexiones Ethernet y alcanza una velocidad de transferencia de datos hasta de 10/100 Mbits/s. Para reducir al mínimo las necesidades de cableado y permitir la máxima flexibilidad de red, puede usarse conjuntamente con SIMATIC S7-1200 el nuevo Compact Switch Module CSM 1277, a fin de configurar una red homogénea o mixta, con topologías de línea, árbol o estrella.



Figura 8: Interfaz PROFINET integrada.

Fuente: (Catedu, 2009).

El PLC SIMATIC S7-1200 por ser modular se le puede agregar varios módulos entre ellos:

- **Módulos de señales.**

Las mayores CPU admiten la conexión de hasta ocho módulos de señales en el lado derecho, ampliando así las posibilidades de utilizar E/S digitales o analógicas adicionales. En la **figura 9** se muestran algunos tipos de módulos de E/S de señales que se acoplan al PLC.



Figura 9: Módulos de señales para PLC S7-1200.

Fuente: (Catedu, 2009).

- **Señales integradas.**

Un Módulo de Señales Integradas puede enchufarse directamente a una CPU tal como se muestra en la **figura 10**. De este modo pueden adaptarse individualmente las CPU, añadiendo E/S digitales o analógicas sin tener que aumentar físicamente el tamaño del controlador. El diseño modular de SIMATIC S7-1200 garantiza que siempre se podrá modificar el controlador para adaptarlo perfectamente a cualquier necesidad.



Figura 10: Módulos de señales integradas para PLC S7-1200.

Fuente: (Catedu, 2009).

- **Módulos de comunicación.**

Toda CPU SIMATIC S7-1200 puede ampliarse hasta con 3 Módulos de Comunicación al lado izquierdo. Los Módulos de Comunicación RS485 y RS232 son aptos para conexiones punto a punto en serie, basadas en caracteres.

Esta comunicación se programa y configura con sencillas instrucciones, o bien con las funciones de librerías para protocolo maestro y esclavo USS Drive (protocolo serial universal de automatización de drives para variadores de velocidad) y MODBUS RTU, que están incluidas en el sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7Basic. En la **figura 11**, se muestra el acople entre un módulo de comunicación y la CPU. **Fuente:** (Catedu, 2009)



Figura 11: Módulos de comunicación para PLC S7-1200.

Fuente: (Catedu, 2009).

2.5. VARIADORES DE FRECUENCIA.

Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje. **Fuente:** (QuimiNet, 2011)



Figura 12: Variador de frecuencia.

Fuente: (QuimiNet, 2011).

2.5.1. Principio de funcionamiento.

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = 120xf/p$$

Dónde:

- RPM = Revoluciones por minuto
- f = frecuencia de suministro CA (Hercio)
- p = Número de polos (adimensional)

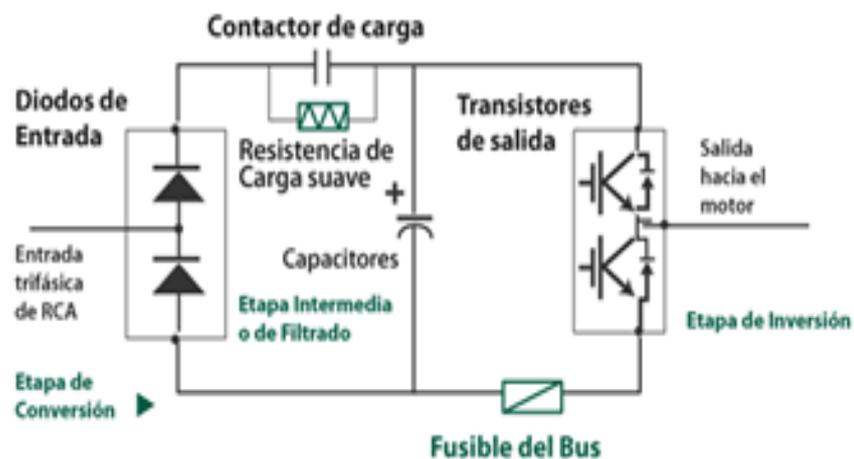


Figura 13: Principio de funcionamiento.

Fuente: (Hosteltronic, 2014).

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores síncronos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz.

En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPM's del campo magnético (las cuales si deberían cumplir la ecuación arriba mencionada tanto en motores síncronos como en motores asíncronos) debido a que sólo es atraído por el campo magnético

exterior que lo aventaja siempre en velocidad (de lo contrario el motor dejaría de girar en los momentos en los que alcanzase al campo magnético).

Un sistema de variador de frecuencia (VFD) consiste generalmente en un motor de CA, un controlador y una interfaz operadora.

- **Motor del VFD.**

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos. Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD. (Variador de frecuencia).

- **Controlador del VFD.**

El controlador del dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puestas a masa del motor, sobre temperaturas, etc. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad). **Fuente:** (Hosteltronic, 2014)

2.6. DIAGRAMA P&ID.

En cualquier proceso industrial, y en nuestro caso particular como fabricantes e instaladores de equipos a presión (Calderas de fluido térmico, vaporizadores,

calderas de vapor, intercambiadores, calderas eléctricas) a menudo nos encontramos con instalaciones de considerables dimensiones y con multitud de elementos, materiales e instrumentos que conforman dicha instalación.

Para poder identificar estos equipos e instrumentos de una manera sencilla y poder tener además una idea de las condiciones de diseño de cualquier proyecto de ingeniería nos valemos de una herramienta que se conoce comúnmente por las siglas P&ID.

Un P&ID es lo que se define como un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) también conocido del idioma inglés como piping and instrumentation diagram/drawing (P&ID) y es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental.

Otro posible nombre que se utiliza para regirse a un P&ID es el de PFD, una forma implicada del inglés (Process flow diagram), aunque esta es una forma menos utilizada.

Estos diagramas están compuestos por una serie de símbolos que nos permitirán identificar todos los componentes que conforman un proceso, como tuberías, número de líneas de tubería y sus dimensiones, válvulas, controles, alarmas, equipos, niveles, presostatos, drenajes, purgas, bombas, etc.

El instrumento de símbolos standard utilizados en estos diagramas se basa generalmente en la Norma ISA S5.1. Sistemas de Instrumentación y Automatización de la sociedad.

Este standard de símbolos se usa tanto en industria química como en petroquímica, metalúrgicas, industrias de aire acondicionado, generadoras de energía, y en otros muchos y numerosos procesos industriales.

Además de estos símbolos se utilizan diferentes tipos de líneas y círculos para indicar como están interconectados los diferentes elementos del proceso y las funciones de cada instrumento. **Fuente:** (Pirobloc, 2014)

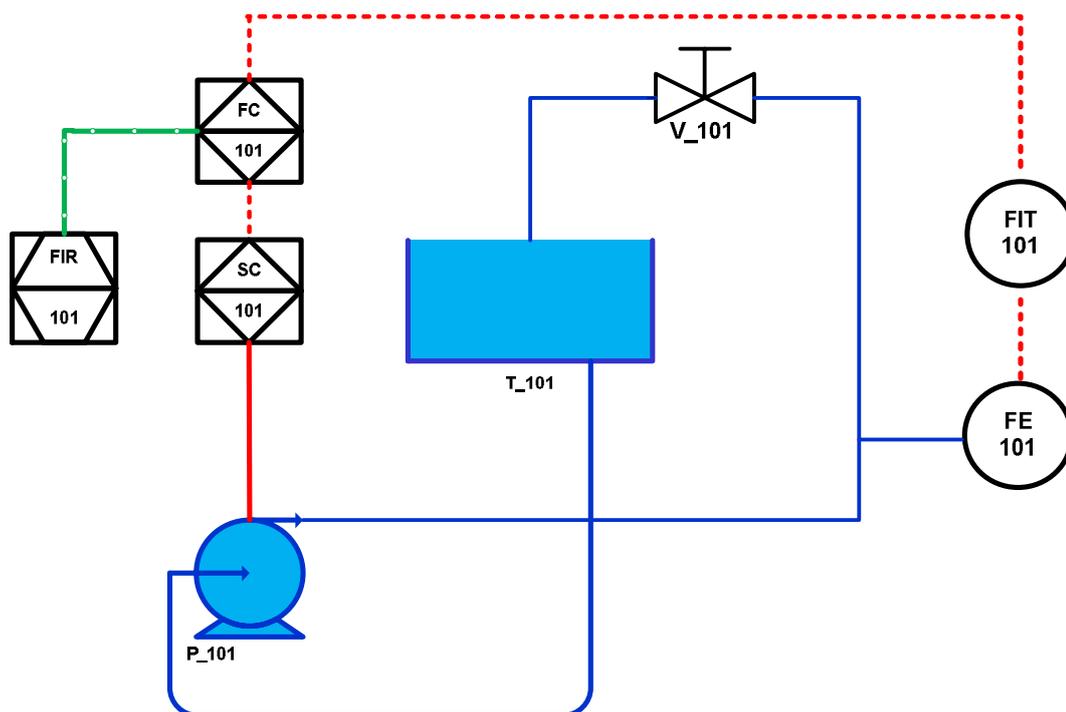


Figura 14: Ejemplo diagrama P&ID.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CAUDAL.

La estación de control de caudal, está construida con material de acero inoxidable, pintada de color negro, en la cual se instalaron los siguientes equipos como: (ver figura 15.)

- Controlador Lógico Programable PLC SIEMENS S7-1200.
- TOUCH PANEL.
- Variador de frecuencia
- Contactor.
- Relés.
- Transmisor de caudal.

Entre otros materiales como:

- Tubería
- Cable
- Bomba centrífuga
- Tanque
- Conectores, Etc.



Figura 15: Equipos montados en la estación de caudal.

3.1.1. Construcción de la estructura de la estación.

La **figura 16** muestra la estructura de la estación de caudal, la cual fue ensamblada por un técnico en mecánica industrial, con las medidas indicadas en la figura.

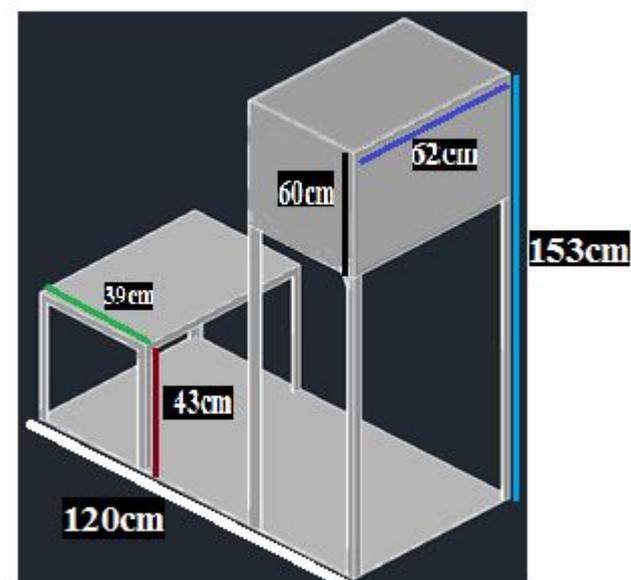


Figura 16: Construcción de la estación de caudal.

3.1.2. Montaje de los equipos en la estación.

En la estructura construida, se montaron dispositivos como la bomba centrífuga, que se muestra en la **figura 17**.



Figura 17: Bomba centrífuga.

También se muestra en la **figura 18**, la parte frontal de la estación de caudal donde se encuentran montados los equipos como:

- PLC
- TOUCH PANEL
- Variador de frecuencia
- Diagrama PFD del sistema
- Cableado, etc.
- Conexiones físicas del módulo (ver **figura 19**)



Figura 18: Parte frontal de la estación de caudal.



Figura 19: Sistema eléctrico físico.

3.1.4. Montaje de la tubería en la bomba centrífuga.

La tubería instalada en la bomba y en el transmisor difiere entre los 3/4 y 1/2 pulgadas de diámetro de tubería, es decir que para la succión se utilizó un diámetro de tubería de 3/4 pulgadas y para la salida del flujo un diámetro de tubería de 1/2 pulgada, que muestra la **figura 20**.

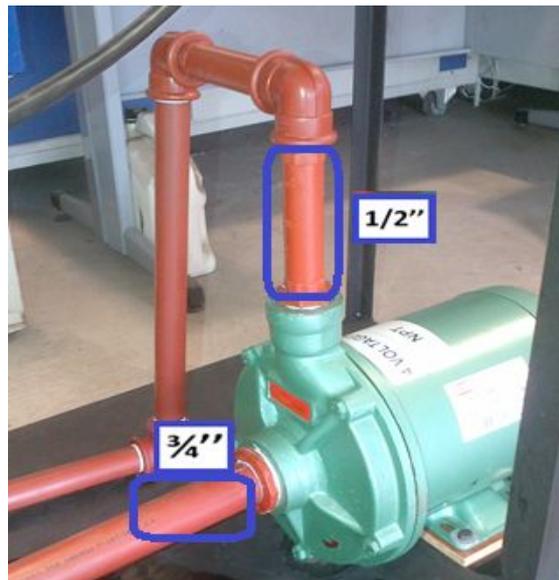


Figura 20: Diámetro de la tubería.

3.1.5. Montaje del transmisor de caudal.

El transmisor de flujo está instalado en la parte posterior de la estación tal y como la muestra la **figura 21**.



Figura 21: Montaje del transmisor de caudal.

Para realizar el montaje del transmisor se desarrolló el siguiente procedimiento:

1) Conexión del transmisor de flujo.

Existe una bornera con cuatro entradas las cuales muestra en la **figura 22**, el cable rojo a la entrada uno, haciendo puente con la entrada tres que sería V+, el cable negro en la entrada tres que sería GND, y el cable blanco en la entrada cuatro que sería la salida de datos del transmisor de flujo.



Figura 22: Conexión para energizar el transmisor de flujo.

Ya hecha esta conexión la bornera es colocada en el transmisor tal y como lo muestras la **figura 23**, donde el transmisor podría ya entrar en funcionamiento, para luego realizar las conexiones para el sensor de paletas.

