

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Toda investigación necesita un conjunto de basamentos teóricos para facilitar su proceso de perfeccionamiento, y así darle el enfoque y punto de partida que conlleve al cumplimiento de los objetivos propuestos.

Ante la problemática planteada, los basamentos pueden definirse como se efectúa a continuación.

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la búsqueda de información para la ejecución de la fase investigativa del presente trabajo, fue necesario efectuar una revisión de estudios realizados previamente, que guardan vinculación con las variables de estudio, con el fin de poder establecer una comparación crítica de cómo fue abordada la investigación, la metodología usada y los resultados obtenidos en la misma. Seguidamente se presentan las investigaciones que aportaron datos importantes a las variables en estudio. Entre las investigaciones, relacionadas cabe destacar:

Tatis (2003), realizó un trabajo titulado: "Controlador Predictivo Basa en Redes Neuronales Recurrentes para un Sistema de Control y Medición de caudal con Ganancia no Lineal". El objetivo fundamental de esta

investigación fue desarrollar un controlador predictivo basado en redes neuronales recurrentes para un sistema de medición y control de caudal que presenta una ganancia no lineal.

El análisis se fundamenta en la obtención de un modelo matemático basado en datos experimentales que permitió estudiar la dinámica del proceso, para luego simularlo mediante Matlab y en base a esto generar datos para el entrenamiento de modelos neuronales que presentaran un comportamiento similar al proceso. Los controladores predictivos gestionan situaciones complejas donde se necesita una mejora del control tradicional, y dan posibilidades a la optimización del proceso y en los últimos años han alcanzado un nivel sustancial de aceptación, solucionando situaciones de exigencias crecientes de calidad, seguridad y gestión económica de proceso.

Es importante destacar que fue una investigación de carácter aplicada ya que propone soluciones a un problema en un tiempo corto, desarrollado siguiendo un esquema teórico-práctico, a su vez es de tipo tecnológica, la planificación fue creada en cinco fases, observación y análisis del sistema, aplicación de los datos obtenidos, experimentación del modelo matemático, entrenamiento de las redes y aplicación del controlador predictivo en el sistema.

Una vez desarrollado el controlador predictivo se realizaron varias pruebas para estudiar la influencia del horizonte de predicción (parámetro de ajuste del controlador).

Los resultados determinaron la factibilidad del sistema simulado y con la aplicación del control predictivo basado en redes neuronales se logró un control aceptable del sistema, demostrando así, que no siempre el uso de controladores tradicionales es adecuado y que en ocasiones es necesario el uso del control avanzado.

La investigación aportó al presente estudio, conocimientos sobre las bases teóricas de modelo Matemático, el cual sirve de apoyo para la sustentación del marco teórico.

Por su parte Alarcón (2002), realizó un trabajo cuyo título fue: “Modelo Simplificado del Proceso de Gaslift para la Optimización de la Producción de Crudo, mediante Algoritmos Genéticos y Lógica Difusa”. PDVSA, es una empresa cuyo principal negocio es la explotación del crudo a través de la extracción de petróleo de los pozos.

Uno de los procesos asociados a esta actividad es el levantamiento artificial por gas L A G, en el cual es muy importante cuantificar la cantidad exacta a inyectar en cada yacimiento con la finalidad de maximizar los beneficios y minimizar costos.

Dicho estudio tuvo como propósito la optimización de un sistema simplificado de manejo de gas empleando para ello algoritmos genéticos con representaciones cromosómicas bajo lógica difusa con el fin de poder modelar el comportamiento dinámico de un proceso dentro de un sistema evolutivo, como lo es el algoritmo genético.

La investigación fue de tipo descriptiva y de campo, de diseño no experimental, apoyándose en la observación como instrumento y utilizando 7 pasos para el diseño; Primero, identificación de problemas y objetivos en el proceso de manejo de gas para inyección a los pozos; segundo, se determinación el tipo de información necesaria para definir y analizar los requerimientos necesarios; tercero, análisis de las necesidades del sistema; cuarto, diseño del modelo recomendado; quinto, desarrollo del programa; sexto, simulación del modelo; séptimo, comparación con otros métodos.

Los resultados de dicha investigación permitieron demostrar la factibilidad de usar lógica difusa como mecanismo de codificación de los elementos (cromosomas) de una población resultando en un optimizado híbrido del tipo evolutivo-difuso. Con el empleo de esta técnica se logro optimizar el proceso de distribución de gas maximizando la producción de crudo y se demostró a través de simulaciones y comparaciones con los métodos actualmente utilizados como el optimizado híbrido no es solo más efectivo en términos de maximización económica sino también en tiempo computacional.

Así mismo la investigación apporto al presente estudio, conocimientos sobre las bases teóricas de lógica difusa, el cual sirve de marco teórico.

En el mismo orden de ideas, García (2002), realizo un trabajo cuyo titulo fue: "Modelado Matemático de un Proceso Químico de Neutralización Ácido-Base usando Redes Neuronales". El proceso de Neutralización ácido-

base tiene como fundamento un modelo dinámico de reactor formado por tres (3) entradas y una salida, en donde las entradas son tres (3) flujos, de ácido, base y buffer (corriente amortiguadora) y la salida es el PH de la concentración final después de la Neutralización.

En tal sentido, se creó un Modelo Matemático a este proceso aplicando Control inteligente, a través de redes neuronales en la cual, la investigación tuvo como objetivo, generar un modelado matemático usando redes neuronales que se ajusten al sistema no-lineal de Neutralización ácido-base. En este orden de ideas, dicho proceso no-lineal fue sustentado a través del modelo dinámico por Henson y Seborg (1994) y las ecuaciones y relación de equilibrio por Gustafsson y Waller (1992).

Asimismo, la investigación se estructuró, como explicativa, y descriptiva, debido a que estuvo enmarcada en distintas investigaciones tomadas de referencias bibliográficas. La metodología aplicada fue a través de cuatro (4) fases tomadas de Gustafsson y Waller (1992) para la construcción de las fases (1) y (2) Y Qin y McAvoy (1992) para las fases (3) y (4), donde se indicó el proceso a desarrollar para lograr los resultados experimentales. Por ello, se generó un modelo matemático a través de ecuaciones, relaciones de equilibrio y balance de cargas para obtener la expresión matemática del proceso

Luego, se aplicó el método de bisección, simulando la respuesta en Matlab y se estructuró la red neuronal analizada, comparada y seleccionada

previamente logrando la optimización del proceso calculando las medidas de superficie de error.

Dicha investigación apporto a este estudio, conocimientos sobre las variables, modelo matemático, el cual sirve de apoyo para la sustentación del marco teórico.

Valera (2001), realizo un trabajo cuyo nombre fue: "Diseño de un Control para un Servomotor Electrohidráulico aplicado a un Controlador basado en Redes Neurales". El objetivo fundamental de esta investigación fue diseñar un control para un servomotor electrohidráulico simulado, aplicando un controlador basado en redes neurales. Con el fin de desarrollar un modelo matemático que permitió estudiar la operatividad del sistema. El análisis se fundamenta en el servomotor, servoválvula, sistemas hidráulicos, principio de Pascal, modelo matemático, Matlab, Redes neurales.

Es importante destacar, que fue un estudio de tipo proyecto factible con propósito descriptivo explicativo, desarrollado siguiendo un esquema teórico-práctico, a su vez es de tipo tecnológica del conocimiento; la planificación de la investigación fue guiada por cuatro etapas, observación del sistema real, aplicación de los datos obtenidos, experimentación del modelo matemático, aplicación y entrenamiento de los controladores a utilizar en el sistema.

Con la puesta en marcha del funcionamiento se presentaron comparaciones del análisis de los resultados obtenidos con la finalidad de estudiar la optimización del comportamiento de los parámetros en el proceso,

permitió realizar un monitoreo continuo de un servomotor de sus variables y la influencia que cada una aporta a la salida del control y así mismo hacer los cambios que se requieran sin afectar el modelo matemático.

Los resultados determinaron la factibilidad del sistema simulado, que aplicando un controlador proporcional, proporcional integral, proporcional derivativo y redes neurales, se logró estabilizar el sistema; demostrando que los controladores convencionales estabilizaron mejor la señal de salidas que los métodos emergentes como las redes neurales.

Por otro lado la investigación aportó al estudio, conocimientos sobre las variables, simulación y redes neuronales, el cual sirve de apoyo para la sustentación del marco teórico.

Chacín (2000), en su estudio titulado: “Modelo simplificado de los elementos de producción, utilizando algoritmos genéticos en una unidad de exportación de Petróleos de Venezuela, S.A.”. La empresa PDVSA, en sus unidades de exportación se encarga de la extracción del petróleo de los pozos, sea por flujo natural o métodos de recuperación secundaria, al presentarse fallas en algunos de los elementos que componen las unidades de exportación, permitiendo a las industrias ser más competitiva en el mercado. La metodología utilizada en esta investigación de tipo descriptiva demostró ser eficiente y apropiada para la optimización del proceso de producción de crudo.

Los resultados arrojados por las pruebas mostraron que se logró maximizar la ganancia de la venta del crudo requerido haciendo uso

óptimo de los elementos de producción que componen la unidad de exportación tratada.

El trabajo presentado, sirve para ampliar a las bases teóricas, por haber sido estudiada la variable Controlador Difuso adaptativo y metodología para el desarrollo de la investigación.

2. BASES TEÓRICAS

2.1. MODELOS MATEMÁTICOS

Según Kamen (1987, p. 1), “un modelo matemático consiste de un conjunto de ecuaciones que describen la relación entre las señales que aparecen en el sistema”. Sin embargo es importante notar que si un sistema esta especificado por una simulación de cálculo-digital o cálculo analógico, entonces se tiene de hecho un modelo matemático: simplemente se escriben las ecuaciones debajo correspondientes al diagrama de flujo de señal de simulación.

Según el autor citado, un modelo matemático de un sistema es “usualmente una representación idealizada del sistema”. En otras palabras, muchos sistemas (físicos) actuales no pueden ser descritos exactamente por un modelo matemático. Además, existen dos tipos básicos de modelos: entrada / salida o representación externa que describen la relación entre las señales de entrada y salida de un sistema.

En este sentido, de acuerdo con Ogata (1993, p 98-99) un modelo matemático de un sistema dinámico se define como “ un juego de ecuaciones

que representa la dinámica del sistema con exactitud, o al menos, razonablemente bien ". Por lo tanto, el primer paso en el análisis de un sistema dinámico, es decir el modelo matemático.

Simplicidad versus exactitud: Es posible aumentar la exactitud de un modelo matemático incrementando su complejidad; en algunos casos, se puede incluir centenares de ecuaciones para describir un sistema completo. Al desarrollar un modelo simplificado a menudo es conveniente pasar por alto ciertas características físicas inherentes al sistema. En particular, si se desea un modelo matemático con parámetros concentrados lineales (es decir, uno que emplee ecuaciones diferenciales ordinarias), es necesario hacer caso omiso de ciertas linealidades y parámetros distribuidos (es decir, los que dan lugar a ecuaciones en derivadas parciales que pueden darse o hallarse en sistemas físicos.

Por otro lado Chapra y Canale (1999 p, 11), un modelo matemático puede ser definido con amplitud, como " una formulación o una ecuación, que expresa las características esenciales de un sistema físico o proceso en términos matemáticos.