En la figura mostrada muestra el número de canales donde deben realizarse las conexiones ya antes mencionadas, donde:

- 1 y 3; realizan una conexión tipo puente, con cable amarillo.
- 1; conexión cable rojo, VCC.
- 2; conexión cable negro, GND.
- 4; conexión cable blanco. De esta conexión sale la señal de 4 a 20 mA del transmisor de caudal.



Figura 23: Colocación de bornera en el transmisor.

2) Conexión del sensor de paletas 8510.

Del mismo modo que la conexión hecha para energizar el transmisor, dentro del mismo encontramos otra bornera, la cual deberá ser utilizada tanto para hacer que el sensor entre en funcionamiento y sea colocado en la tubería respectivamente tal y como muestra la **figura 24**.

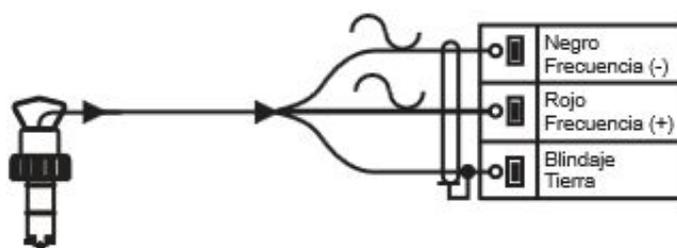


Figura 24: Conexión sensor 8510.

Fuente: (Fischer, 2013).

3) Conexión física del sensor de paletas 8510.

Realizadas estas conexiones se emplea directamente en el equipo, luego sea colocada en la tubería y en entre en funcionamiento dicho transmisor. Lo muestra la

figura 25, lugar en donde se conecta la bornera y sitio en donde ira instalado en la tubería.

Donde la conexión que se debe realizar para el sensor es la siguiente:

- Cable negro, conexión a entrada 1 de la bornera. (frecuencia).
- Cable rojo, conexión a entrada 2 de la bornera. (frecuencia).
- Cable blindado o de color plomo, conexión a entrada 3 de la bornera. (GND).

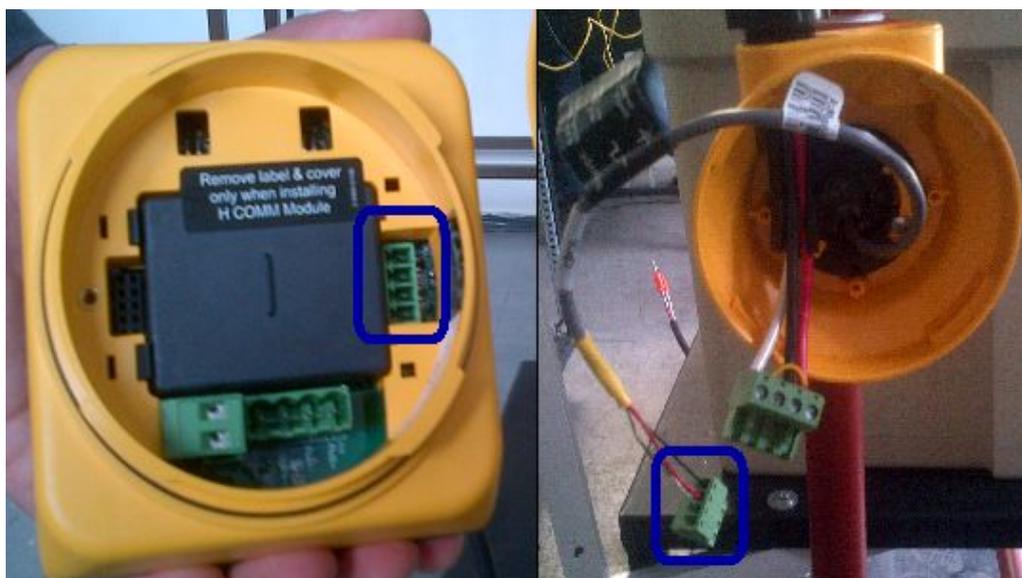


Figura 25: Parte física de conexión sensor de paletas 8510.

4) Procedimiento de reemplazo del rotor.

- Para extraer el rotor inserte un destornillador pequeño entre el rotor y la oreja del sensor.
- De vuelta la hoja del destornillador para curvar la oreja hacia afuera lo suficiente como para sacar un extremo del rotor y del eje. No doble la oreja más de lo necesario. Si se rompe, no se puede reparar el sensor.
- Instale el nuevo rotor. Para ello, inserte una punta del pasador en el agujero, seguidamente doble la oreja opuesta hacia adentro, lo suficiente como para deslizar el rotor y encajarlo en su sitio. Tal como lo muestra la **figura 26**.

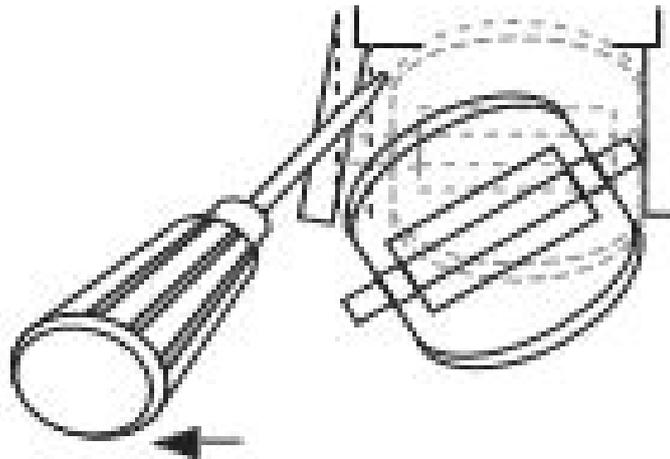


Figura 26: Procedimiento de reemplazo del rotor.

Fuente: (Fischer, 2013).

3.2. Especificación de requisitos del sistema.

Esta estación, fue construida con el fin de utilizar un transmisor de caudal, con un sensor de rueda de paletas 8510, los cuales envían una señal estándar de 4 a 20mA, que detectan el caudal, para esto se realizó una configuración del sensor como: establecer un factor K, diámetro de tubería utilizado y ajuste de parámetros en el transmisor.

Para verificar le funcionamiento se utilizó una bomba centrífuga, con ayuda de un variador de frecuencia parametrizado, que envía una señal analógica de 0 a 60Hz, hace que dicha bomba varié su velocidad caudal.

El factor K se estableció de acuerdo al número de impulsos que genera un sensor por cada unidad de líquido que pasa por el sensor, esto también dependería del diámetro de tubería que sea utilizado, el valor es de 297,52 para una tubería de 3/4 y el rango de medición de 0 a 30 galones por minuto (GPM), variando cierta frecuencia ya establecida, este muestre el rango en el transmisor y así pueda ser monitoreado de manera puntual y efectiva a través de un operador y se puedan realizar un sin fin de operaciones en el transmisor de caudal.

3.3. ESQUEMA DEL PANEL FRONTAL.

La **figura 27**, muestra el diagrama que va adherido en el panel frontal de la estación de caudal, en el cual se coloca: el PLC, VARIADOR DE FRECUENCIA,

TOUCH PANEL, conector para comunicación y botones de encendido y arranque de la bomba.

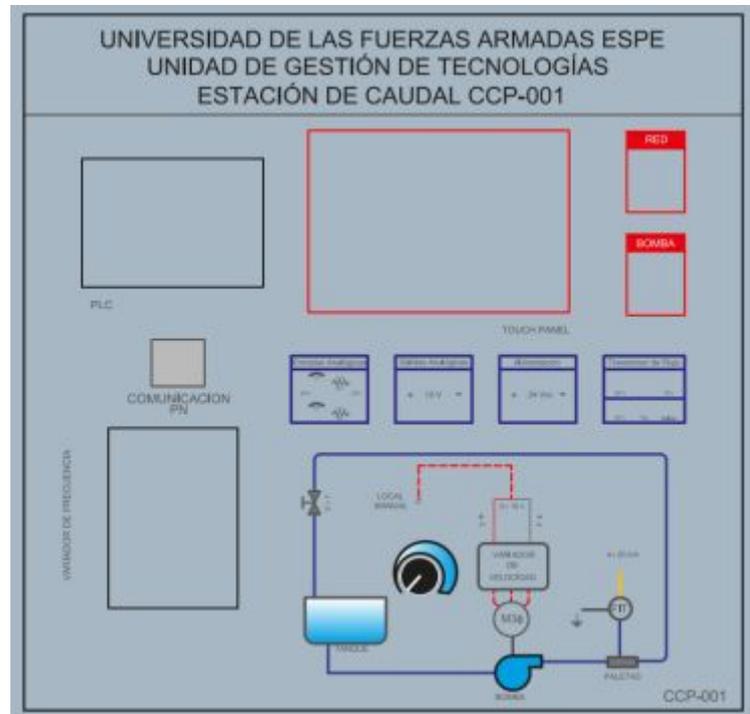


Figura 27: Esquema del panel frontal.

3.4. DIAGRAMA P&ID DE LA ESTACIÓN DE CAUDAL.

La **figura 28**, muestra el diagrama P&ID del sistema y después se explica cada parte del diagrama.

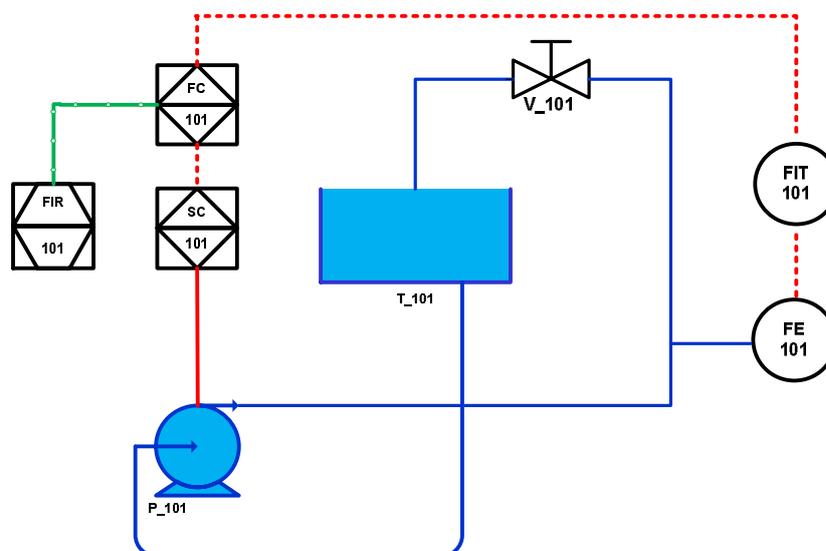


Figura 28: Diagrama P&ID del sistema.

Nomenclatura de cada elemento:

- **BOMBA CENTRIFUGA (P_101):** Bomba centrífuga trifásica marca THEBE de 1/2HP, permite realizar el proceso de impulsión y succión del agua que circula por la tubería desde y hacia el tanque de almacenamiento.
- **TANQUE (T_101):** Tanque de almacenamiento de 60 litros, donde se presenta el inicio y final del sistema.
- **VÁLVULAS DE PASO (V_101):** Es una válvula de bola que están instalada en la tubería del proceso de caudal, esta válvula tienen el objetivo de provocar perturbaciones externas.
- **ELEMENTO PRIMARIO DE FLUJO (FE-101):** Sensor de flujo de rueda de paletas GF Signet 8510, ubicado en campo y conectado de forma compacta al transmisor de flujo.
- **TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO (FIT-101):** Transmisor de flujo Georg Fischer Signet 9900 ubicado en campo, instrumento que convierte la señal dada por el sensor de flujo en una señal estándar de 4 a 20 mA para una transmisión a distancia de 3m aproximados con el PLC.
- **CONTROLADOR DE VELOCIDAD (SC-101):** Variador de frecuencia ubicado tras el panel, dispositivo que controla la velocidad de la bomba centrífuga de acuerdo a una señal de control o a una señal analógica, la función es variar el caudal de agua que circula por la tubería de forma proporcional.
- **CONTROLADOR DE FLUJO (FC-101):** PLC SIEMENS S7-1200 ubicado en el panel, encargado de controlar el proceso de caudal, el cual debe comunicarse con la TOUCH PANEL.
- **REGISTRADOR INDICADOR DE FLUJO (FIR-101):** TOUCH PANEL ubicado en el panel, permite realizar un interfaz humano máquina con la finalidad de configurar los parámetros del controlador.

3.5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.

La presente **figura 29**, muestra un diagrama de bloques del todo sistema libre de lazo cerrado y abierto.

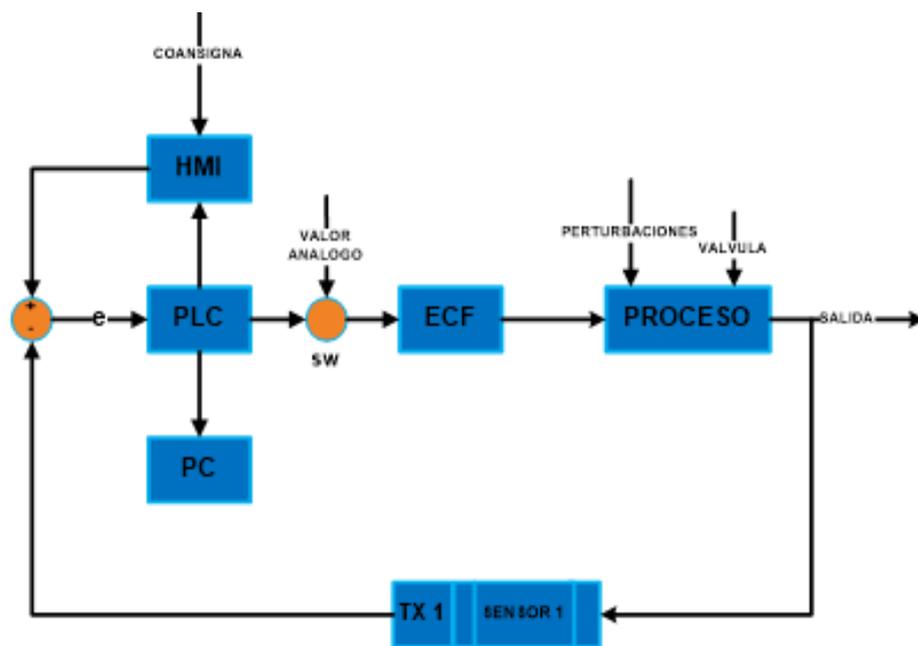


Figura 29: Diagrama de bloques del sistema.

La nomenclatura utilizada en el diagrama de bloques es la siguiente:

- **SW:** Interruptor que selecciona el tipo de lazo que va a realizar el banco de pruebas de bombas centrífugas, ya sea manual o local para lazo abierto o lazo cerrado respectivamente.
- **ECF:** Elemento de control final (Variador de Frecuencia PowerFlex₄), dispositivo que controla la velocidad de la bomba centrífuga de acuerdo a una señal de control o a una señal analógica proporcionada por un potenciómetro, la función es variar el caudal de agua que circula por la tubería de forma proporcional.
- **PROCESO:** Proceso de caudal representado por la bomba centrífuga (Thebe ½ hp), el tanque de almacenamiento (60 litros) y la conexión de la tubería (3/4 y 1/2) que va desde el tanque a la bomba y desde la bomba hacia el tanque, respectivamente.
- **SENSOR 1:** Sensor de rueda de paletas (Sensor de Flujo de rueda de paletas, Rotor-X Signet 8510), permite la medición de la variable física del caudal y entrega a la salida una señal en frecuencia.

- **TX 1:** Representa el transmisor de flujo (Transmisor de flujo Georg Fischer Signet 9900), el mismo que toma el valor del sensor 1 y la transmite a distancia mediante una señal estándar de corriente al PLC.
- **PLC:** Representa la Unidad de Control Lógica Programable (Siemens S7-1200 CPU 1214C), elemento primordial del sistema encargado de realizar las funciones de control, adquisición de datos, gestionar las comunicaciones con el HMI y la PC. En lazo abierto realiza adquisición de datos y en lazo cerrado realiza un control.
- **HMI:** Representa la Interfaz Humano Máquina, a través de la cual el usuario tiene la capacidad de establecer el valor de consigna deseado (set point) y monitorear las variables del proceso.
- **PC:** Representa la Interfaz Humano Máquina (computador), a través de la cual el usuario obtiene y visualiza las curvas características de la bomba.
- Las figuras 29 y 30 muestran los diagramas de bloques en lazo cerrado y lazo abierto respectivamente, el interruptor de modo local y manual realiza el cambio para obtener los dos lazos, como se detallan a continuación:

3.5.1. Diagrama de bloques a lazo abierto.

La **figura 30**, muestra el diagrama a lazo abierto, donde el interruptor de manera manual, se lo utiliza con la finalidad de hacer el monitoreo del transmisor de caudal y su respectivo sensor de paletas.

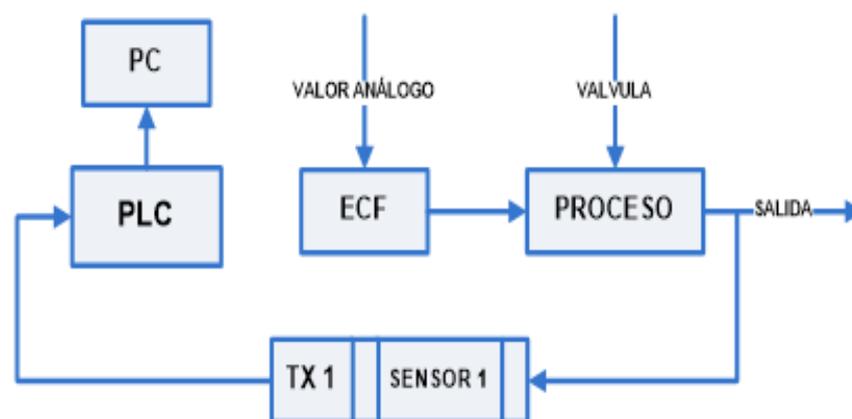


Figura 30: Diagrama de bloques a lazo abierto.

3.5.2. Diagrama de bloques a lazo cerrado.

La **figura 31**, muestra el diagrama a lazo cerrado, donde el interruptor se encuentra en el estado local, se utiliza para hacer el respectivo control de caudal de la estación.

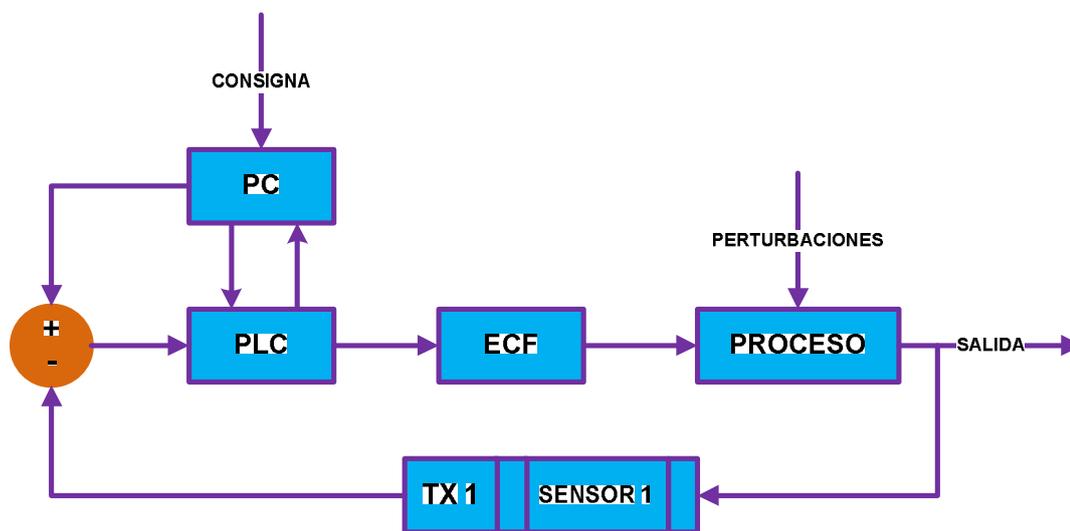


Figura 31: Diagrama de bloques a lazo cerrado.

3.6. DIAGRAMA ELÉCTRICO.

En el diagrama eléctrico se detalla la conexión de los diferentes dispositivos desde su encendido, protecciones y distribución del voltaje a los equipos.

El banco de pruebas de bombas centrífugas tiene como protección a los fusibles (f1, f2) y al interruptor térmico para poder evitar daños en los equipos debido a cortos, sobrecargas o sobrecalentamientos.

Una vez que se acciona el interruptor térmico, el banco de pruebas puede iniciar su funcionamiento para ello se requiere encender el interruptor de RED el cuál va a activar a un contactor que va permitir el paso de la corriente alterna a todos los equipos que requieren de una alimentación de 110 V o 220 V, como son: Interruptor de BOMBA, Relé 110, Fuente, PLC y Variador de Frecuencia.

El interruptor de BOMBA arranca el funcionamiento del variador, el mismo que entrega una señal a la bomba centrífuga para que funcione de acuerdo como esté configurado el variador de frecuencia y al estado del interruptor de local manual SW

que activa al Relé 24, ya que este es el encargado de dejar pasar una señal enviada desde el PLC o una señal analógica proporcionada desde un potenciómetro.

La fuente LOGO se encarga de suministrar la corriente necesaria para los equipos que requieren de una alimentación de corriente continua como son: Transmisor, Relé 2 y HMI.

Las conexiones de lazos del transmisor y los conectores externos del panel lateral y frontal del banco de pruebas de bombas centrífugas se observan en el diagrama eléctrico y llevan el mismo nombre que se les asignaron en el panel para mayor facilidad en las conexiones, tal y como muestra la **figura 32**.

CIRCUITO ELÉCTRICO

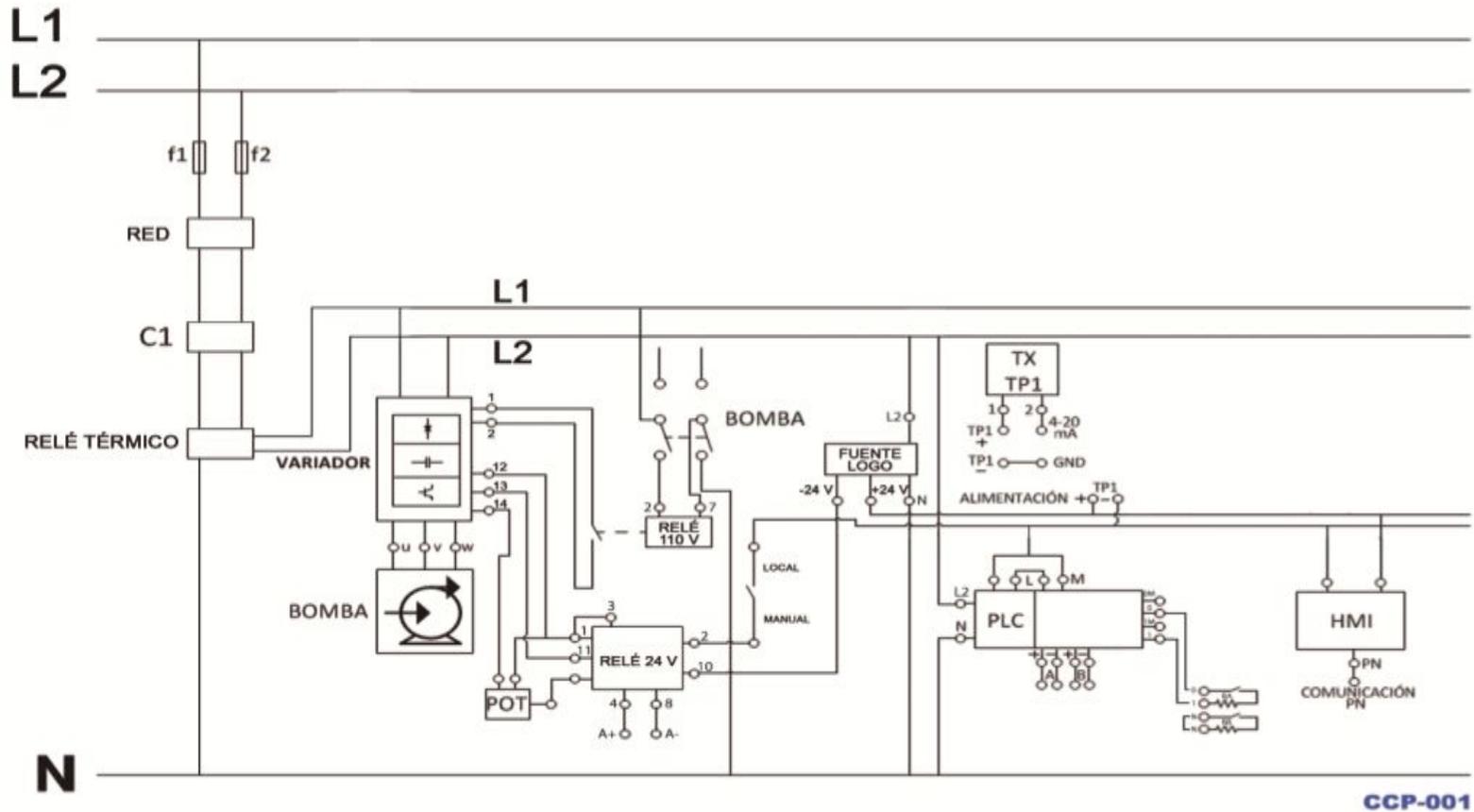


Figura 32: diagrama eléctrico.

3.7. AJUSTE DEL TRANSMISOR DE CAUDAL.

El Transmisor de caudal Signet 9900 SmartPro™, que muestra en la **figura 33**, debe ser ajustado con parámetros para su correcto funcionamiento, el cual se encuentra detallado en los siguientes ítems.



Figura 33: Transmisor de caudal Signet 9900 SmartPro™.

Fuente: (+GF+, 2014).

3.7.1. Modificar parámetros del transmisor de caudal.

- Para poder ingresar al menú del transmisor hay que pulsar el botón ENTER por tres segundos y este ingresa inmediatamente al menú de selección, como se muestra en la **figura 34**.

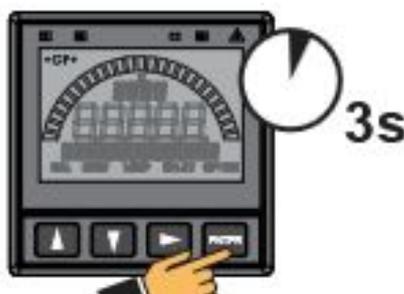


Figura 34: Acceso al menú de selección.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- El acceso al menú de selección del transmisor requiere de una secuencia (contraseña), de los botones, para así iniciar con la calibración des este dispositivo, tal y como se muestra en la **figura 35**.

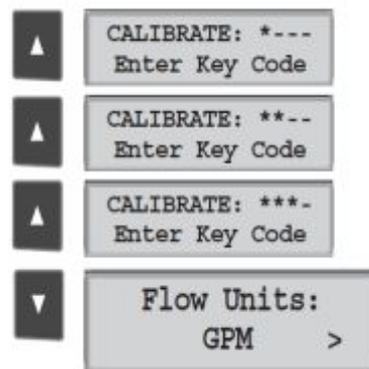


Figura 35: Contraseña de acceso.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- Al realizar el paso anterior el transmisor muestra el menú de selección, donde aparecen 5 opciones como lo muestra la **figura 36**, donde ingresando en la opción CAL, ubicamos el factor “K”, este factor influirá de acuerdo al sensor y el diámetro de la tubería en este caso es de $\frac{3}{4}$ ”, el valor a ingresar es 297,52, utilizando los botones arriba, abajo, se establece este valor, presionar ENTER para guardar cambios.



Figura 36: Opciones menú de selección.

- Pulsar la flecha abajo y dirigirse a Total K-Factor, pulsar la tecla derecha para ingresar al componente y modificar con las flechas de arriba/abajo el valor a 297.52 ya que este parámetro es el mismo K-Factor, pulsar ENTER para guardar los cambios.
- Pulsar la flecha abajo y dirigirse a LOOP RANGE: GPM, pulsar la tecla derecha para ingresar al componente y seleccionar con las flechas de arriba/abajo el valor mínimo de 0 y el valor máximo de 30; éste valor se obtiene al encender el banco de pruebas y ver a la frecuencia máxima el flujo que circula por la tubería, pulsar ENTER para guardar los cambios.
- Pulsar simultáneamente las flechas de arriba y abajo como se indica en la **figura 37**, para salir del menú de ajuste y regresar a la operación normal.