Otro señalamiento, referido por Mielke (2001), expone que un modelo matemático consiste de un número de relaciones matemáticas. Estas relaciones son frecuentemente iguales y algunas veces desiguales. Ellas describen el estado presente del sistema como función del estado del sistema en el pasado. Además, existen importantes pasos para la implementación de un modelo:

1. El punto de inicio de la implementación es la relación matemática entre las diferentes variables y también encontrar un algoritmo que pueda resolver estas ecuaciones.

2. El próximo paso es encontrar un lenguaje de programación adecuado o un paquete de software adecuado que pueda usarse para la implementación.

3. Luego escribir el programa o paquete para resolver el modelo.

4. Después de tener escrito el programa, se realiza la prueba.

5. Dependiendo de las personas que utilizaron el programa después se podrá construir una interfase útil adecuada.

2.2. SIMULACIÓN

Según Davis y Mckeown (1986, p, 647), la simulación es “el proceso de desarrollar un modelo de un problema y estimar medidas del comportamiento llevando a cabo experimentos muestrales sobre el modelo.

El proceso de planteamiento de modelos y simulación constituye la primera etapa. Implica la recopilación de datos que describen las diferentes variables de entrada, la identificación de los límites o cotas del sistema. En la segunda etapa del proceso de simulación, el planeamiento del modelo se refiere a construir el modelo de simulación y a definir los procedimientos estadísticos (diseño experimental) que se utilizaron para aplicar el modulo.

La validación, es decir la tercera etapa, se refiere a asegurar que las entradas al modelo de simulación sean adecuadas, y que el modelo

responda a sus entradas de manera similar al problema real. En este sentido, si un modelo determinado no simula en forma adecuada la respuesta del sistema real entonces resulta necesario volver a examinar las dos primeras etapas (identificación del problema y planteamiento del modelo) con el objetivo de identificar los factores o relaciones que no se hayan considerado.

Es posible comenzar con el proceso de simulación propiamente dicho (análisis) una vez que se ha validado el modelo. Esta actividad implica: (a) generar entradas al sistema (b) aplicar el modelo y (c) recopilar los datos provenientes de la simulación.

Además, en el proceso de simulación deben estar presentes dos aspectos:

El primer aspecto, para un conjunto dado de condiciones del modelo, es necesario asegurarse que se lleve a cabo un número adecuado de experimentos muestrales (repeticiones de la simulación).

El segundo aspecto, que debe abordarse en el proceso de simulación es que si van a hacerse inferencias con respecto al funcionamiento del problema en el mundo real, es necesario analizar diferentes condiciones y parámetros del modelo.

En otro orden de ideas, afirma Creus (1989 p 17), “la simulación de un proceso industrial empieza por el desarrollo de un programa capaz de repetir las características de comportamiento de dicho proceso ante las variaciones en las variables.

Según Hernández (1990, p 1141 y 1155), la simulación es el proceso de realizar experimentos con el modelo de un sistema que se está analizando o diseñando, para llegar a un conocimiento más profundo del sistema de que se tiene en la actualidad.

Entre las formas alternativas de simulación en el estudio de un sistema se tienen:

Simulación por identidad: la simulación de sistema es el acto de representar un sistema mediante un modelo simbólico que se puede manejarse fácilmente y que produce resultados numéricos.

Simulación por cuasi _ identidad: es un tipo de simulación semejante a la simulación por identidad. En efecto, los aspectos del sistema real, tratan de conservarse excluyendo los elementos cuya presencia impide una simulación por identidad.

Simulación de Laboratorio: ofrece un método de análisis más factible y económico que las simulaciones por identidad o cuasi _ identidad, preservando al mismo tiempo las características esenciales del sistema en cuestión.

Simulación por computadora: la simulación de un sistema se realiza a través de una computadora, sin tener en cuenta el concepto de simulación al personal y al equipo de trabajo, de igual manera, ofrece muchas ventajas que la convierte en un método alternativo para el análisis.

En otro sentido, según Azarang y García (1996, p. 63-65), la simulación “es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de la vida real o de un sistema a través del tiempo”. Asimismo, existen dos (2) pasos básicos de una simulación:

a) **Desarrollo del modelo:** Incluye la contracción de ecuaciones lógicas representativas del sistema y la preparación de un programa computacional.

b) **Experimentación:** Permite determinar como responde el sistema a cambios en los niveles de algunas variables de entrada.

Es un modelo matemático que puede estar basado en ecuaciones teóricas, analogías con sistemas conocidos o ecuaciones empíricas. En la mayoría de los casos estas ecuaciones resultan demasiado tediosas y difíciles para resolverlas manualmente, por lo que se elaboran programas de computadora para agilizar su solución. El modo de trabajo más usual es emplear programas de simulación comercial, con los cuales ya contienen las ecuaciones más generalmente usadas para la representación de equipos.

La simulación de un proceso es la representación grafica de modelos matemáticos que emulan las operaciones unitarias que ocurren en el, basándose en balanzas de masa y energía, principios de termodinámica Y fenómenos de transporte, en los cuales se pueden incluir el comportamiento de controladores discretos y continuos de proceso a simular.

2.3. MEDICIÓN DE NIVEL

Las mediciones de nivel son necesarias para hacer un inventario, cuantificar el producto almacenado y distribuir la materia prima en los distintos procesos industriales.

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista de funcionamiento correcto del proceso como para establecer el balance adecuado de materias primas o de producción.

Conocer el nivel existente de producto tiene un efecto significativo en los procesos de calidad, control habilidad y/o costo. Las mediciones de nivel pueden ser utilizadas en diferentes áreas para distintas funciones tales como:

Aplicaciones contables: las mediciones de nivel son utilizadas para contabilizar producto o materia prima y están directamente relacionadas con la compra y la venta.

Costo de equipos: Con un control de nivel cerrado, se pueden utilizar recipientes de menor tamaño en las etapas intermedias de un proceso.

2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES DE NIVEL

De acuerdo con Creus (1998), los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando característica eléctricas del líquido.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en sonda, cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador.

2.3.2. MEDIDOR POR SONDA

Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de fuel-oil o gasolina. Otro medidor consiste en una varilla graduada, con un gancho que se sumerge en el seno del líquido y se levanta después hasta que el gancho rompe la superficie del líquido. La distancia desde esta superficie hasta la parte superior del tanque representa indirectamente el nivel. Se emplea en tanques de agua a presión atmosférica ver figura 1.

El medidor de cinta graduada. Se emplea cuando es difícil que la regla graduada tenga acceso al fondo del tanque

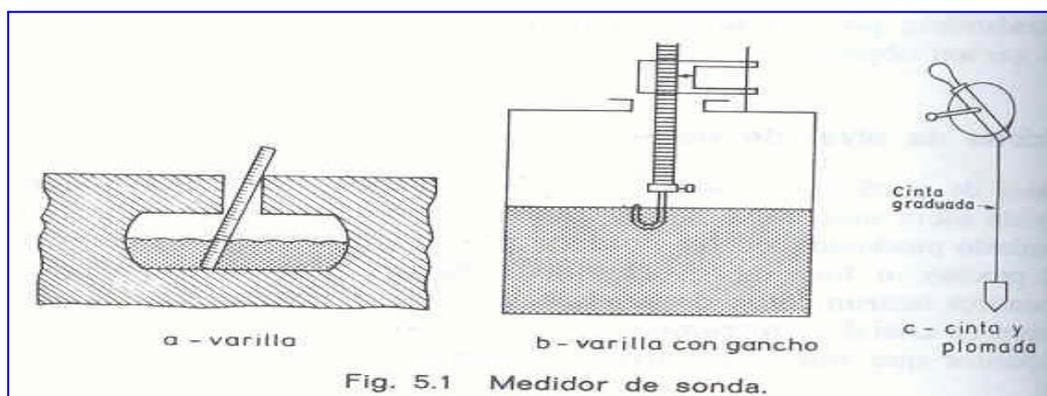


Figura 1. Medidor por sonda Fuente: Creus (1998)

2.3.3. MEDIDOR DE CRISTAL

Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al tanque generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga.

En nivel de cristal normal se emplea para presiones hasta 7 bar. A presiones más elevadas el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica. La lectura del nivel se efectúa con un cristal a reflexión o bien por transparencia.

En la lectura por transparencia es empleada para apreciar el color, característica o interfase del líquido, éste está contenido entre dos placas de vidrio planas y paralelas que permiten ver directamente el nivel, mejorándose la apreciación visual al acoplar una lámpara de iluminación al sistema.

Para mayor seguridad, las válvulas de cierre incorporan una pequeña bola que actúa como válvula de retención en caso de rotura del vidrio.

Los niveles de vidrio son susceptibles de ensuciarse por las características del líquido que miden, impidiendo que el nivel pueda apreciarse claramente. Entre los líquidos que representan este inconveniente figuran el caramelo y los líquidos pegajosos.

El nivel de vidrio permite sólo una indicación local, si bien pueden emplearse espejos para lectura a distancias limitadas o bien utilizar cámaras de televisión para mayores distancias de transmisión.

Su ventaja principal es la gran seguridad que ofrece en la lectura del nivel del líquido pudiendo controlar con ellos la lectura de los otros tipos de aparatos de nivel ver figura 2.

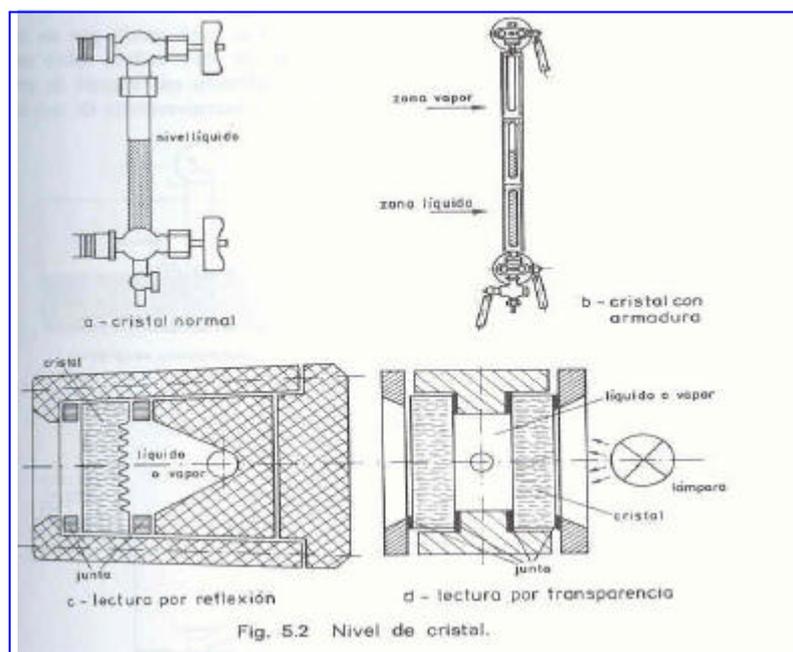


Figura 2: Medidor de Cristal. Fuente: Creus (1998)

2.3.4. MEDIDOR POR FLOTADOR

Consiste en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, magnética o hidráulica.

El flotador conectado directamente está unido por un cable que desliza en un juego de poleas a un índice exterior que señala sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en tanques de gran capacidad tales como los de fuel-oil gas-oil. Tiene el inconveniente de que

las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse y de que el tanque no puede estar sometido a presión. Además, el flotador debe mantenerse limpio.

El flotador acoplado magnéticamente desliza exteriormente a lo largo de un tubo guía sellado, situado verticalmente en el interior del tanque. Dentro del tubo, una pieza magnética sigue al flotador en su movimiento y mediante un cable y un juego de poleas arrastra el índice de un instrumento situado en la parte superior del tanque.