Figura 37: Salir del menú de ajuste.

Fuente: (Sinninger, 2014).

3.7.2. Modificar las operaciones del transmisor de caudal.

- Para poder ingresar al menú del transmisor hay que pulsar el botón ENTER por tres segundos y este ingresa inmediatamente al menú de selección, como se muestra en la **figura 38**.

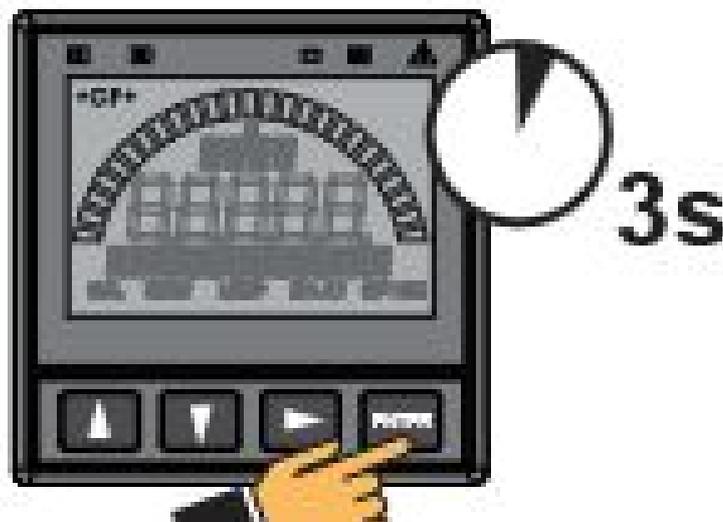


Figura 38: Acceso al menú de selección.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- El acceso al menú de selección del transmisor requiere de una secuencia (contraseña), de los botones, para así iniciar con el ajuste de este dispositivo, tal y como se muestra en la **figura 39**.

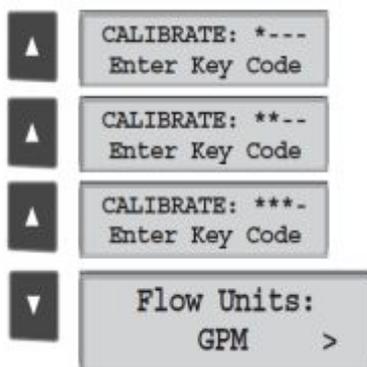


Figura 39: Contraseña de acceso.

Fuente: (Sinninger, 2014)

- Si se configura su sensor de caudal para la salida de frecuencia, seleccione **FREQ** (Frecuencia) en la opción **INPUT**.

- Luego de realizar estos procedimientos, se ingresa en la opción INPUT para ajustar SENSIVILITY, utilizando los botones abajo, arriba, seleccionamos 100 para el promediado de la señal, pulsar ENTER para guardar los cambios.
- Pulsar la flecha abajo y dirigirse a AVERAGE, pulsar la tecla derecha para ingresar al componente y colocar la sensibilidad a la mitad (MED) del rango, pulsar ENTER para guardar los cambios, este parámetro funciona conjuntamente con el promediado para estabilizar los cambios drásticos de caudal.
- Para poder realizar cambios como el contraste de luz del trasmisor, para el número de decimales que se desean ver tanto en FOLW, y corriente entre otras opciones más, se debe ingresar a OPCION.
- Pulsar simultáneamente las flechas de arriba y abajo como se indica en la **figura 40**, para salir del menú de ajuste y regresar a la operación normal.



Figura 40: Salir del menú de ajuste.

Fuente: (Sinninger, 2014)

3.8. RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Los resultados y pruebas experimentales se han realizado en el transmisor de caudal con el respectivo sensor de rueda de paletas, muestra que la sensibilidad del sensor dependiendo del ajuste en el trasmisor, así como el diámetro de la tubería, logrando obtener muestras acertadas de corriente, GPM (galones por minuto),

tiempo de respuesta, y sobre todo estabilidad al momento de hacer las respectivas mediciones de corriente tanto en el transmisor, como las muestras tomadas por el multímetro, es decir que no exista un margen de error elevado entre estos dos dispositivos, para que la planta muestre un desarrollo óptimo en el momento de su funcionamiento.

3.9. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.

La siguiente estación de caudal cumple con la descripción física, la cual está constituida por varios equipos electrónicos, materiales eléctricos, una estructura metálica, donde son montados todos estos materiales ya nombrados.

Después de obtener la estructura, se inició montando cada uno de los materiales ya antes mencionados, siguiendo un patrón es decir es necesario tener un circuito eléctrico, para realizar las diferentes conexiones tanto como para energizar la bomba centrífuga con el respectivo variador de frecuencia, a su vez equipos electrónicos como PLC, TOUCH PANEL, entre otros materiales eléctricos necesarios para que el sistema entre en buen funcionamiento esto de acuerdo con la parte eléctrica, electrónica de la estación de cauda.

En cambio el montaje de la bomba centrífuga, tiene una particularidad, es decir ya después de realizar las conexiones respectivas para energizarla, es óptimo obtener una tubería de un cierto diámetro, tanto para la succión como para el impulso de la misma, el diámetro utilizado es para succión de 3/4'' (pulgadas) y para el impulso de 1/2'' (pulgadas), las cuáles van conectadas, la succión directo hacia un tanque de 60 litros, el impulso de la bomba, antes de llegar al tanque es montado el transmisor de caudal, con el sensor de rueda de paletas, de ahí va seguido de una válvula que es utilizada como una perturbación al sistema, para luego dejar caer el líquido sobre dicho tanque.

3.10. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL TRANSMISOR DE CAUDAL.

En las presentes tablas se muestran los sin números de datos tomados en los diferentes estados que nos presenta el transmisor, en (AVERAGE, SENSIBILITY), para esto se realiza los siguientes procedimientos:

- Para poder ingresar al menú del transmisor hay que pulsar el botón ENTER por tres segundos y este ingresa inmediatamente al menú de selección, como se muestra en la **figura 41**.

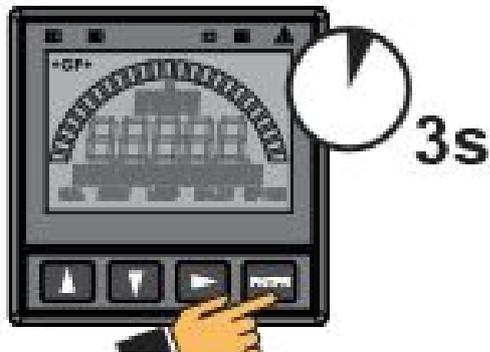


Figura 41: Acceso al menú de selección.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- El acceso al menú de selección del transmisor requiere de una secuencia (contraseña), de los botones, para así iniciar con el ajuste de este dispositivo, tal y como se muestra en la **figura 42**.



Figura 42: Contraseña de acceso.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- Luego de realizar estos procedimientos, se ingresa en la opción INPUT para ajustar SENSIBILITY, utilizando los botones abajo, arriba, seleccionamos los valores de 0 a 100 en rangos de 25, para el promediado de la señal, pulsar ENTER para guardar los cambios.
- Pulsar la flecha abajo y dirigirse a AVERAGE, pulsar la tecla derecha para ingresar al componente y colocar los rangos dados como: OFF, LOW, MED Y HIGH, pulsar ENTER para guardar los cambios, estos parámetros

funcionan conjuntamente con el promediado para estabilizar los cambios drásticos de caudal.

- Luego de hacer estos procedimientos, se presentan las tablas de cada rango y a su vez es tomado en cuenta el tiempo de respuesta del transmisor en el cual se ajusta de manera correcta para el trabajo óptimo de la planta, esto se realiza en las siguientes tablas con sus respectivas graficas:
- Donde AVERAGE significa, que atenúa las velocidades de respuesta de pantalla, salida y relé. Seleccionando: Low (4 s), Med (8 s), High (32 s), OFF (casi instantáneo).
- Y SENSIBILITY significa, que se comporta como un umbral para la respuesta de medición de caudal. Un ajuste de sensibilidad inferior da una respuesta de medición rápida, un ajuste más alto da una respuesta más lenta. El valor se expresa en unidades de medida; la respuesta depende de las unidades de medición que se excedan.

Tabla 1:

Average=OFF, Sensibility=0.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,25	10	6,25	60
20	8,83	20	8,86	27
30	11,57	30	11,67	19
40	14,03	40	14,12	20
50	16,48	50	16,51	23
60	19,03	60	19,21	18

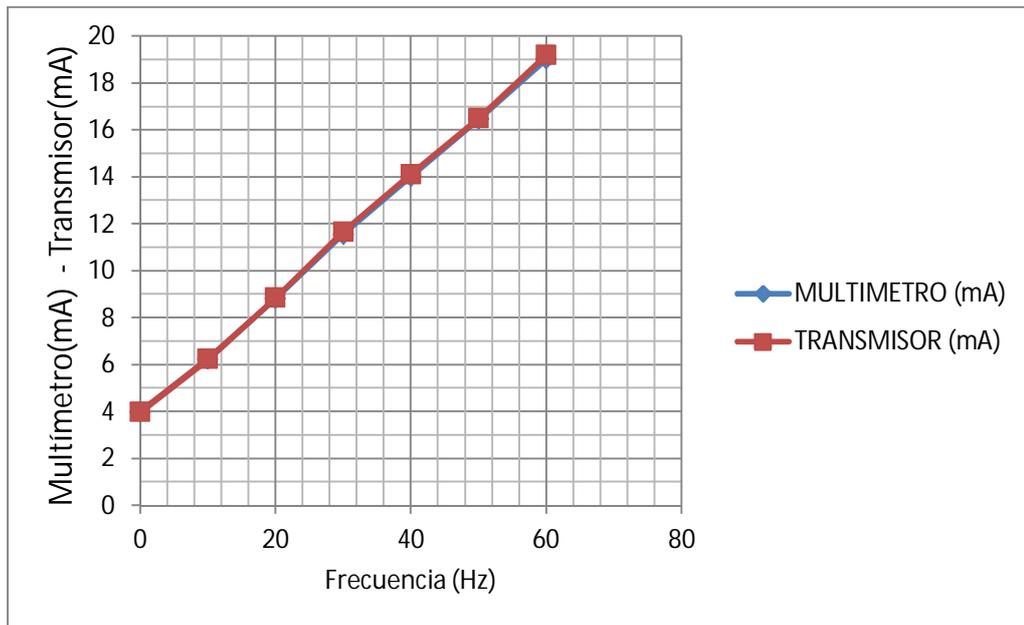


Figura 43: Average=0FF, Sensibility=0.

Tabla 2:

Average=0FF, Sensibility=25.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,98	0	4	0
10	6,25	10	6,28	24
20	8,88	20	8,91	17
30	11,48	30	11,56	18
40	14,08	40	14,32	18
50	16,48	50	16,85	14
60	19,17	60	19,23	12

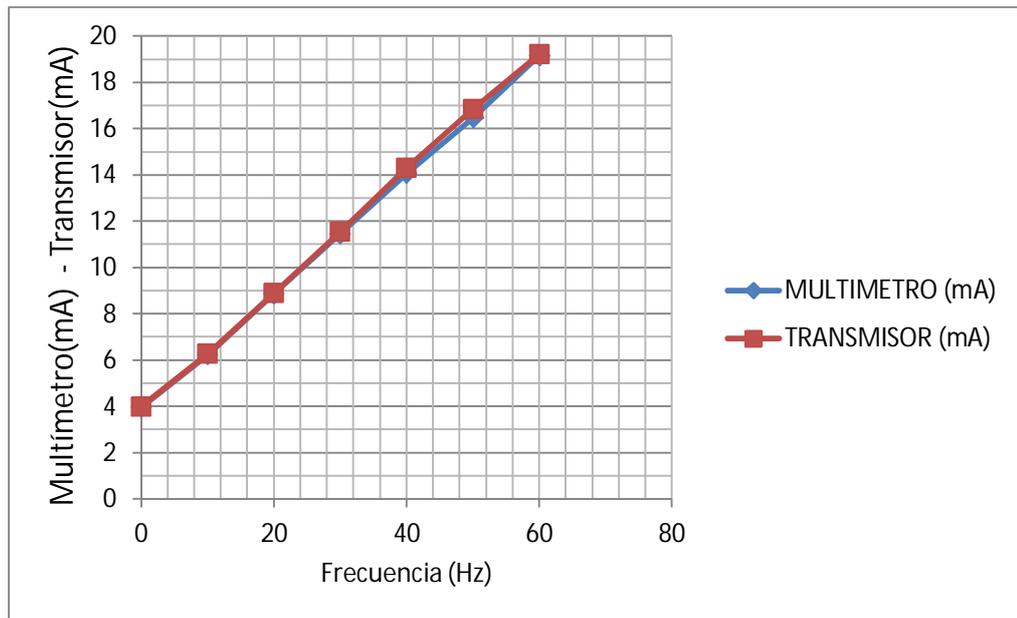


Figura 44: Average=0FF, Sensibility=25.

Tabla 3:

Average=0FF, Sensibility=50.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	4	0	4	0
10	6,19	10	6,22	12
20	8,99	20	9,1	10
30	11, 6	30	11,67	19
40	14,42	40	14,7	17
50	16,53	50	16,65	20
60	19,92	60	19,27	14

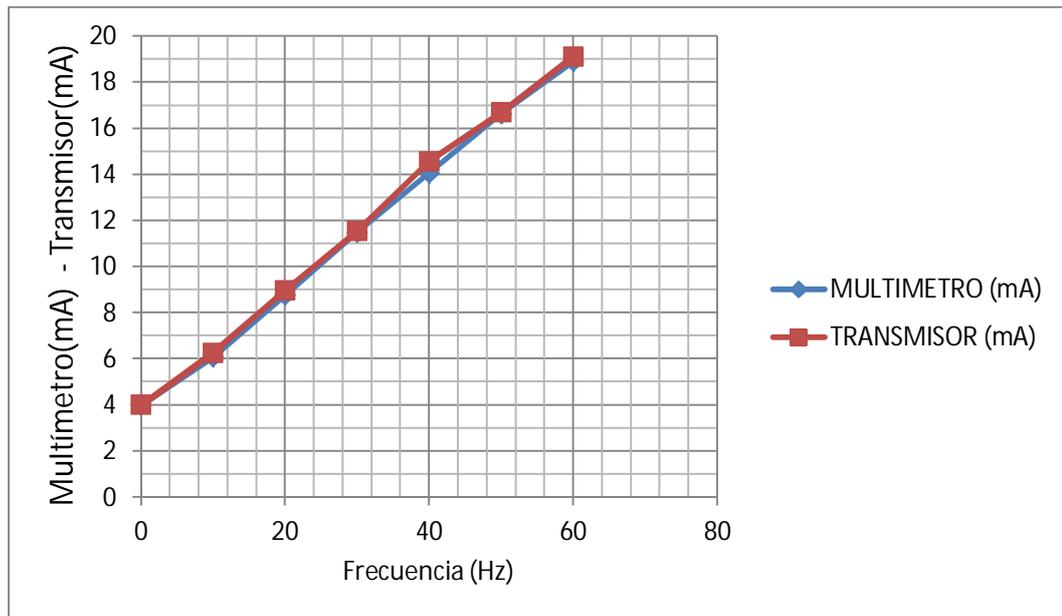


Figura 45: Average=0FF, Sensibility=50

Tabla 4:

Average=0FF, Sensibility=75.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	4	0	4	0
10	6,19	10	6,17	11
20	8,99	20	9,04	16
30	11,6	30	11,61	14
40	14,42	40	14,11	15
50	16,53	50	16,72	18
60	19,29	60	19,48	17

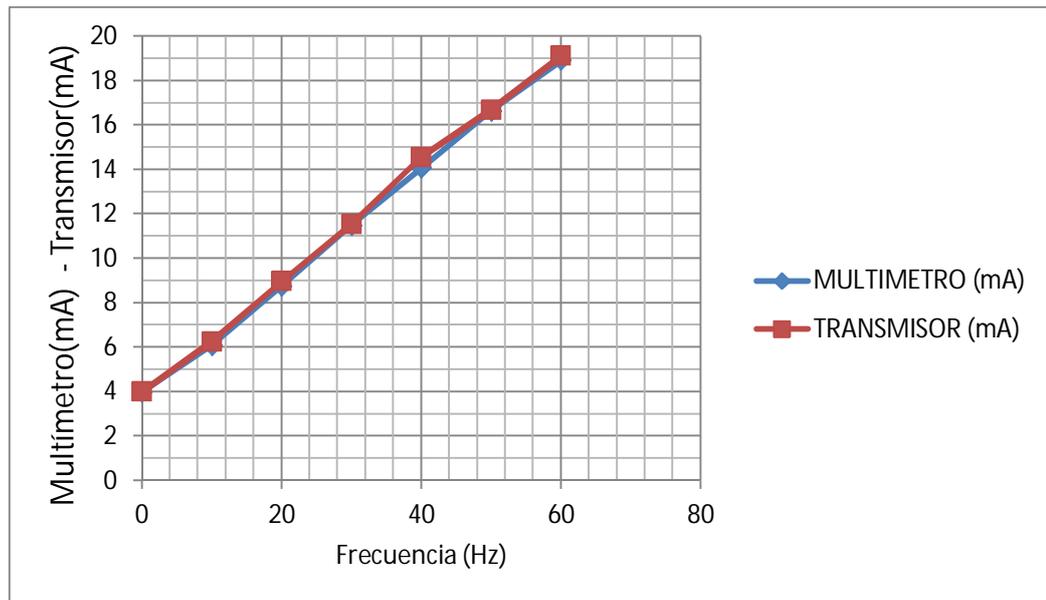


Figura 46: Average=0FF, Sensibility=75.

Tabla 5:

Average=0FF, Sensibility=100.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,06	10	6,37	12
20	8,7	20	9,05	10
30	11,31	30	11,6	10
40	13,97	40	14,36	14
50	16,52	50	16,64	12
60	19,29	60	19,14	10

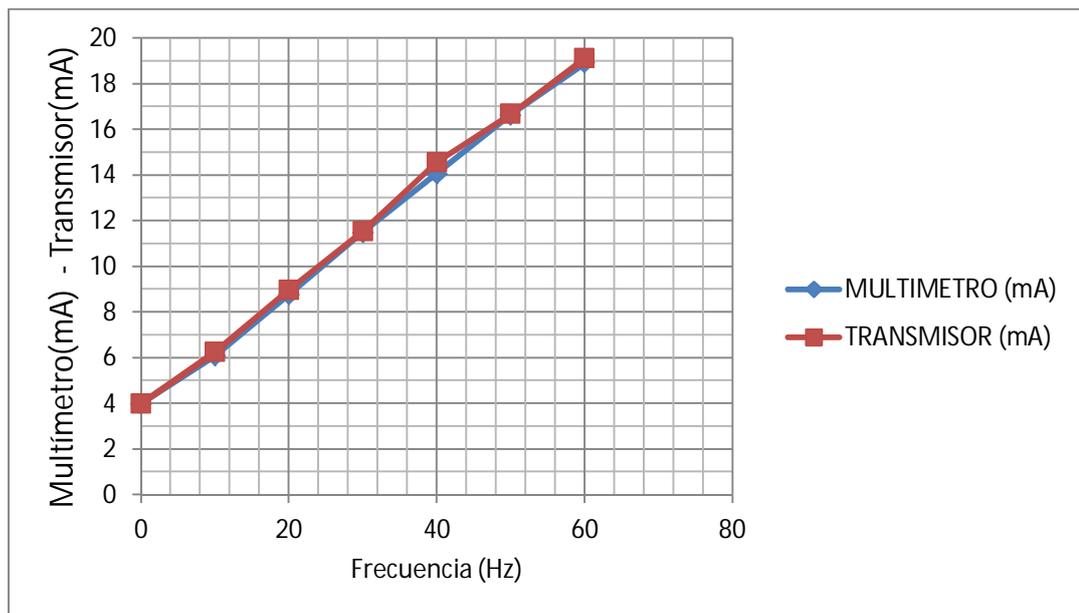


Figura 47: Average=OFF, Sensibility=100.

Tabla 6:

Average=LOW, Sensibility=0.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	4	0	4	0
10	6,25	10	6,37	12
20	8,97	20	9,05	10
30	11,32	30	11,6	10
40	14,06	40	14,36	14
50	16,34	50	16,64	12
60	18,82	60	19,14	10

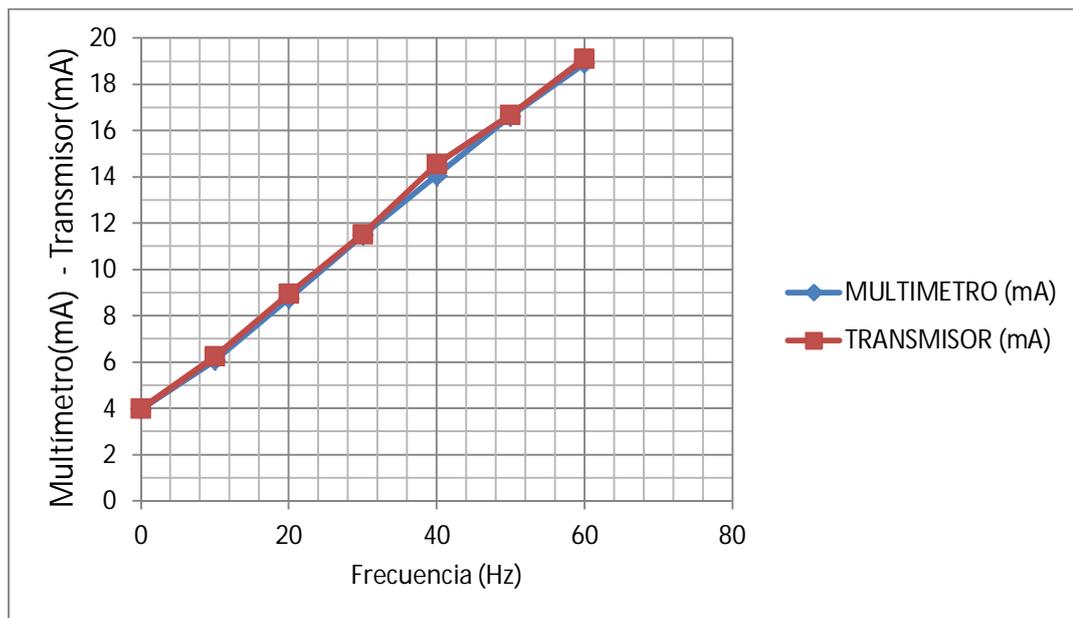


Figura 48: Average=LOW, Sensibility=0.

Tabla 7:

Average=LOW, Sensibility=25.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	4	0	4	0
10	6,14	10	6,27	8
20	8,93	20	9,96	10
30	11,47	30	11,56	12
40	14,14	40	14,37	11
50	16,57	50	16,69	11
60	19,11	60	19,2	10

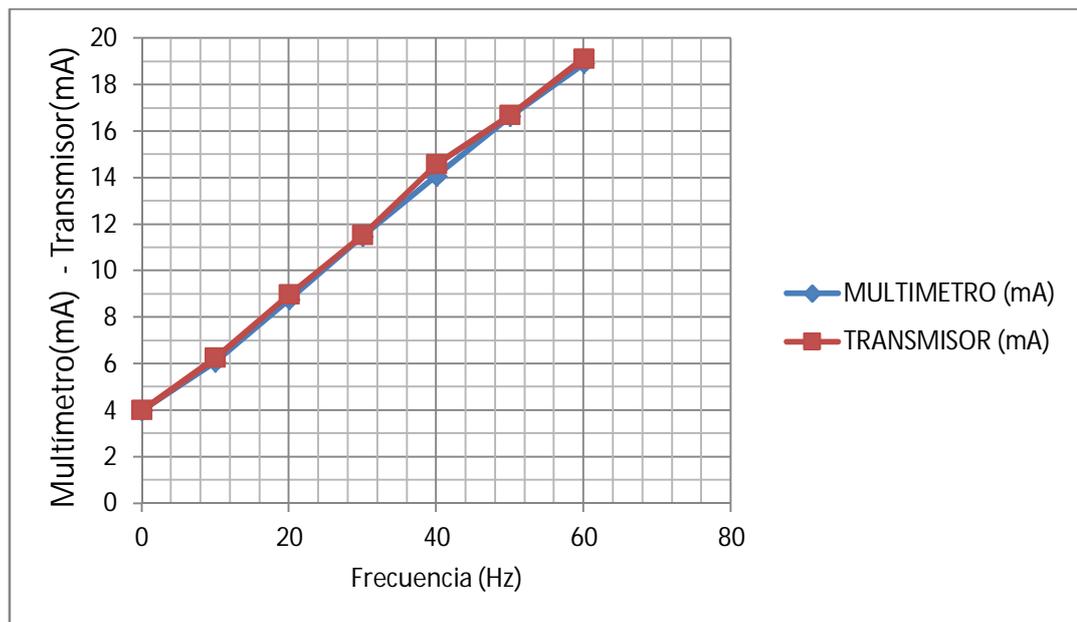


Figura 49: Average=LOW, Sensibility=25.

Tabla 8:

Average=LOW, Sensibility=50.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,18	10	6,22	11
20	8,93	20	8,94	11
30	11,54	30	11,57	7
40	14,11	40	14,24	8
50	16,68	50	16,74	6
60	18,98	60	19,17	7

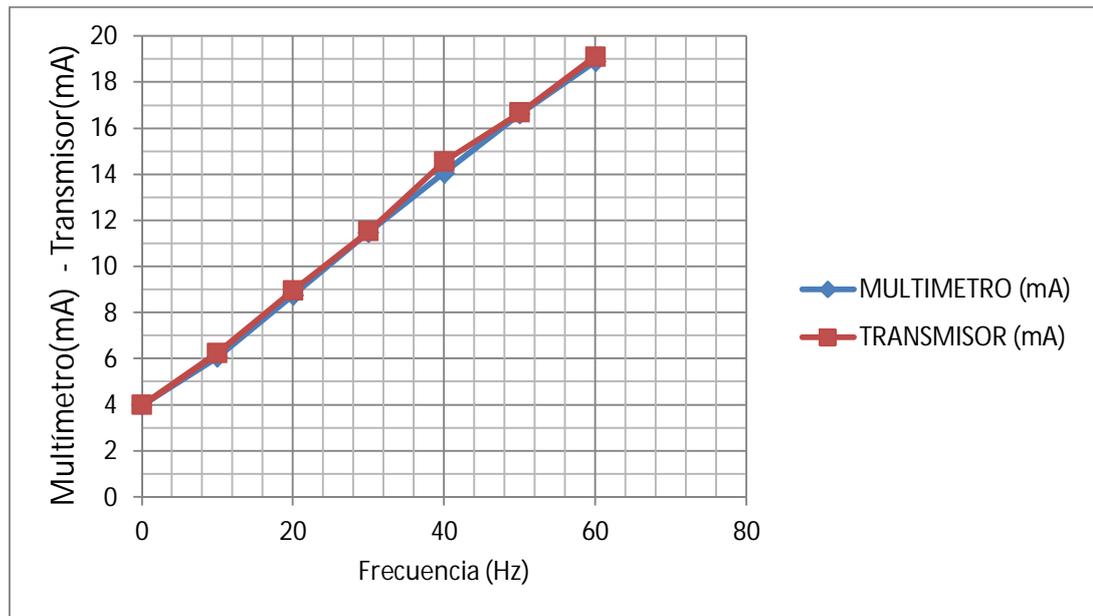


Figura 50: Average=LOW, Sensibility=50.