El instrumento puede además ser transmisor neumático o eléctrico. Una variante de la conexión magnética consta de un tubo conteniendo un flotador, dotado de un imán que orienta una serie de cintas magnéticas dispuestas en el exterior y a lo largo del tubo. A medida que el nivel sube o baja, las cintas giran, como tienen colores distintos en su anverso y reverso, visualizan directamente el nivel del tanque. El instrumento puede tener interruptores de alarmas y transmisor incorporados.

En tanques pequeños, el flotador puede adaptarse para actuar magnéticamente sobre un transmisor neumático o eléctrico dispuesto en el exterior del tanque permitiendo así un control del nivel; una aplicación típica la constituye el control de nivel de una caldera de pequeña capacidad de producción de vapor. El flotador acoplado hidráulicamente actúa en su movimiento sobre un fuelle de tal modo, que varía la presión de un circuito hidráulico y señala a distancia en el receptor el nivel correspondiente.

Permite distancias de transmisión de hasta 75 m y puede emplearse en tanques cerrados. Sin embargo, requiere una instalación y calibración complicadas y posee partes móviles en el interior del tanque.

Hay que señalar que estos instrumentos el flotador puede tener formas muy variadas y estar formado por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido.

Los instrumentos de flotador tienen una precisión de $\pm 0.5\%$. Son adecuados en la medida de niveles en tanques abiertos y cerrados a presión o al vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Por otro lado, el flotador puede agarrotarse en el tubo guía por un eventual depósito de los sólidos o cristales que el líquido pueda contener y además los tubos guía muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el tanque ver figura 3..

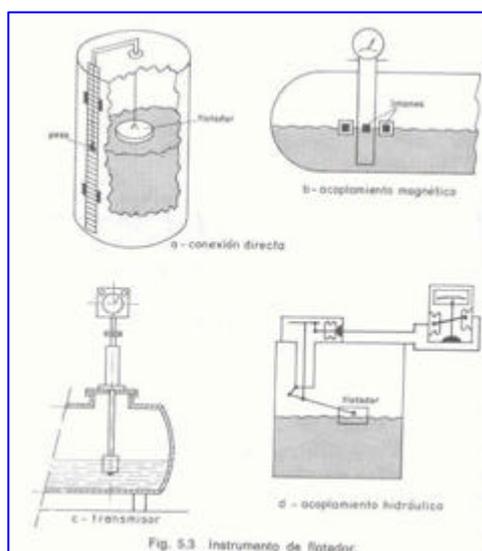


Figura 3. Instrumento flotador. Fuente: Creus (1998)

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

2.3.5. MEDIDOR MANOMÉTRICO

Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque. El manómetro mide la presión debida a la altura del líquido h que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento ver figura 4.

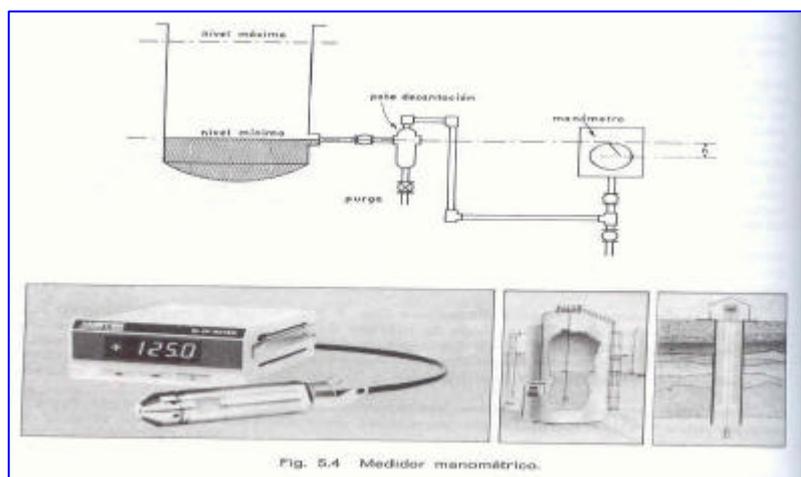


Figura 4. Medidor Manométrico. Fuente: Creus (1998)

Como las alturas son limitadas, el campo de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

El instrumento sólo sirve para fluidos limpios ya que si el líquido es corrosivo, coagula o bien tiene sólidos en suspensión, el fuelle puede destruirse o bien bloquearse perdiendo su elasticidad; por otra parte, como el campo de medida es pequeño no es posible utilizar sellos de diafragma. La medida está limitada a tanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de densidad del líquido. Una variante emplea un transductor de

presión de la parte superior del tanque e inmerso en el líquido, transmitiendo la señal de 4-20 mA.

2.3.7. MEDIDOR DE TIPO BURBUJEO

Emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado. La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido, es decir, al nivel.

El regulador de caudal permite mantener un caudal de aire constante a través del líquido independientemente del nivel. Si no existiera, habría una gran diferencia en los caudales de aire necesarios desde el nivel mínimo al máximo, con el inconveniente de un gasto de aire indebido. La tubería empleada suele ser de 1/2 "con el extremo biselado ara una fácil formación de las burbujas de aire. Una tubería de menor diámetro reduciría el tiempo de respuesta pero produciría un error en la medida provocado por la pérdida de carga del tubo ver figura 5.

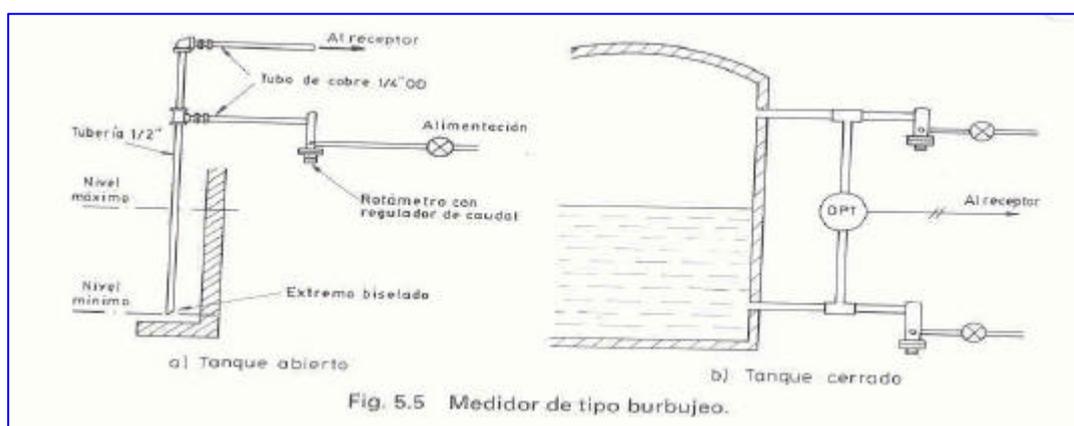


Figura 5. Medidor de tipo burbujeo. Fuente: Creus (1998)

El método de burbujeo es simple y da buen resultado, en particular, en el caso de líquidos muy corrosivos o con sólidos en suspensión y en emulsiones. No se recomienda su empleo cuando el fluido de purga perjudica al líquido y para fluidos altamente viscosos donde las burbujas formadas del aire o del gas de purga presentan el riesgo de no separarse rápidamente del tubo. Desde el punto de vista de mantenimiento, es muy útil situar una T con un tapón en la parte superior del tubo para su limpieza periódica.

2.3.7. MEDIDOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque.

La precisión de los instrumentos de presión diferencial es de $\pm 0.5\%$, no tienen partes móviles dentro del tanque, son de fácil limpieza, son precisos y confiables, admiten temperaturas del fluido hasta 120°C y no son influidos por las fluctuaciones de presión ver figura 6.

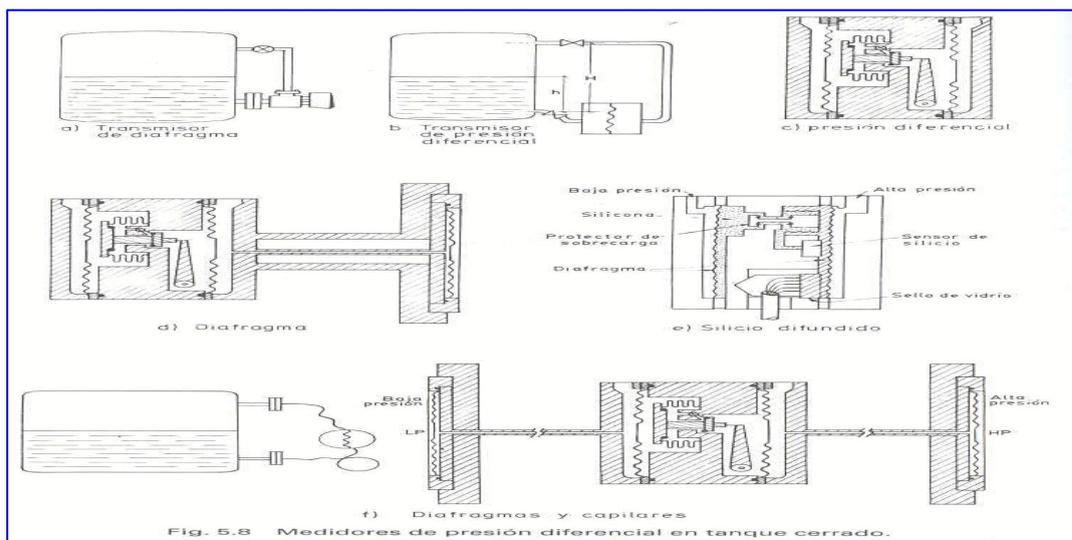


Figura 6. Medidores de presión diferencial. Fuente: Creus (1998)

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento a barra de torsión.

2.3.8. MEDIDOR DE NIVEL DE TIPO DESPLAZAMIENTO

Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al tanque.

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir, al momento ejercido por el flotador. El movimiento angular del extremo libre del tubo de torsión es muy pequeño, del orden de los 9°. El tubo proporciona además un cierre estanco entre el flotador y el exterior del tanque donde se dispone el instrumento receptor del par transmitido.

La precisión es del orden de $\pm 0.5\%$ a $\pm 1\%$, y pueden utilizarse en tanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, tiene una buena sensibilidad pero presenta el inconveniente del riesgo de depósito de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida y es apto para la medida de pequeñas diferencias de nivel.

Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

2.3.9. MEDIDOR DE NIVEL CONDUCTIVO O RESISTIVO

Consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos ver figura 7. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor.

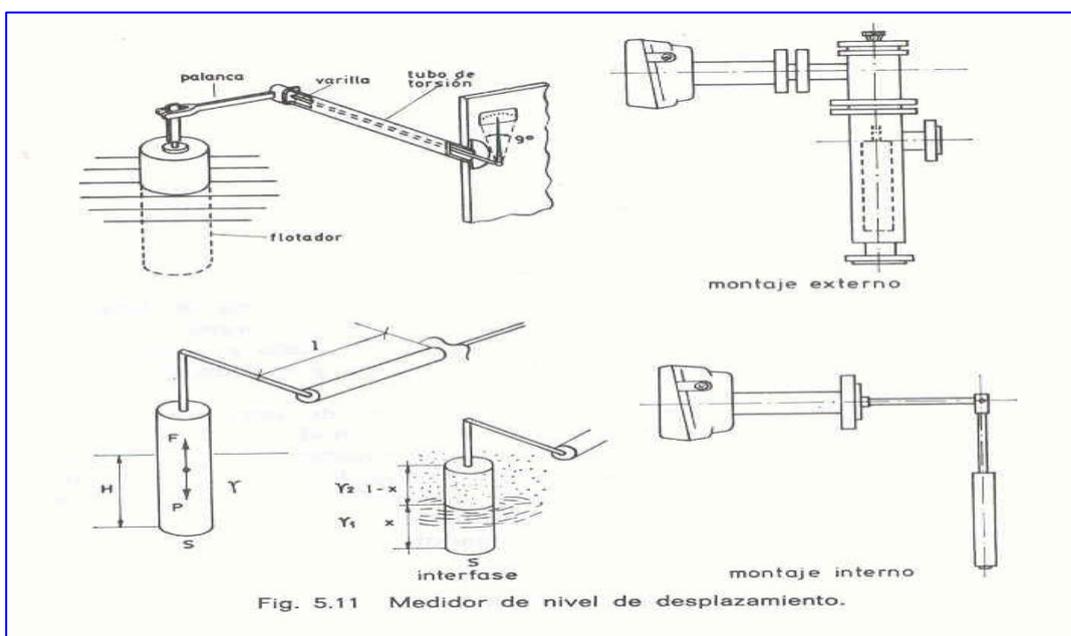


Figura 7 . Medidor de nivel por desplazamiento. Fuente: Creus (1998)

La impedancia mínima es del orden de los $20\text{M}\Omega/\text{cm}$, y la tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del fenómeno de la electrólisis. Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2mA ; el relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante

cualquier perturbación momentánea o bien en su lugar se disponen dos electrodos pocos separados enclavados eléctricamente en el circuito.

El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, utiliza relés eléctricos para líquidos con buena conductividad y relés electrónicos para líquidos con baja conductividad.

Es versátil, sin partes móviles, su campo de medida es grande con la limitación física de la longitud del electrodo. El líquido contenido en el tanque debe tener un mínimo de conductividad y si su naturaleza lo exige, la corriente debe ser baja para evitar la deterioración del producto. Por otro lado, conviene que la sensibilidad del aparato sea ajustable para detectar la presencia de espuma en caso necesario.

2.3.10. MEDIDOR DE CAPACIDAD

Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores ver figura 8.

En conductores con una mínima de 100 microhmios/c.c el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas ver figura 9.

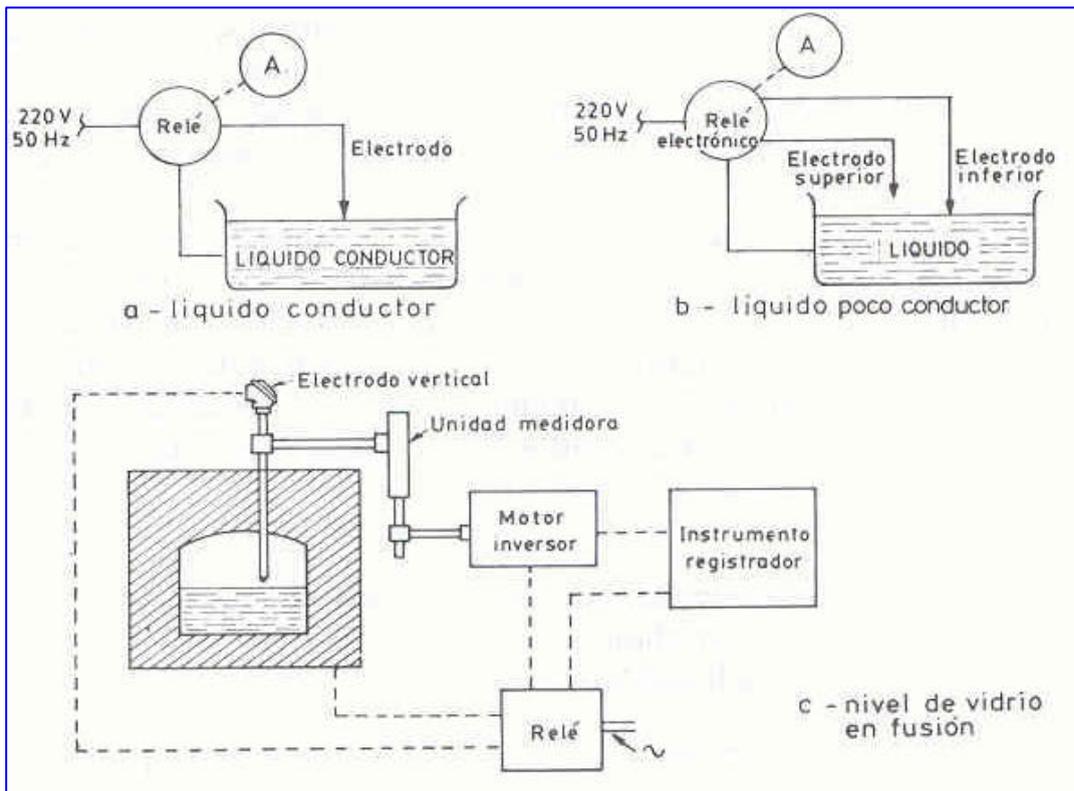


Figura 8. Medidor de nivel Conductivo. Fuente: Creus (1998)

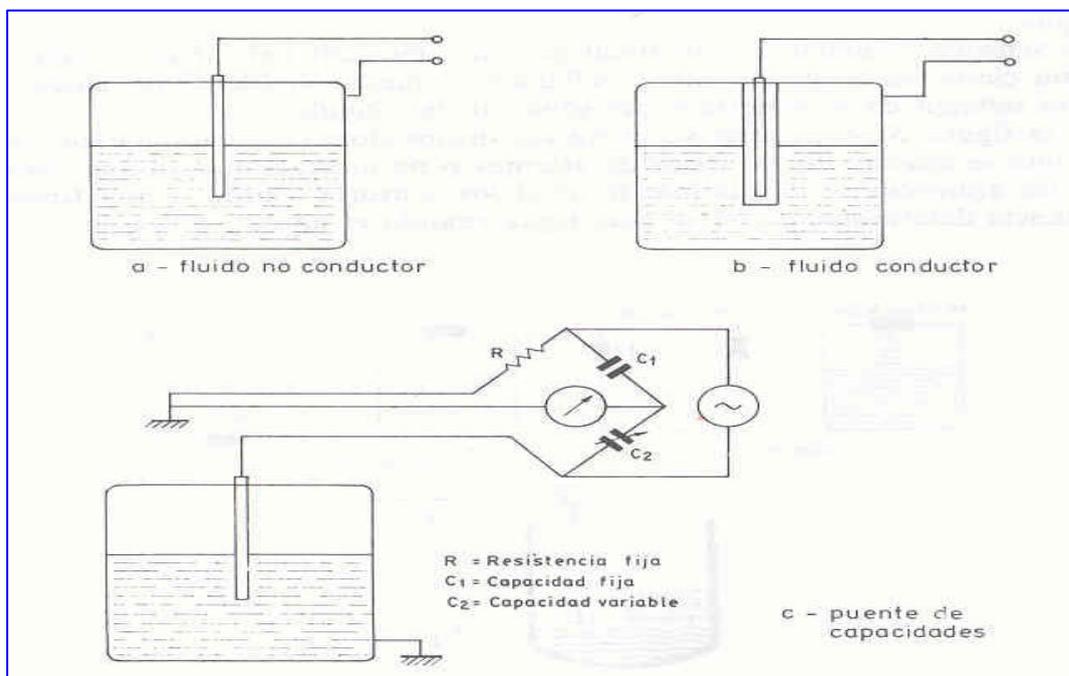


Figura 9. Medidor de capacidad. Fuente: Creus (1998)

El circuito electrónico alimenta el electrodo a una frecuencia elevada, lo cual disminuye la reactancia capacitiva del conjunto y permite aliviar en parte el inconveniente del posible recubrimiento del electrodo por el producto.

El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo, hay señalar que en los fluidos conductores, los sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o emulsión, y las burbujas de aire o de vapor existentes, aumentan y disminuyen respectivamente la constante dieléctrica del fluido dando lugar a un error máximo de 3% por cada tanto por ciento de desplazamiento volumétrico.

Por otro lado, al bajar el nivel, la porción aislante del electrodo puede quedar recubierta de líquido y la capacidad adicional que ello representa da lugar a un error considerable. La precisión de los traductores de capacidad es de $\pm 1\%$.

2.3.11. MEDIDOR POR ULTRASONIDO

El sistema ultrasónico de medición de nivel se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 Khz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

En las aplicaciones de alarma de nivel los sensores vibran a una frecuencia de resonancia determinada, que se amortigua cuando el líquido los moja.

En segundo caso de indicación continua del nivel, la fuente ultrasónica genera impulsos que son detectados por el receptor una vez ha transcurrido el tiempo correspondiente de ida y vuelta de la onda a la superficie del sólido o del líquido.

La precisión de estos instrumentos es de ± 1 a 3%. Son adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos o fangos pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los líquidos y dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se produce falsos ecos de los ultrasonidos.

La utilización del ordenador permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida. Por otro lado, el ordenador facilita la conversión del nivel a volumen del tanque para usos de inventario, y además proporciona características de autocomprobación del instrumento.

La diferencia entre las señales de transmisión y de recepción es Ecu.(1) proporcional al tiempo empleado por las mismas y así:

$$d = v/2dt \quad \text{Ecu.(1)}$$

con

$$v = c/\sqrt{e} \quad \text{Ecu.(2)}$$

Siendo:

d = distancia del emisor al líquido

v = señal de velocidad

dt = tiempo de recorrido

c = velocidad de la luz

e = constante dieléctrica

Como la constante dieléctrica de los vapores sobre el líquido es casi la unidad, la variación de la velocidad es despreciable, de modo que la señal de velocidad de radares es más constante que la de ultrasonidos.

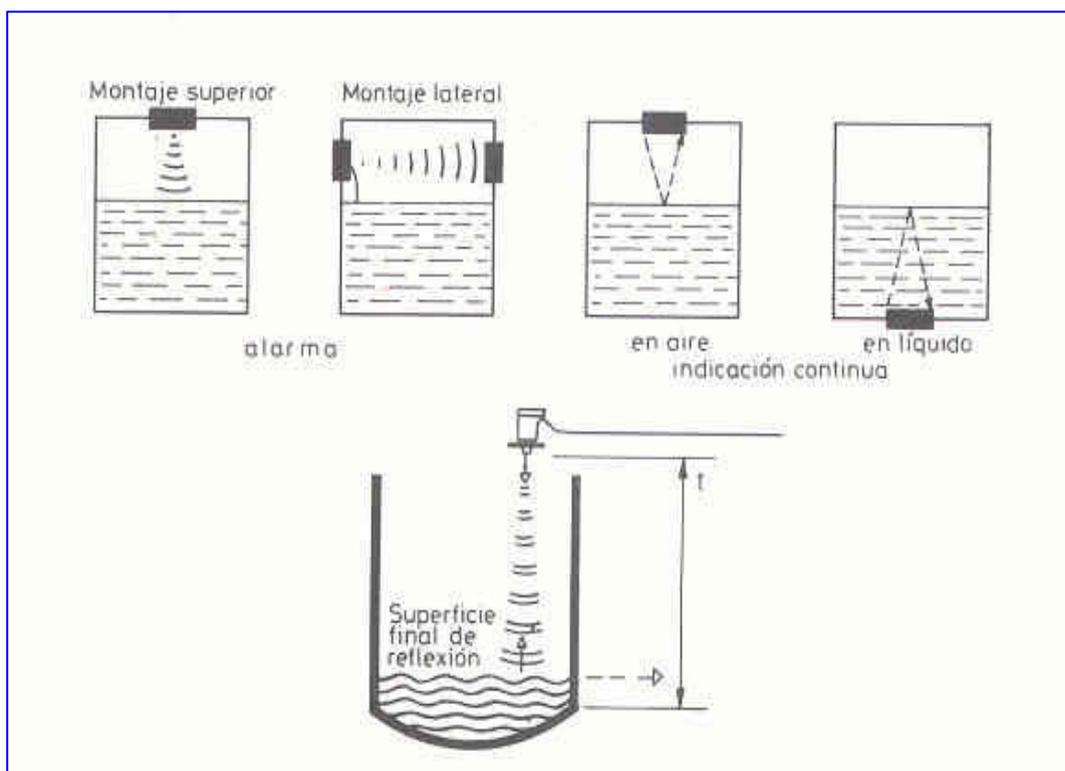


Figura 10. Medidor de nivel por ultrasonido. Fuente: Creus (1998)

2.4. PLANTA TY30A/EV-G30A/EV.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Conjuntamente con la unidad TY30A/EV, el módulo G30A constituye un equipo didáctico con el que se podrán analizar las técnicas de transducción de magnitudes físicas tal como el NIVEL. En dicho módulo G30A se halla toda la parte electrónica de condicionamiento, de control y de visualización de las magnitudes físicas que se analizan; en cambio, la unidad TY30A/EV sirve para generarlas. La unidad TY30A/EV consta también de un detector de nivel.