Tabla 9:

Average=LOW, Sensibility=75.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,18	10	6,22	11
20	8,93	20	8,99	9
30	11,48	30	11,55	7
40	14,1	40	14,16	9
50	16,73	50	16,78	6
60	19,07	60	19,1	7

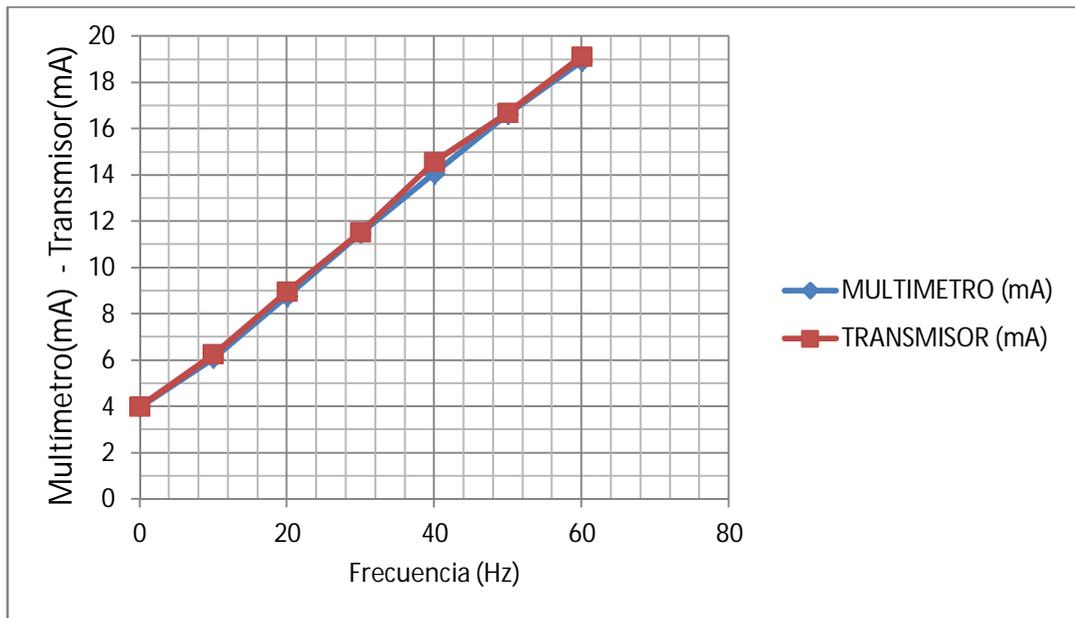


Figura 51: Average=LOW, Sensibility=75.

Tabla 10:

Average=LOW, Sensibility=100.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	4	0	4	0
10	6,14	10	6,17	8
20	8,94	20	8,98	7
30	11,48	30	11,54	9
40	14,10	40	14,12	8
50	16,67	50	16,73	8
60	19,12	60	19,17	7

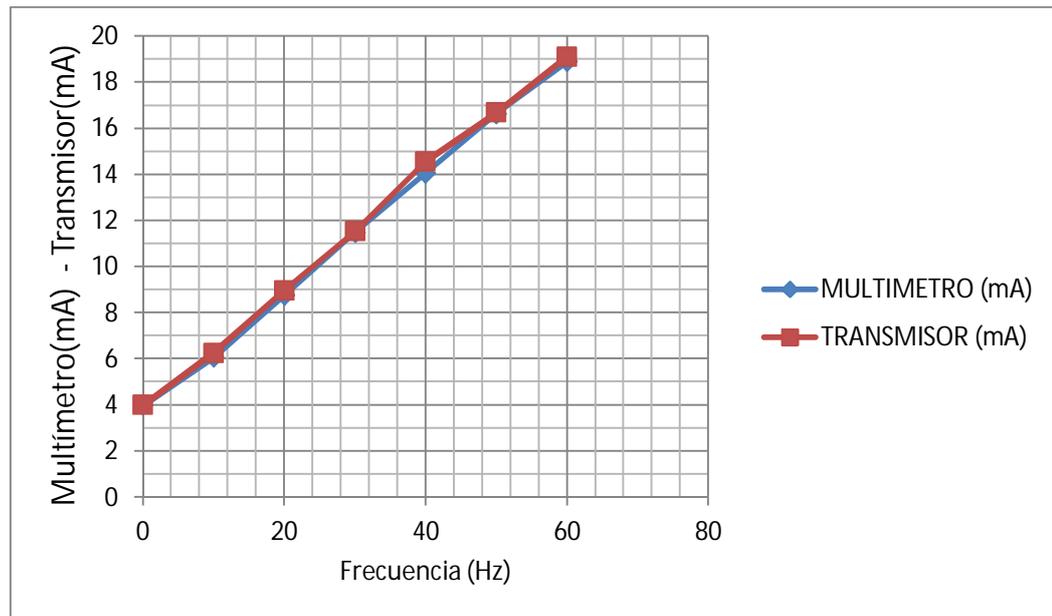


Figura 52: Average=LOW, Sensibility=100.

Tabla 11:

Average=MED, Sensibility=0.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,13	10	6,17	8
20	8,92	20	8,98	7
30	11,67	30	11,74	6
40	14,12	40	14,28	6
50	16,62	50	16,79	7
60	19,15	60	19,23	5

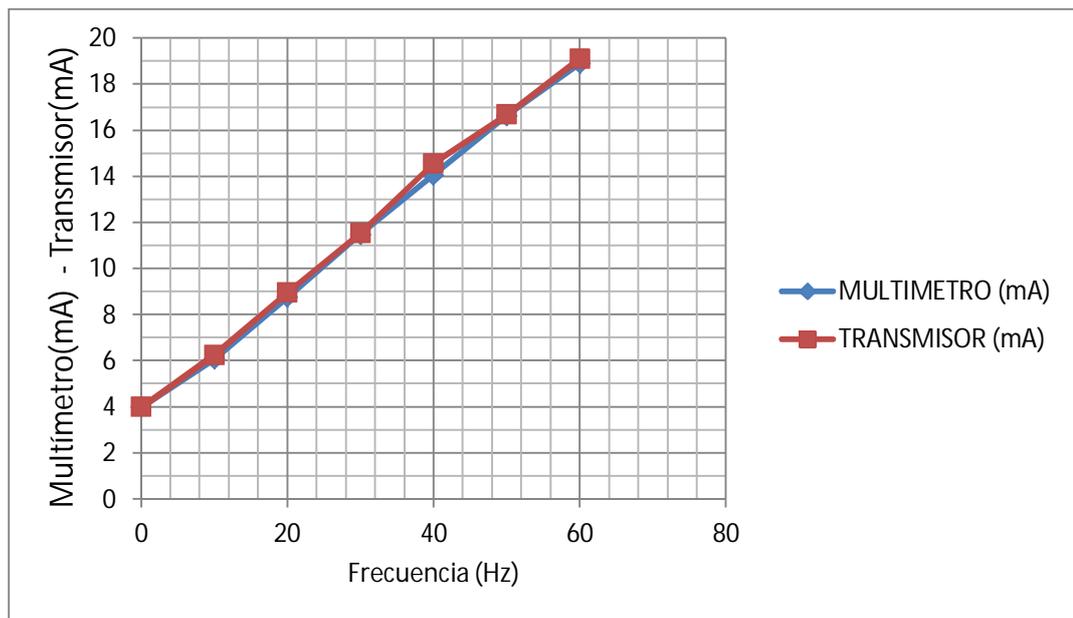


Figura 53: Average=MED, Sensibility=0.

Tabla 12:

Average=MED, Sensibility=25.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,22	10	6,25	10
20	8,97	20	8,98	11
30	11,71	30	11,75	16
40	14,01	40	14,11	35
50	16,6	50	16,67	22
60	19,1	60	19,16	28

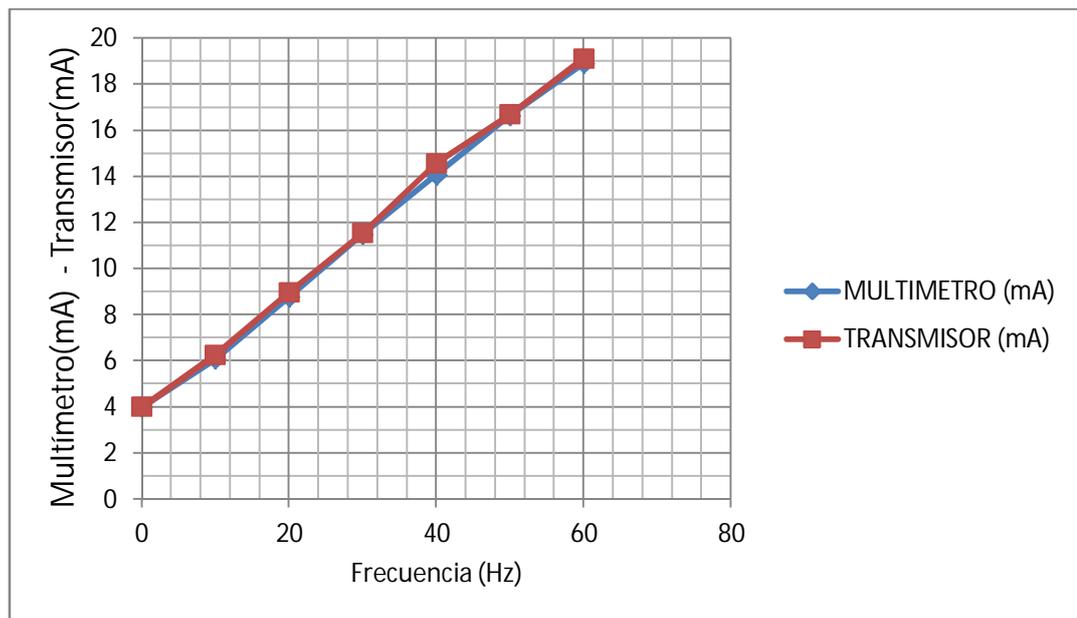


Figura 54: Average=MED, Sensibility=25.

Tabla 13:

Average=MED, Sensibility=50.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,9	0	4	0
10	6,17	10	6,18	25
20	8,8	20	8,86	14
30	11,5	30	11,53	15
40	14,1	40	14,2	33
50	16,5	50	16,54	20
60	19,01	60	19,05	22

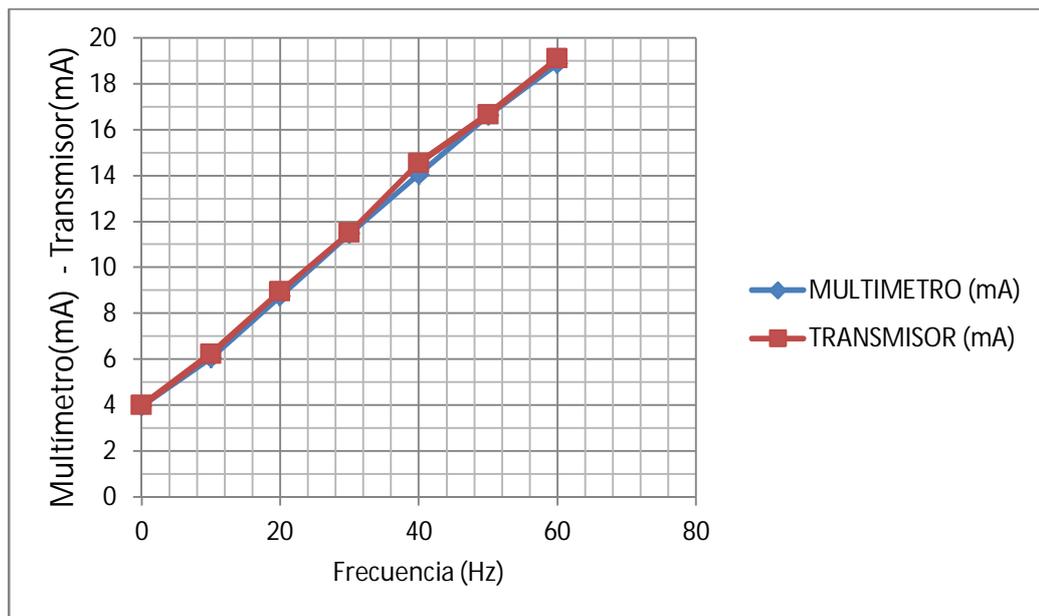


Figura 55: Average=MED, Sensibility=50.

Tabla 14:

Average=MED, Sensibility=75.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,9	0	4	0
10	6,22	10	6,25	20
20	8,73	20	8,89	15
30	11,47	30	11,53	20
40	14,09	40	14,15	29
50	16,55	50	16,65	15
60	18,87	60	19,98	26

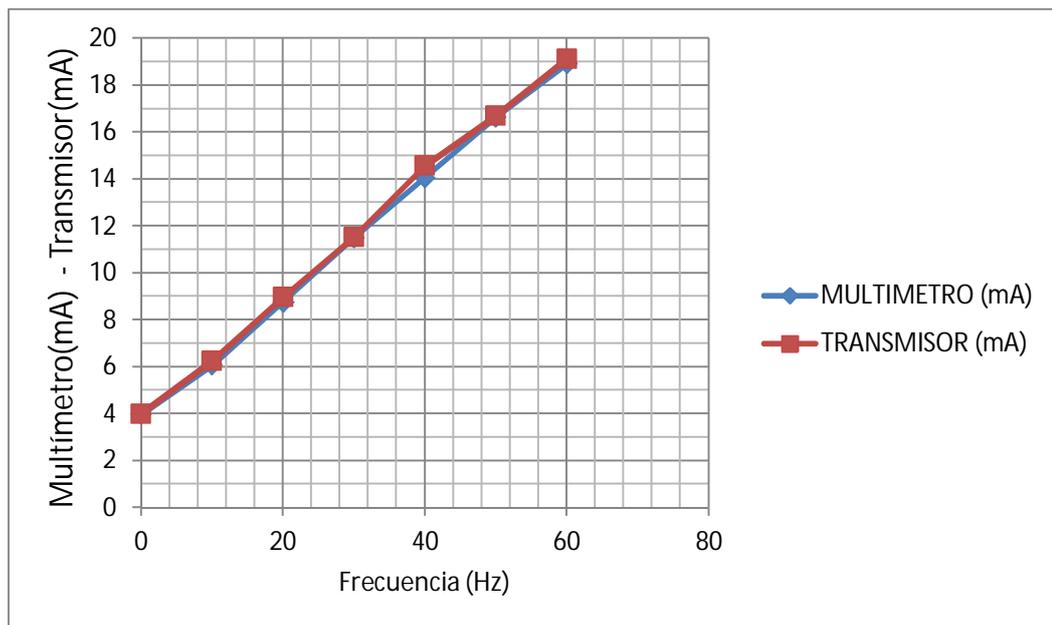


Figura 56: Average=MED, Sensibility=75.