El módulo se subdivide en 8 partes, cada una de las cuales desempeña una función diferente de las demás.

Cada bloque está representado por un esquema eléctrico y se delimita dentro de una línea de trazos.

En el lado derecho del modulo se hallan dos zonas destinadas a la conexión con la unidad TY30A/EV y con el ordenador externo.

A la derecha, en el ángulo superior, se encuentran los bornes de alimentación del modulo; hacen falta dos tensiones de 12 Vcc - 0,5 A, una de 5 Vcc - 1A para la parte lógica y la interfaz del módulo con el ordenador y, por último, una tensión de +12 2Vcc - 1,5 A para alimentar la bomba de la unidad TY30A/EV.

La conexión entre el módulo y la unidad se efectúa a través de dos bornes, uno rojo y otro negro, y una torna de 8 polos de tipo din: los bornes y la torna pueden verse en un costado de la unidad TY30A/EV y en la parte derecha del módulo.

Con estos bornes se alimenta la bomba que hace pasar el agua del tanque inferior al superior; mientras que a través de la torna din llegan al módulo las señales de los transductores.

En la figura 11 se halla ilustrado el tablero sinóptico serigrafiado del módulo, y en la figura 12 la unidad TY30A/EV.

2.4.2. MEDICIÓN DE NIVELES Y DE PRESIONES

Para medir niveles o presiones se utiliza el detector de presión situado en el soporte de la columna vertical de la unidad TY30A/EV.

Un bucle de medición analógico permite generar una tensión continua que evoluciona en función del nivel del agua de la columna; resultará, pues, que a cada nivel de la columna le corresponde un solo valor de tensión de salida. Dícese entorces que hay una analogía entre el nivel y la magnitud que lo representa (en nuestro caso, la tensión de salida del bucle de medición).

Podrá afirmarse, así, que una magnitud o una información son de tipo analógico cuando varíe de modo continuo, o cuando, por su naturaleza, no presente ninguna discontinuidad.

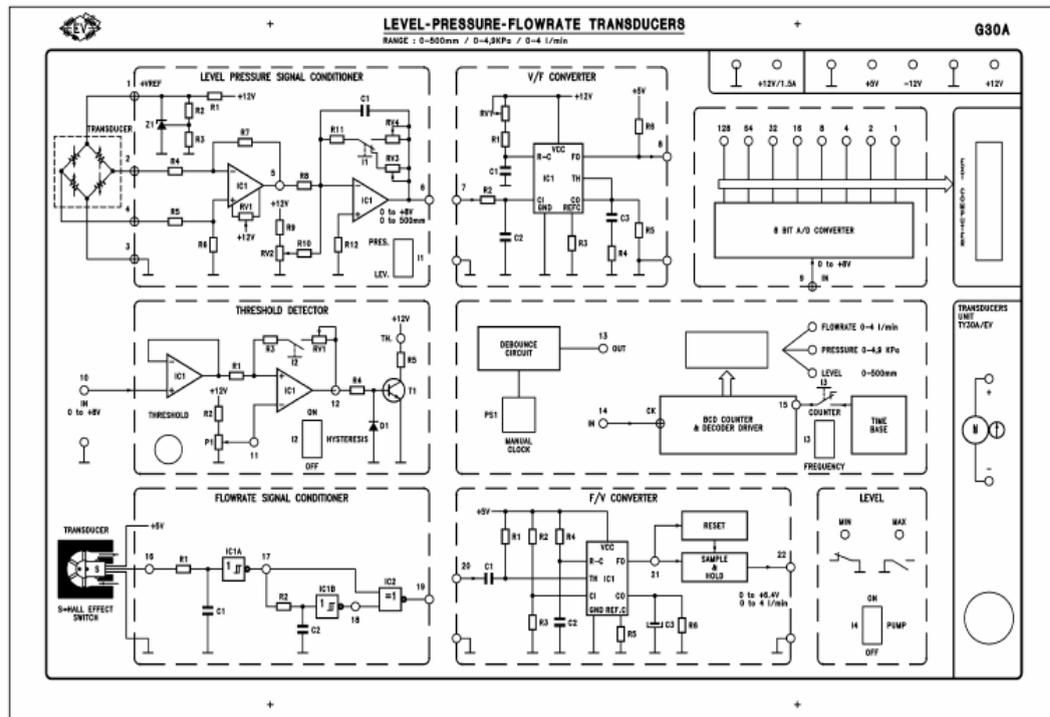


Figura 11. Tablero sinótico G30A/EV. Fuente: Electrónica Veneta (2005)

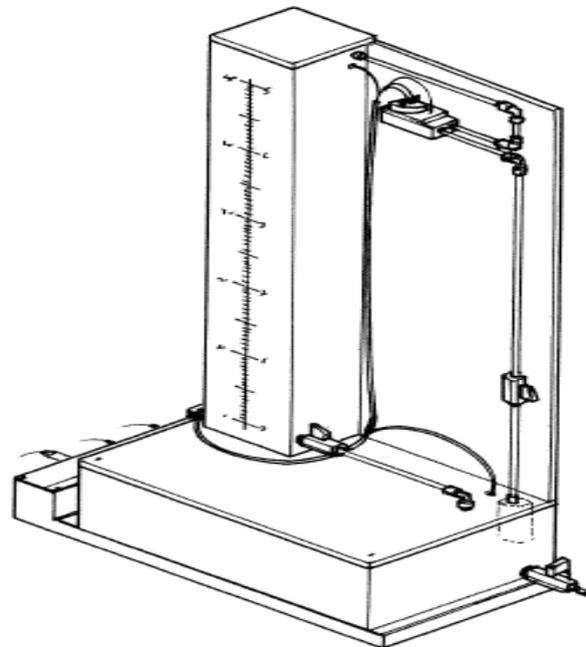


Figura 12. Unidad TY30A/EV Fuente: Electrónica VENETA (2005)

Esto implica que una magnitud analógica (en nuestro caso, el nivel de agua de la columna) puede adquirir un número infinito de valores.

2.4.2.2. EL DETECTOR DE PRESIÓN

En condiciones estáticas el nivel de un líquido resulta vinculado a la presión según una ley de proporcionalidad. Definiendo con “L” el nivel (es decir la altura) del líquido en un tanque, la presión que se ejerce en el fondo del mismo estará dada por: Ecu.(3)

$$P = L \cdot g \cdot Ms.$$

En donde:

P = presión (en Pa = Pascal = $N \cdot m^{-2} = 10^{-5}$ bar)

L = nivel (en m)

g = aceleración de la gravedad ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Ms = masa específica del líquido ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

De todo esto se infiere que para poder medir el nivel es suficiente medir una presión.

Entre los diferentes transductores de presión disponibles actualmente los de “Strain Gauge” (o transductores extensométricos) se halla entre los más importantes.

El funcionamiento de dichos transductores se basa en la piezorresistividad (es decir, la propiedad de parte de algunos materiales de cambiar la propia resistencia en función de la deformación a la que están sometidos).

En un diafragma de silicio se montan cuatro resistencias que se conectan en puente de Wheatstone véase la figura.13. A continuación se suelda dicho diafragma a un soporte de vidrio anular.

Luego, se alimenta el puente conectando con una de las diagonales un generador de tensión constante; mientras de la otra diagonal se extrae una tensión variable y proporcional a la presión ejercida sobre el diafragma.

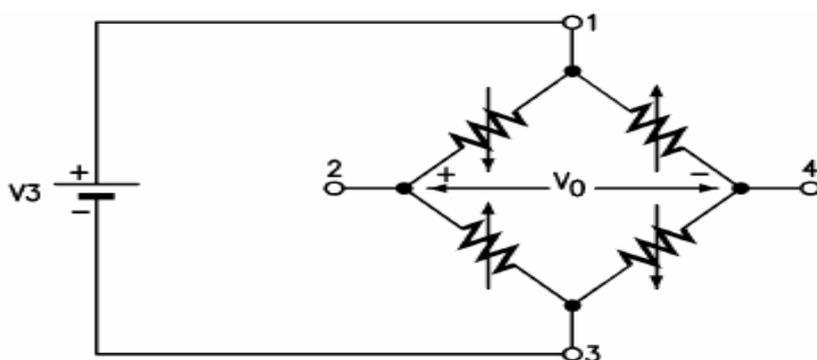


Figura 13. Puente de Wheatstone. Fuente: Electrónica VENETA (2005)

En el sistema de la planta, el detector aprovecha la presión ejercida por el agua de la columna para provocar una deformación elemental de los extensímetros (incorporados en dicho detector). Los extensímetros son resistencias cuyo valor depende de las deformaciones a que los mismos están sometidos. En el detector empleado, las resistencias están conectadas en puente de Wheatstone, por lo que la tensión de salida V_0 varía proporcionalmente a la presión. El intervalo de funcionamiento (“pressure range”) del detector adoptado en nuestro sistema está comprendido entre 0 y 0,07 bar.

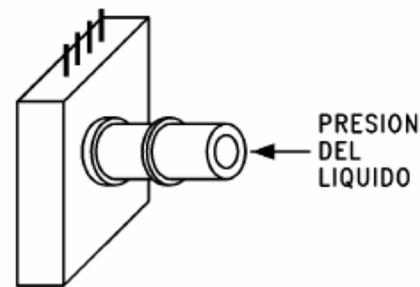


Figura 14. Estructura del Transductor de Nivel.
(Fuente: Electrónica VENETA (2005))

Por lo tanto, la variación dinámica de la tensión de salida del circuito anterior es de 42 mV (valor que constituye el "F.S.O. — Full Scale Output", es decir el valor de escala de la tensión de salida) cuando la tensión de alimentación V vale 10 V. Este dispositivo se halla disponible en el mercado como detector diferencial o, en nuestro caso, como detector de presión absoluta. En el módulo G30A la conexión entre el detector de nivel y su acondicionador de señal se realiza con un cable que se enchufa en las tomas Din (de 8 pin) marcadas con la palabra "Transducers".

2.4.3. EL ACONDICIONADOR DE SEÑAL NIVEL-PRESIÓN

2.4.3.1. ESQUEMA DE BLOQUES

Obsérvese la figura 14. La señal suministrada por el transductor de nivel se aplica en los bornes (1), (2), (3) y (4) del circuito del acondicionador de señal a través del cable provisto de conectores din; mientras que la señal de salida se halla disponible en el borne (6). Este dispositivo consta de tres

circuitos fundamentales, que son: un circuito regulador de tensión (Z1, R1, R2, R3, RV5 y C2) que suministra al detector de presión una tensión de alimentación rigurosamente constante; esto, para tener una información fiel del detector.

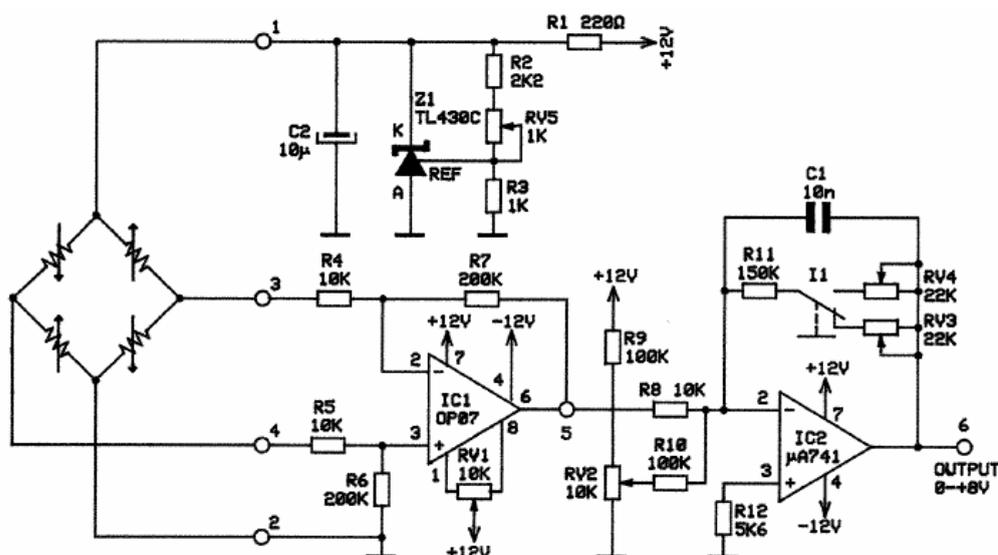


Figura 15. Acondicionador de señal nivel-presión.
(Fuente: Electrónica VENETA (2005))

El circuito integrado Z1 es un circuito de tensión de referencia cuya función es la de hacer que la tensión de su entrada REF sea 2,5 V. un amplificador diferencial (IC1, R4, R5, R6 y R7). Este circuito permite obtener en el punto (5) - y con referencia a la masa (2) - una forma de onda amplificada de la tensión "oscilante" suministrada entre los puntos (3) y (4) por el detector un amplificador (IC2, R8, R9, R10, R11, R12, RV2, RV3, RV4 y C1).

Este último circuito permite generar una tensión de “offset” (o de desviación) en el punto (5) de modo que la tensión del punto 6 sea nula cuando el nivel de agua de la columna corresponda al valor cero de la escala de medida. Sirve también para regular el coeficiente de proporcionalidad entre el nivel (o la presión) y la tensión de salida disponible en el punto 6 a fin de que, por ejemplo, el valor de 8 V coincida con el nivel de 500 mm. Este factor de escala varía según la tensión del punto (6); la cual puede indicar, según la selección efectuada con el interruptor II, un nivel o bien una presión.

2.5. LÓGICA DIFUSA

2.5.1. HISTORIA

Los conjuntos difusos fueron introducidos por primera vez en 1965; la creciente disciplina de la lógica difusa provee por sí misma un medio para acoplar estas tareas. En cierto nivel, la lógica difusa puede ser vista como un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas en lenguaje natural a un lenguaje matemático formal.

Mientras la motivación original fue ayudar a manejar aspectos imprecisos del mundo real, la práctica temprana de la lógica difusa permitió el desarrollo de aplicaciones prácticas. Aparecieron numerosas publicaciones que presentaban los fundamentos básicos con aplicaciones potenciales. Esta frase marcó una fuerte necesidad de distinguir la lógica difusa de la teoría de probabilidad. Tal como la entendemos ahora, la teoría de conjuntos difusos y la teoría de probabilidad tienen diferentes tipos de incertidumbre.

En 1994, la teoría de la lógica difusa se encontraba en la cumbre, pero esta idea no es nueva, para muchos, estuvo bajo el nombre de lógica difusa durante 25 años, pero sus orígenes se remontan hasta 2,500 años. Aún Aristóteles consideraba que existían ciertos grados de veracidad y falsedad. Platón había considerado ya grados de pertenencia.

En el siglo XVIII el filósofo y obispo anglicano Irlandés, George Berkeley y David Hume describieron que el núcleo de un concepto atrae conceptos similares. Hume en particular, creía en la lógica del sentido común, el razonamiento basado en el conocimiento que la gente adquiere en forma ordinaria mediante vivencias en el mundo. En Alemania, Immanuel Kant, consideraba que solo los matemáticos podían proveer definiciones claras, y muchos principios contradictorios no tenían solución. Por ejemplo la materia podía ser dividida infinitamente y al mismo tiempo no podía ser dividida infinitamente. Particularmente la escuela americana de la filosofía llamada pragmatismo fundada a principios de siglo por Charles Sanders Peirce, cuyas ideas se fundamentaron en estos conceptos, fue el primero en considerar "vaguedades", más que falso o verdadero, como forma de acercamiento al mundo y a la forma en que la gente funciona.

La idea de que la lógica produce contradicciones fue popularizada por el filósofo y matemático británico Bertrand Russell, a principios del siglo XX. Estudio las vaguedades del lenguaje, concluyendo con precisión que la vaguedad es un grado. El filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein estudió las formas en las que una palabra puede ser empleada para muchas cosas que

tienen algo en común. La primera lógica de vaguedades fue desarrollada en 1920 por el filósofo Jan Lukasiewicz, visualizó los conjuntos con un posible grado de pertenencia con valores de 0 y 1, después los extendió a un número infinito de valores entre 0 y 1. En los años sesentas, Lofti Zadeh inventó la lógica difusa, que combina los conceptos de la lógica y de los conjuntos de Lukasiewicz mediante la definición de grados de pertenencia.

2.5.2. ¿QUÉ ES LA LÓGICA DIFUSA?

Un tipo de lógica que reconoce más que simples valores verdaderos y falsos. Con lógica difusa, las proposiciones pueden ser representadas con grados de veracidad o falsedad. Por ejemplo, la sentencia "hoy es un día soleado", puede ser 100% verdad si no hay nubes, 80% verdad si hay pocas nubes, 50% verdad si existe neblina y 0% si llueve todo el día.

La Lógica Difusa ha sido probada para ser particularmente útil en sistemas expertos y otras aplicaciones de inteligencia artificial. Es también utilizada en algunos correctores de voz para sugerir una lista de probables palabras a reemplazar en una mal dicha. La Lógica Difusa, que hoy en día se encuentra en constante evolución, nació en los años 60 como la lógica del razonamiento aproximado, y en ese sentido podía considerarse una extensión de la Lógica Multivaluada. La Lógica Difusa actualmente está relacionada y fundamentada en la teoría de los Conjuntos Difusos.

Según esta teoría, el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto va a venir determinado por una función de pertenencia, que puede tomar todos los valores reales comprendidos en el intervalo $[0,1]$.

Ejemplo de una función de pertenencia a un Conjunto Difuso.

La Lógica Difusa (llamada también Lógica Borrosa por otros autores) o Fuzzy Logic es básicamente una lógica con múltiples valores, que permite definir valores en las áreas oscuras entre las evaluaciones convencionales de la lógica precisa: Si / No, Cierto / Falso, Blanco / Negro, etc. Se considera un súper conjunto de la Lógica Booleana. Con la Lógica Difusa, las proposiciones pueden ser representadas con grados de certeza o falsedad. La lógica tradicional de las computadoras opera con ecuaciones muy precisas y dos respuestas: Si o no, uno o cero. Ahora, para aplicaciones de computadores muy mal definidas o sistemas vagos, se emplea la Lógica Difusa.

Por medio de la Lógica Difusa pueden formularse matemáticamente nociones como un poco calientes o muy frías, para que sean procesadas por computadoras y cuantificar expresiones humanas vagas, tales como "Muy alto" o "luz brillante". De esa forma, es un intento de aplicar la forma de pensar humana a la programación de los computadores. Permite también cuantificar aquellas descripciones imprecisas que se usan en el lenguaje y las transiciones graduales en electrodomésticos como ir de agua sucia a agua limpia en una lavadora, lo que permite ajustar los ciclos de lavado a través de sensores.

La habilidad de la Lógica Difusa para procesar valores parciales de verdad ha sido de gran ayuda para la ingeniería. En general, se ha aplicado a: Sistemas expertos (Verificadores de ortografía, los cuales sugieren una lista de palabras probables para reemplazar una palabra mal escrita, control de sistemas de trenes subterráneos).

Los operadores lógicos que se utilizarán en Lógica Difusa (AND, OR, etc.) se definen también usando tablas de verdad, pero mediante un "principio de extensión" por el cual gran parte del aparato matemático clásico existente puede ser adaptado a la manipulación de los Conjuntos Difusos y, por tanto, a la de las variables lingüísticas.

La operación más importante para el desarrollo y creación de Reglas Lógicas es la implicación, simbolizada por " \Rightarrow " que representa el "Entonces" de las reglas heurísticas: Si (...) Entonces (\Rightarrow) (...).

Así, en la Lógica Difusa hay muchas maneras de definir la implicación. Se puede elegir una "función (matemática) de implicación" distinta en cada caso para representar a la implicación.

La última característica de los sistemas lógicos es el procedimiento de razonamiento, que permite inferir resultados lógicos a partir de una serie de antecedentes. Generalmente, el razonamiento lógico se basa en silogismos, en los que los antecedentes son por un lado las proposiciones condicionales (nuestras reglas), y las observaciones presentes por otro (serán las premisas de cada regla).

Los esquemas de razonamiento utilizados son "esquemas de razonamiento aproximado", que intentan reproducir los esquemas mentales del cerebro humano en el proceso de razonamiento. Estos esquemas consistirán en una generalización de los esquemas básicos de inferencia en Lógica Binaria (silogismo clásico).

Tan importante será la selección de un esquema de razonamiento como su representación material, ya que el objetivo final es poder desarrollar un procedimiento analítico concreto para el diseño de controladores difusos y la toma de decisiones en general. Una vez que dispongamos de representaciones analíticas de cada uno de los elementos lógicos que acabamos de enumerar, estaremos en disposición de desarrollar formalmente un controlador "heurístico" que nos permita inferir el control adecuado de un determinado proceso en función de un conjunto de reglas "lingüísticas", definidas de antemano tras la observación de la salida y normas de funcionamiento de éste.

2.5.3. CONCEPTOS BÁSICOS DE LÓGICA DIFUSA

2.5.3.1. CONJUNTOS DIFUSOS

La mayoría de los fenómenos que encontramos cada día son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de difusidad en la descripción de su naturaleza. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura, o incluso en la semántica que

describe lo que son. En muchos casos el mismo concepto puede tener diferentes grados de imprecisión en diferentes contextos o tiempo. Un día cálido en invierno no es exactamente lo mismo que un día cálido en primavera.