Tabla 15:

Average=MED, Sensibility=100.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,21	10	6,35	9
20	8,77	20	8,87	11
30	11,45	30	11,57	12
40	14,15	40	14,25	12
50	16,63	50	16,75	11
60	18,98	60	19,27	14

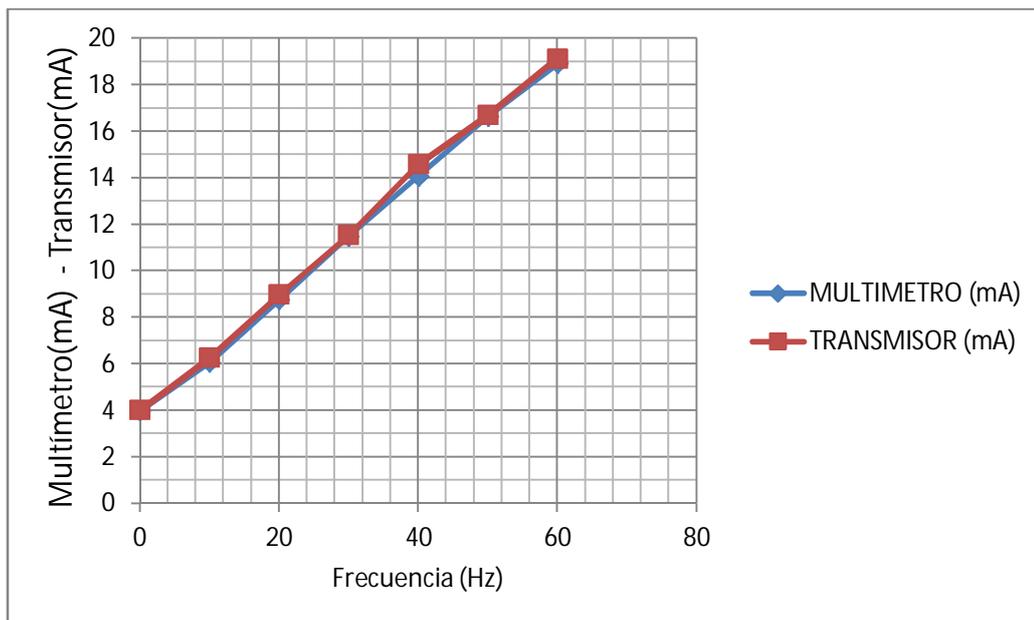


Figura 57: Average=MED, Sensibility=100.

Tabla 16:

Average=HIGH, Sensibility=0.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,18	10	6,26	9
20	8,9	20	8,97	8
30	11,69	30	11,74	5
40	14,12	40	14,26	5
50	16,85	50	16,91	6
60	19,12	60	19,26	9

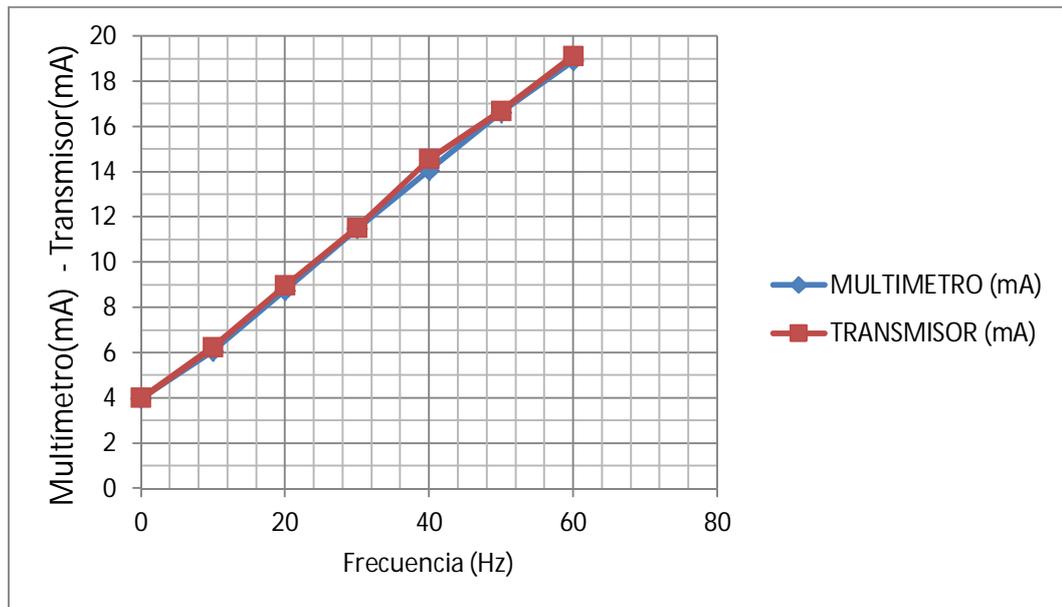


Figura 58: Average=HIGH, Sensibility=0.

Tabla 17:

Average=HIGH, Sensibility=25.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,21	10	6,33	25
20	8,29	20	8,43	27
30	11,15	30	11,75	28
40	14,13	40	14,39	30
50	16,18	50	16,95	29
60	18,99	60	19,07	31

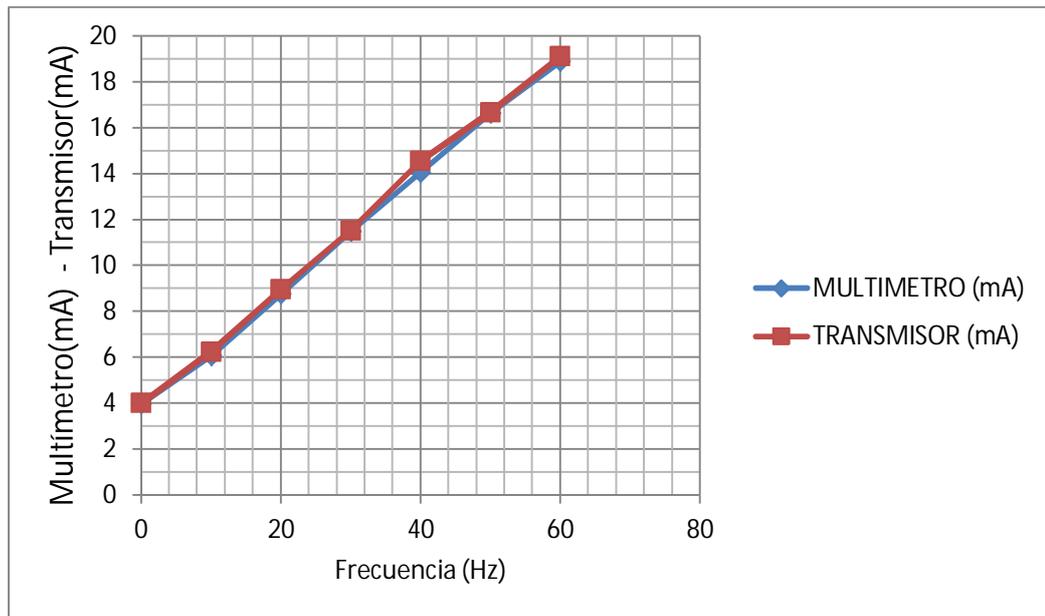


Figura 59: Average=HIGH, Sensibility=25.

Tabla 18:

Average=HIGH, Sensibility=50.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,09	10	6,17	15
20	8,20	20	8,37	24
30	11,16	30	11,8	25
40	14,12	40	14,59	29
50	16,17	50	16,95	30
60	19,05	60	19,25	31

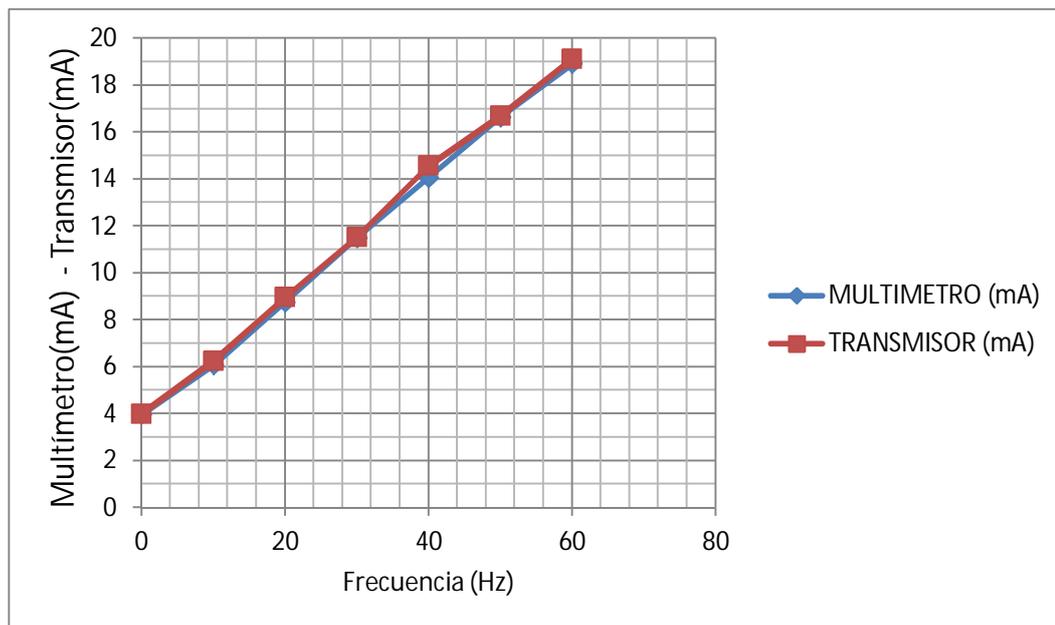


Figura 60: Average=HIGH, Sensibility=50.

Tabla 19:

Average=HIGH, Sensibility=75.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,19	10	6,28	19
20	8,15	20	8,96	21
30	11,16	30	11,75	24
40	14,12	40	14,19	27
50	16,18	50	16,25	28
60	18,95	60	19,17	33

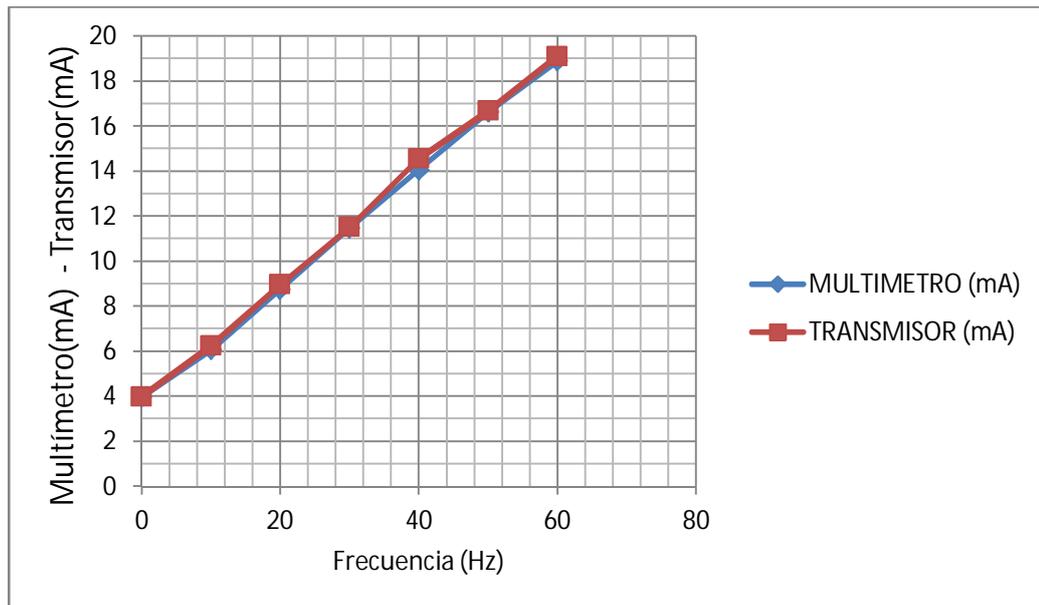


Figura 61: Average=HIGH, Sensibility=75.

Tabla 20:

Average=HIGH, Sensibility=100.

Frecuencia (Hz)	Multímetro (mA)	Frecuencia (Hz)	Transmisor (mA)	Tiempo tx (seg)
0	3,99	0	4	0
10	6,08	10	6,25	55
20	8,76	20	8,97	58
30	11,49	30	11,53	45
40	14,07	40	14,57	50
50	16,64	50	16,69	56
60	18,92	60	19,12	59

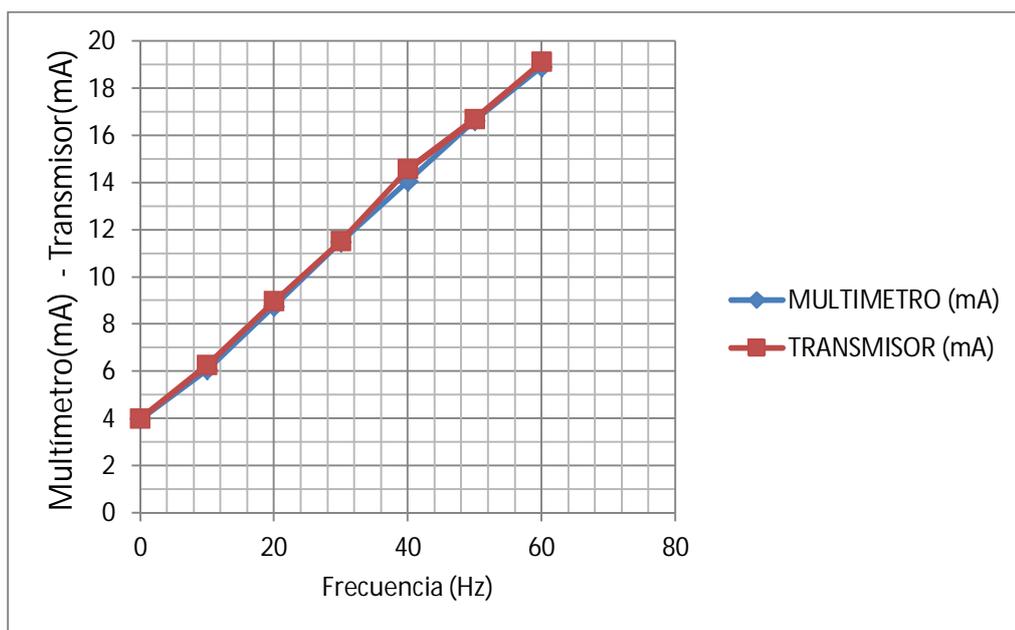


Figura 62: Average=HIGH, Sensibility=100.