La definición exacta de cuando la temperatura va de templada a caliente es imprecisa -no podemos identificar un punto simple de templado, así que emigramos a un simple grado, la temperatura es ahora considerada caliente. Este tipo de imprecisión o difusidad asociado continuamente a los fenómenos es común en todos los campos de estudio: sociología, física, biología, finanzas, ingeniería, oceanografía, psicología, etc.

2.5.3.2. CONCEPTOS IMPRECISOS

Se acepta la imprecisión como una consecuencia natural de "la forma de las cosas en el mundo". La dicotomía entre el rigor y la precisión del modelado matemático en todos los campos y la intrínseca incertidumbre de "el mundo real" no es generalmente aceptada por los científicos, filósofos y analistas de negocios. Simplemente se aproximan estos eventos a funciones numéricas y se escoge un resultado en lugar de hacer un análisis del conocimiento empírico. Sin embargo, se procesan y se entienden de manera implícita la imprecisión de la información fácilmente. Se está capacitado para formular planes, tomar decisiones y reconocer conceptos compatibles con altos niveles de vaguedad y ambigüedad. Considerése las siguientes sentencias:

- a. La temperatura está caliente.
- b. La inflación actual aumenta rápidamente.
- c. Los grandes proyectos generalmente tardan mucho.
- d. Nuestros precios están por abajo de los precios de la competencia.
- e. IBM es una compañía grande y agresiva.
- f. Alejandro es alto pero Ana no es bajita.

Estas proposiciones forman el núcleo de nuestras relaciones con "la forma de las cosas en el mundo". Sin embargo, son incompatibles con el modelado tradicional y el diseño de sistemas de información. Si se pueden incorporar estos conceptos se logra que los sistemas sean potentes y se aproximen más a la realidad.

Pero, es la imprecisión un concepto artificial utilizado para aumentar o disminuir en uno o más las propiedades de los fenómenos o es una parte intrínseca del fenómeno en sí mismo.

Esta es una pregunta importante ya que es la parte fundamental de las medidas de la teoría difusa. Como se verá la fusificación es independiente de cualquier capacidad para medir, ya que un conjunto difuso es un conjunto que no tiene límites bien definidos. Un conjunto difuso tiene muchas propiedades intrínsecas que afectan la forma del conjunto, su uso y como participa en un modelo. Las propiedades más importantes de un conjunto difuso son las concernientes a las dimensiones verticales del conjunto difuso (altura y normalización) y las dimensiones horizontales (conjunto soporte y cortes "alpha").

La altura de un conjunto difuso es como máximo un grado de pertenencia y es una cota cercana al concepto de normalización. La superficie de la región de un conjunto difuso es el universo de valores. Todos estos conceptos se tratarán más adelante. Es decir un conjunto difuso A se considera como un conjunto de pares ordenados, en los que el primer componente es un número en el rango $[0,1]$ que denota el grado de pertenencia de un elemento u de U en A , y el segundo componente especifica precisamente quién es ése elemento de u .

En general los grados de pertenencia son subjetivos en el sentido de que su especificación es una cuestión objetiva. Se debe aclarar que aunque puede interpretarse como el grado de verdad de que la expresión " $u \in A$ " sea cierta, es más natural considerarlo simplemente como un grado de pertenencia.

Puede notarse además que:

a) Mientras más próximo está (u) a el valor 1, se dice que u pertenece más a A (de modo que 0 y 1 denotan la no pertenencia y la pertenencia completa, respectivamente).

b) Un conjunto en el sentido usual es también difuso pues su función característica μ es también una función $\mu: U \rightarrow [0,1]$; o sea que los conjuntos difusos son una generalización de los conjuntos usuales.

Ejemplo: Sea $U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, entonces los conjuntos definidos a continuación son difusos:

$$\text{POCOS} = (.4/1, .8/2, 1/3, .4/4) \quad \text{Ecu.(4)}$$

$$\text{VARIOS} = (.5/3, .8/4, 1/5, 1/6, .8/7, .5/8) \quad \text{Ecu.(5)}$$

$$\text{MUCHOS} = (.4/6, .6/7, .8/8, .9/9, 1/10) \quad \text{Ecu.(6)}$$

Note que el elemento 4 pertenece en grado .4 al conjunto POCOS, en grado .8 al conjunto VARIOS y en grado .0 a MUCHOS. Zadeh ha hecho algunas extensiones a los conceptos de conjuntos difusos ordinarios que se han explicado; por ejemplo los conjuntos difusos de nivel- m y los conjuntos difusos tipo- n .

Para un conjunto difuso de nivel- m se considera como su universo de discusión al conjunto de conjuntos difusos de nivel- $(m-1)$, sobreentendiendo que los conjuntos difusos de nivel-1 son conjuntos difusos ordinarios. Para los conjuntos difusos tipo- n , los valores de las funciones de pertenencia son conjuntos difusos de tipo- $(n-1)$ del intervalo $[0,1]$ (en lugar de ser puntos de $[0,1]$). También los conjuntos difusos tipo-1 son equivalentes a los conjuntos difusos ordinarios.

En la lógica Booleana tradicional, los conjuntos son considerados como sistemas bivalentes con sus estados alternando entre inclusión y exclusión. La característica de la función discriminante refleja este espacio bivaluado

Esto indica que la función de pertenencia para el conjunto A es cero si x no es un elemento en A y la función de pertenencia es si x es un elemento en A . Dado que existen solamente dos estados, la transición entre estos dos estados es siempre inmediata. La pertenencia de estos conjuntos está siempre totalmente categorizada y no existe ambigüedad o dicotomía acerca

de la pertenencia. Existen 4 operaciones básicas de conjuntos en esta lógica: unión, intersección, complemento y unión exclusiva.

Al igual que en los conjuntos convencionales, existen definiciones específicas para combinar y especificar nuevos conjuntos difusos. Este conjunto de funciones teóricas provee las herramientas fundamentales de la lógica. En el caso usual, con las operaciones comunes de intersección, unión y complemento, el conjunto de conjuntos de U forman un álgebra booleana, es decir se cumplen las condiciones de asociatividad, conmutatividad, elementos neutros, ídem potencia, absorción, distributividad, complemento y las leyes de Morgan.

Las tres operaciones mencionadas se pueden extender de varias formas a conjuntos difusos, de modo que al restringirlas a los conjuntos usuales, coincidan con las comunes. Estas extensiones resultantes satisfacen en forma general sólo a algunas de las condiciones listadas anteriormente, y para mantener la vigencia de alguna, será obligatorio sacrificar a otras. En el sistema se optó por extender las operaciones en el sentido clásico, es decir, dados dos conjuntos difusos A y B , se definen las operaciones extendidas de la siguiente forma

Dado que los conjuntos difusos no se particionan en el mismo sentido que los conjuntos Booleanos, estas operaciones son aplicadas al nivel de pertenencia, como una consecuencia de los conjuntos difusos. Decidir si un valor es o no es miembro de cualquier conjunto difuso en particular, requiere

algunas nociones de cómo está construido el conjunto, del universo y de los límites de éste.

El centro de las técnicas de modelado difuso es la idea de variable lingüística. Desde su raíz, una variable lingüística es el nombre de un conjunto difuso. Si se tiene un conjunto difuso llamado "largo" éste es una simple variable lingüística y puede ser empleada como una regla-base en un sistema basado en la longitud de un proyecto en particular su duración proyecto es largo entonces la terminación de tareas es DECRECIENTE; Una variable lingüística encapsula las propiedades de aproximación o conceptos de imprecisión en un sistema y da una forma de computar adecuada. Esto reduce la aparente complejidad de describir un sistema que debe concordar con su semántica. Una variable lingüística siempre representa un espacio difuso.

Lo importante del concepto de variable lingüística es su estimación de variable de alto orden más que una variable difusa. En el sentido de que una variable lingüística toma variables difusas como sus valores. En el campo de la semántica difusa cuantitativa al significado de un término "x" se le representa como un conjunto difuso $M(x)$ del universo de discusión. Desde este punto de vista, uno de los problemas básicos en semántica es que se desea calcular el significado de un término compuesto

La idea básica sugerida por Zadeh (1965) es que una etiqueta lingüística tal como "muy", "más o menos", "ligeramente", etc... Puede considerarse como un operador que actúa sobre un conjunto difuso asociado

al significado de su operando. Por ejemplo en el caso de un término compuesto "muy alto", el operador "muy" actúa en el conjunto difuso asociado al significado del operando "alto". Una representación aproximada para una etiqueta lingüística se puede lograr en términos de combinaciones o composiciones de las operaciones básicas explicadas en la sección anterior.

Es importante aclarar que se hará mayor énfasis en que estas representaciones se proponen principalmente para ilustrar el enfoque, más que para proporcionar una definición exacta de las etiquetas lingüísticas. Zadeh también considera que las etiquetas lingüísticas pueden clasificarse en dos categorías que informalmente se definen como sigue:

Tipo I: las que pueden representarse como operadores que actúan en un conjunto difuso: "muy", "más o menos", "mucho", "ligeramente", "altamente", "bastante", etc. y,

Tipo II: las que requieren una descripción de cómo actúan en los componentes del conjunto difuso (operando): "esencialmente", "técnicamente", "estrictamente", "prácticamente", "virtualmente", etc...

En otras palabras, las etiquetas lingüísticas pueden ser caracterizadas cómo operadores más que construcciones complicadas sobre las operaciones primitivas de conjuntos difusos.

Ejemplos de etiquetas tipo I.

De acuerdo a éste punto de vista y sabiendo que el lenguaje natural es muy rico y complejo, se toma el operador "muy" que puede caracterizarse con un significado de que aún cuando no tenga validez universal sea sólo

una aproximación. Asumimos que si el significado de un término x es un conjunto difuso A .

Se pueden definir etiquetas lingüísticas artificiales, por ejemplo: más, menos, que son instancias de lo que puede llamarse acentuador y desacentuador respectivamente, cuya función es proporcionar ligeras variantes de la concentración y la dilatación.

Los exponentes se eligen de modo que se de la igualdad aproximada: más x = menos muy x , y que, además, se pueden utilizar para definir etiquetas lingüísticas cuyo significado difiere ligeramente de otras.

Otra etiqueta lingüística interesante es "más o menos" que en sus usos más comunes como "más o menos inteligente", "más o menos rectangular" etc., juega el papel de difusificador.

Su efecto es dependiente de la definición de proximidad u ordenamientos en el dominio del operando. Existen casos, sin embargo, en los que su significado puede definirse en términos de etiquetas lingüísticas tipo I, bajo la suposición de que el dominio del operando es un conjunto ordenado linealmente.

Es una etiqueta lingüística que tiene el efecto de reducir el grado de pertenencia de los elementos que están en el "centro" (grados de pertenencia grandes) de una clase x e incrementa el de aquellos que están en su periferia (grados de pertenencia pequeños).

Es una etiqueta que tiene el efecto de reducir el grado de pertenencia de aquellos elementos que tienen tanto un alto grado de pertenencia al

conjunto como de aquellos que lo tienen pequeño, y sólo aumenta el grado de pertenencia de aquellos elementos que tienen un grado de pertenencia cercano.

Las etiquetas tipo II, tienen como caracterización que envuelve una descripción de forma que afectan a los componentes del operando, y por lo tanto es más compleja que las del tipo I. En general, la definición de una etiqueta de este tipo debe formularse como un algoritmo difuso que envuelve etiquetas tipo I. Su efecto puede describirse aproximadamente como una modificación de los coeficientes de ponderación de una combinación convexa. Como la magnitud de las ponderaciones es una medida del atributo asociado, intuitivamente una etiqueta de este tipo tiene el efecto de aumentar las ponderaciones de los atributos importantes y disminuir los que relativamente no lo son.