De todas las muestras tomadas, tanto en el transmisor como en el multímetro de corriente, el resultado da que el funcionamiento más óptimo, será encontrado en la **tabla 15**, (Average=MED, Sensibility=100), la cual es ajustada en el trasmisor para así realizar la sintonización de la estación, también a su vez para realizar los controles necesarios en la estación de caudal.

3.11. TEST DE PRUEBAS DEL TRANSMISOR.

Para obtener resultados confiables se procedió a realizar pruebas de corriente al transmisor George Fisher colocando un multímetro en buen funcionamiento, en serie como amperímetro, demostrándolo en el siguiente procedimiento:

- Pulsar la tecla ENTER por 3 segundos para ingresar al menú de opciones como se muestra e la **figura 63**.



Figura 63: Acceso al menú de selección.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- Ingresar el código secuencial de teclas como se muestra en la **figura 64**, tres flechas arriba y una abajo.

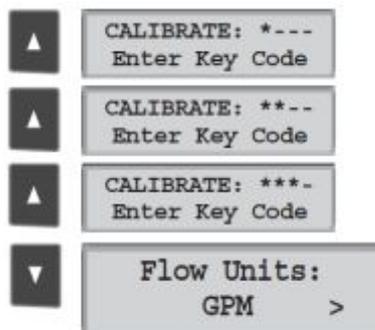


Figura 64: Contraseña de acceso.

Fuente: (Sinninger, 2014).

- Pulsar la flecha abajo y dirigirse a TEST LOOP, pulsar la tecla derecha para ingresar al componente y elegir el valor de corriente que el transmisor va a entregar con las flechas de arriba y abajo para realizar las pruebas y obtener los datos visualizados en el multímetro.
- Pulsar simultáneamente las flechas de arriba y abajo dos veces como se indica en la **figura 65** para salir del menú y regresar a la operación normal.



Figura 65: Salir del menú de ajuste.

Fuente: (Sinninger, 2014)

3.11.1. Test de pruebas en el transmisor de caudal.

Para realizar la prueba del transmisor de caudal, es necesario utilizar un amperímetro, que permita verificar la corriente de lazo que genera el transmisor, con el fin de comprobar que la señal eléctrica generada por el transmisor sea la correcta (4 a 20 mA).

La tabla 21 muestra las pruebas realizadas al transmisor de caudal y se obtiene como resultado un error del 0.47% para la corriente que entrega el transmisor y la medición del multímetro.

Tabla 21:

Pruebas realizadas en el transmisor de caudal.

Transmisor de Flujo		Multímetro	Error (%)	Error (%)
Corriente [mA]	Flujo [GPM]	Corriente [mA]	Corriente	Flujo
4,00	0,00	3,97	0,75	0,00
8,00	7,56	7,97	0,38	1,06
12,00	14,97	11,94	0,50	0,07
16,00	22,52	15,95	0,31	0,13
19,84	29,82	19,92	0,40	0,60
			0,47	0,37

La **figura 66**, representa gráficamente la prueba realizada al transmisor de caudal a diferentes corrientes, obteniendo como resultado que la señal de corriente del

transmisor entregada es la adecuada para la obtención de datos en un mínimo error de acuerdo con el multímetro.

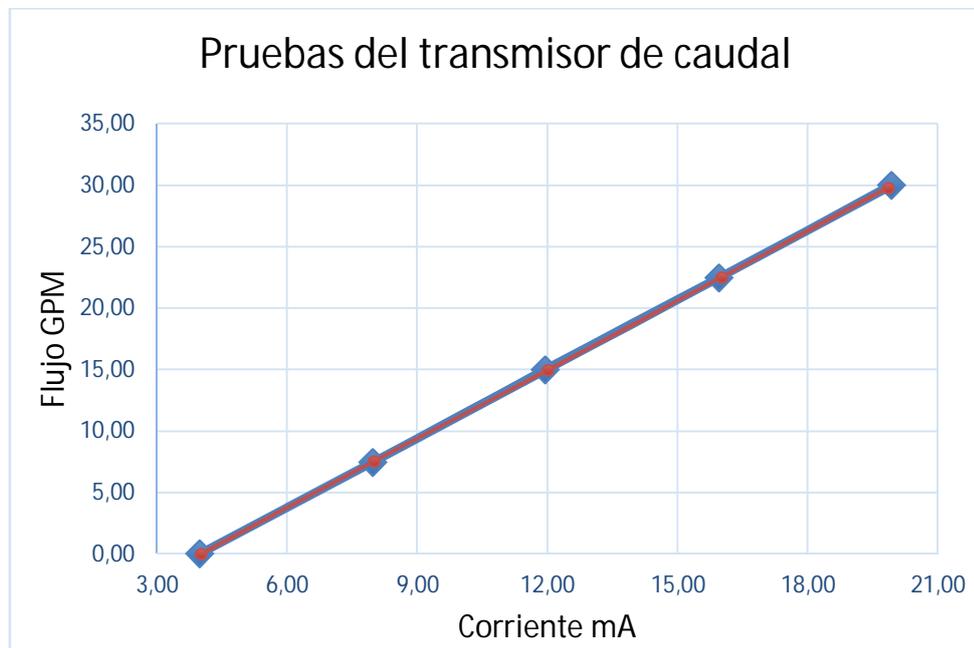


Figura 66: Prueba de corriente del transmisor de caudal.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

- Se implementó un transmisor marca George Fisher, modelo Signet 990, con un sensor de rueda de paletas Signet 8510, los mismo que puesto en funcionamiento entregan una señal estándar de 4 a 20 mA, en una estación de caudal del laboratorio de instrumentación virtual de la Unidad de Gestión de Tecnologías.
- El funcionamiento del proceso de caudal, dependió del tipo de bomba centrífuga, como también los demás dispositivos permitiendo el arranque pleno de la estación, para así realizar las pruebas a las que fueron sometidos.
- Al seleccionar los demás dispositivos, ubicándolos en el panel frontal detalla las condiciones idóneas a la que está sometida la estación.
- Ya montado todos los equipos electrónicos y bomba centrífuga, la estación de esta plenamente construida y operativa para ser utilizada.
- La bomba centrífuga es controlada por el Variador de Frecuencia, el cuál varía la frecuencia de acuerdo a la señal análoga ingresada de 0 a 60Hz ya sea desde el potenciómetro o el PLC.
- La utilización del transmisor George Fischer facilita las operaciones de calibración y ajuste de los rangos de medición de las variables, ya que posee un menú en donde se realizan estas operaciones.
- La variable caudal es registrada por el transmisor de flujo Signet 9900, su medición es proporcional a la frecuencia del variador, es decir a mayor frecuencia mayor caudal y a menor frecuencia menor caudal.
- Para el trabajo óptimo del transmisor, se ajusto SENSIBILITY en valor 100 y AVERAGE precedido por el rango MED.
- Los datos tomados de las diferentes pruebas realizadas, indico que las pérdidas son mínimas, con respecto al transmisor y mediciones hechas con el multímetro.

- Al realizar el test de pruebas del transmisor con referencia a un multímetro, este crea una margen de error mínimo, esto dependiendo del ajuste adecuado, el cual ejerce lecturas y toma de datos correctos.

4.2. Recomendaciones.

- Es recomendable no cerrar completamente la válvula V-101 porque crea una perturbación perjudicial, que afecta directamente al sensor, donde inmediatamente se refleja en la frecuencia, en este caso disminuirá hasta 0, sin embargo la bomba centrífuga, comenzaría a estrangularse la cual podría averiarse, por esta circunstancia.
- Para obtener un buen funcionamiento de la bomba centrífuga es recomendable instalar la tubería correcta, es decir para la succión del agua el diámetro de la tubería siempre debe ser mayor al diámetro de la impulsión de la bomba así su trabajo será más óptimo.
- Ajustar el sensor, en el transmisor de caudal que van en la misma posición a la tubería, puesto que si no se lo realiza este empezara a filtrar líquido el cual no permitirá un buen funcionamiento.
- Realizar correctamente las conexiones del panel frontal, si el transmisor no se encuentra en un lazo de alimentación, este no se encenderá.
- Realizar cambios ocasionales del agua en el tanque ya que por estar sometido a pruebas se pueden generar impurezas (oxidación y desgaste de tubería) que a su vez puedan ocasionar el mal funcionamiento.
- Para realizar pruebas se deberían utilizar un multímetro de buena exactitud para que los valores obtenidos sean confiables y seguros.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ADF. Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como: Drivers ya sea de frecuencia ajustable.

AJUSTE. Conjunto de medidas encaminadas a reducir los equilibrios existentes en determinadas magnitudes.

ÁLABE. Es la paleta curva de una turbo máquina o máquina de fluido rotodinámicas.

AUTOCAD. Es un software CAD utilizado para dibujo 2D y modelado 3D.

AVERAGE. Atenúa las velocidades de respuesta de pantalla, salida y relé. Seleccione Low (4 s), Med (8 s), High (32 s), OFF (casi instantáneo).

C

CALIBRACIÓN. Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

CAUDAL. Cantidad de líquido de una corriente.

CONTACTOR. Es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia.

E

ELECTRÓNICA. Es la rama de la física y especialización de la ingeniería, que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.

ESTÁNDAR. Producto de software o hardware que cumple determinadas reglas fijadas por acuerdo internacional, nacional o industrial.

I

INSTRUMENTACIÓN. Ciencia que se encarga del estudio de equipos dispositivos electrónicos.

INSTRUMENTO. Equipo o dispositivo, de instrumentación electrónica.

M

MICROPROCESADOR. Es el circuito integrado central y más complejo de un sistema informático.

MOTOR ASÍNCRONO. Son un tipo de motor de corriente alterna en el que la corriente eléctrica, en el rotor, necesaria para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator.

O

OBTURADOR. Es el dispositivo que controla el tiempo durante el que llega la luz al dispositivo fotosensible.

P

PERTURBACIÓN. Alteración del desarrollo normal de un proceso.

POTENCIÓMETRO. Es un resistor cuyo valor de resistencia es variable.

PLC. Controlador lógico programable.

PROFINET. Es el estándar Industrial Ethernet abierto y no propietario para la automatización. Con él es posible una comunicación sin discontinuidades desde el nivel de gestión hasta el nivel de campo.

P&ID. Diagrama de instrumentación y tubería.

R

RELE. Es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

RPM. Revoluciones por minuto.

S

SENSOR. Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

T

TOBERA. Es un dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido (conocida como entalpía) en energía cinética.

TRANSMISOR. Aparato que sirve para transmitir o emitir señales eléctricas.

V

VÁLVULA. Es un mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una máquina o sistema.

NETGRAFÍA

- +GF+. (12 de Julio de 2014). Recuperado el 24 de Agosto de 2014, de http://www.gfps.com/content/gfps/country_AR/es/about-GF-PipingSystems/innovation/transmitter.html
- Becerra, C. M. (2011). Instrumentacion Industrial. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <http://proton.ucting.udg.mx/~cruval/apunintro.pdf>
- Benoit. (16 de Octubre de 2009). Bombas centrifugas. Recuperado el 14 de Octubre de 2014, de <http://www.benoit.cl/Bombas2.htm>
- Catedu. (2009). CARACTERISTICAS Y MONTAJE DEL SIMULADOR. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de <http://www.catedu.es/elechomon/s71200/CARACTERISTICAS%20Y%20MONTAJE%20DEL%20SIMULADOR%20S7-1200.pdf>
- Fernández, R. D. (2014). scribd. Recuperado el 20 de Agosto de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/236188912/1/Magnitud-medida>
- Fischer, S. G. (05 de febrero de 2013). Signet 8510. Recuperado el 24 de Agosto de 2014, de [http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CDIQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.gfps.com%](http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CDIQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.gfps.com%2F)
- Guerra, A. (26 de Junio de 2013). Prezi. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <https://prezi.com/jsffaiu1poo6/copy-of-medidores-de-caudal/>
- Hosteltronic. (2014). Hosteltronic. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de http://www.actiweb.es/hosteltronic/variadores_de_frecuencia.html%20
- Marco teorico. (2014). Recuperado el 12 de Enero de 2015, de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>
- Marcos, M. (2003). INTRODUCCIÓN A LA INSTRUMENTACIÓN. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/asignaturas/15212/TEMA_2_IntroduccionInstrumentacion.pdf

- Mavinsa. (2009). Instrumentación. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r81666.PDF>
- Montenegro, V. D. (21 de Agosto de 2012). TRANSMISORES ELECTRÓNICOS. Recuperado el 16 de Marzo de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/103422396/TRANSMISORES-ELECTRONICOS>
- Pirobloc. (2 de Junio de 2014). Pirobloc. Recuperado el 19 de Octubre de 2014, de http://www.pirobloc.com/blog-es/que-es-un-piping-and-instrumentation-diagram/#.VFrvS5_NtM4
- Prieto, P. (08 de Octubre de 2007). Lenguajes de programación. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>
- QuimiNet. (16 de Junio de 2011). QuimiNet. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>
- Siemens Supply. (12 de Enero de 2015). Recuperado el 12 de Enero de 2015, de <http://www.siemenssupply.com>
- Sinninger. (2014). Manual de transmisor 9900.
- Transmisores. (2014). Seminario de automatización. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/Trabajos%202005/Transmisores/Transmisores/Introduccion.htm>
- unet. (14 de Enero de 2014). Bombas centrifugas. Recuperado el 29 de Octubre de 2014, de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-95.htm>

ANEXOS