2.5.4. CONJUNTOS DIFUSOS: LÓGICA DIFUSA

2.5.4.1. PREDICADOS VAGOS Y CONJUNTOS DIFUSOS

Los conjuntos clásicos se definen mediante un predicado que da lugar a una clara división del Universo de Discurso X en los valores "Verdadero" y "Falso". Sin embargo, el razonamiento humano utiliza frecuentemente predicados que no se pueden reducir a este tipo de división: son los denominados predicados vagos.

Por ejemplo, tomando el Universo de Discurso formado por todas las posibles temperaturas ambientales en la ciudad de Huelva, se puede definir

en dicho universo el conjunto A como aquél formado por las temperaturas "cálidas". Por supuesto, es imposible dar una definición clásica, ya que su correspondiente predicado no divide el universo X en dos partes claramente diferenciadas.

No puede afirmarse con rotundidad que una temperatura es "cálida" o no lo es. El problema podría resolverse en parte considerando que una temperatura es "cálida" cuando su valor supera cierto umbral fijado de antemano. Se dice que el problema tan sólo se resuelve en parte, y de manera no muy convincente, por dos motivos: de una parte el umbral mencionado se establece de una manera arbitraria, y por otro lado podría darse el caso de que dos temperaturas con valores muy diferentes fuesen consideradas ambas como "cálidas". Evidentemente, el concepto "calor" así definido nos daría una información muy pobre sobre la temperatura ambiental.

La manera más apropiada de dar solución a este problema es considerar que la pertenencia o no pertenencia de un elemento x al conjunto A no es absoluta sino gradual. En definitiva, definiremos A como un Conjunto Difuso. Su función de pertenencia ya no adoptará valores en el conjunto discreto $\{0,1\}$ (lógica booleana), sino en el intervalo cerrado $[0,1]$. En conclusión podemos observar que los Conjuntos Difusos son una generalización de los conjuntos clásicos.

Mediante notación matemática se define un Conjunto Difuso B como:

$$B = \{ (x, m_B(x)) / x \in X \} \quad \text{Ecu.(7)}$$

$$m_B: X \rightarrow [0,1] \quad \text{Ecu.(8)}$$

La función de pertenencia se establece de una manera arbitraria, lo cual es uno de los aspectos más flexibles de los Conjuntos Difusos. Por ejemplo, se puede convenir que el grado de pertenencia de una temperatura de "45°C" al conjunto A es 1, el de "25°C" es 0.4 , el de "6°C" es 0, etc.: cuanto mayor es el valor de una temperatura, mayor es su grado de pertenencia al conjunto B.

La función tipo triangular, que puede ser un caso concreto del trapezoidal en el que los dos valores centrales son iguales, y el de forma de campana gaussiana. Tómese ahora el Universo de Discurso de la edad. El Conjunto Difuso "Joven" representa el grado de pertenencia respecto al parámetro juventud que tendrían los individuos de cada edad. Es decir, el conjunto expresa la posibilidad de que un individuo sea considerado joven. Un Conjunto Difuso podría ser considerado como una distribución de posibilidad, que es diferente a una distribución de probabilidad.

Cuando los Conjuntos Difusos se superponen, por lo que un individuo x podría tener distintos grados de pertenencia en dos conjuntos al mismo tiempo: "Joven" y "Maduro". Esto indica que posee cualidades asociadas con ambos conjuntos. El grado de pertenencia de x en A, como ya se ha señalado anteriormente, se representa por $m_A(x)$. El Conjunto Difuso A es la

unión de los grados de pertenencia para todos los puntos en el Universo de Discurso X, que también puede expresarse como:

Bajo la notación de los Conjuntos Difusos, $\mu_A(x)/x$ es un elemento del conjunto A. La operación \cup representa la unión de los elementos difusos $\mu_A(x)/x$. Los Universos de Discurso con elementos discretos utilizan los símbolos "+" y "S" para representar la operación unión.

Veamos un ejemplo:

Ejemplo de Conjuntos Difusos en el universo de la edad.

Tómese un individuo x cuya edad sea de 20 años. Como se puede observar en la figura, pertenece al Conjunto Difuso "Joven" y al Conjunto Difuso "Maduro". Se puede observar que posee un grado de pertenencia $\mu_A(x)$ de 0.6 para el Conjunto Difuso "Joven" y un grado de 0.4 para el Conjunto Difuso "Maduro"; también posee un grado de 0 para "Viejo". De este ejemplo se puede deducir que un elemento puede pertenecer a varios Conjuntos Difusos a la vez aunque con distinto grado. Así, nuestro individuo x tiene un grado de pertenencia mayor al conjunto "Joven" que al conjunto "Maduro" ($0.6 > 0.4$), pero no se puede decir, tratándose de Conjuntos Difusos, que x es joven o que x es maduro de manera rotunda.

2.5.4.2. OPERACIONES ENTRE CONJUNTOS DIFUSOS

Los Conjuntos Difusos se pueden operar entre sí del mismo modo que los conjuntos clásicos. Puesto que los primeros son una generalización de los segundos, es posible definir las operaciones de intersección, unión y complemento haciendo uso de las mismas funciones de pertenencia:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{Ecu.(9)}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{Ecu.(10)}$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad \text{Ecu.(11)}$$

En realidad, estas expresiones son bastante arbitrarias y podrían haberse definido de muchas otras maneras. Esto obliga a considerar otras definiciones más generales para las operaciones entre los conjuntos difusos.

En la actualidad se considera correcto definir el operador intersección mediante cualquier aplicación t-norma y el operador unión mediante cualquier aplicación s-norma.

La Teoría de Conjuntos Difusos puede utilizarse para representar expresiones lingüísticas que se utilizan para describir conjuntos o algoritmos. Los Conjuntos Difusos son capaces de captar por sí mismos la vaguedad lingüística de palabras y frases comúnmente aceptadas, como "gato pardo" o "ligero cambio". La habilidad humana de comunicarse mediante definiciones vagas o inciertas es un atributo importante de la inteligencia.

Una Variable Lingüística es aquella variable cuyos valores son palabras o sentencias que van a enmarcarse en un lenguaje predeterminado. Para estas variables lingüísticas se utilizará un nombre y un valor lingüístico sobre un Universo de Discurso. Además, podrán dar lugar a sentencias generadas por reglas sintácticas, a las que se les podrá dar un significado mediante distintas reglas semánticas.

Los Conjuntos Difusos pueden utilizarse para representar expresiones tales como:

X es PEQUEÑO.

La velocidad es RÁPIDA.

El ganso es CLARO.

Las expresiones anteriores pueden dar lugar a expresiones lingüísticas más complejas como:

X no es PEQUEÑO.

La velocidad es RÁPIDA pero no muy RÁPIDA.

El ganso es CLARO y muy ALEGRE.

Así, se pueden ir complicando las expresiones. Por ejemplo, la expresión "x no es PEQUEÑO" puede calcularse a partir de la original calculando el complemento de la siguiente forma:

$$\mu_{\text{no_PEQUEÑA}}(x) = 1 - \mu_{\text{PEQUEÑO}}(x) \quad \text{Ecu.(12)}$$

Tratando de esta forma los distintos modificadores lingüísticos (muy, poco, rápido, lento...) pueden ir calculándose todas las expresiones anteriores.

2.5.4.3. CONTROLADORES DIFUSOS

Los controladores basado en lógica difusa, borrosa, nebulosa, o dispersa como suele llamarse, surge gracias a la necesidad de controlar variables cuya fronteras no están claramente definidas, cuando las variables dejan de ser precisas se plantea la naturaleza de conjuntos difusos (Wang, 1999, p, 330).

2.5.4.4. ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO DE WANG Y MEDEL

Este algoritmo parte de un cuadro que describe cuales deben ser las salidas concretas, cuando se especifican las entradas concretas, es decir, de tablas como los siguientes.

TABLA 1
PAREJA DE ENTRENAMIENTO ENTRADA SALIDA.

Entrada 1	Entrada 2	.....	Entrada p	Salida 1	Salida 2	.....	Salida q
X11	X21	.....	Xp1	Y11	Y21	.....	Yq1
X12	X22	.....	Xp2	Y12	Y22	.....	Yq2
.....
X1w	X2w	.....	Xpw	Y1w	Y2w	.....	Yqw

Fuente: Wang & Medel (1999)

La tabla anterior puede interpretarse como sigue:

Se desea que el sistema de lógica difusa responda con las salidas concretas Y11, Y21, ...Yq1, cuando las entradas son X11, X21, ..., Xp1; que responda con las salidas concretas Y12, Y22, ...Yq2, cuando las entradas son X12, X22, ..., Xp2; cuando las entradas son X1w, X2w, ..., Xpw; que responda con las salidas concretas Y1w, Y2w, ...Yqw. Suficientes para determinar completamente el diseño, o por el contrario, pueden ser inconsistentes entre si.

El algoritmo de Wang & Medel permite determinar la base de reglas a partir de la tabla de patrones de entrenamiento; el diseñador debe seleccionar los demás parámetros del sistema de lógica difusa. El procedimiento es el siguiente para cada uno de los W casos:

a) Determinar los grados de pertenencia $X_{1k}, X_{2k}, \dots, X_{pk}, Y_{1k}, Y_{2k}, \dots, Y_{qk}$, cada uno de los valores lingüísticos de las respectivas variables lingüísticas.

b) Seleccionar los valores lingüísticos $LX_{1k}, LX_{2k}, \dots, LX_{pk}, LY_{1k}, LY_{2k}, \dots, LY_{qk}$, para los cuales los grados de pertenencia respectivos son máximos

c) Crear una regla de la forma IF entrada 1 es LX_{1k} AND entrada 2 es LX_{2k} AND.....AND entrada p es LX_{pk} THEN salida 1 es LY_{1k} AND salida 2 es LY_{2k} AND.....AND salida q es LY_{qk} .

d) Asignar a la regla anterior un factor de certeza, calculando el producto de los grados de pertenencia a cada valor lingüístico.

e) Verificar si en la base de reglas existen ya una regla con el mismo antecedente (y quizás distinto consecuente); de ser así, dejar en la base aquella que tenga un mayor factor de certeza. Si aun no hay en la base de reglas una con el mismo antecedente, adicionar la nueva a la base.

f) Complementar la base de reglas con la información lingüística disponible (si existe alguna). (Wang, &Medel, 1999, p, 263).

2.5.4.5. SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA

Es la definición del proceso, donde se especifican las entradas y las salidas, el tipo de sistema, siendo el más usado Manzini, aquí también se especifican los métodos de implicación, agregación, defusificación y los métodos OR o AND (Help desk de MATLAB, versión 5.3, 1984, p, 25).

2.5.4.6. FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Aquí se especifican las curvas de comportamiento estadístico asociadas a las variables tanto de salida como de entrada, con sus respectivos rangos de operación, nombre y tipo (Help desk de MATLAB, versión 5.3, 1984, p, 29).

2.5.4.7. REGLAS DIFUSAS

Aquí se editan las reglas para los conjuntos difusos, haciendo uso de la opción IF- THEN, los operadores Lógicos OR y AND, y el peso correspondiente a cada regla.

El uso de MATLAB para diseñar controladores basados en lógica difusa permite ver tanto las reglas, y la superficie generada por las mismas (Help desk de MATLAB, versión 5.3, 1984, p, 41).

2.6. MÉTODO DE EULER

Es una técnica más simple para aproximar soluciones, de ecuaciones diferenciales, es conocida como el método de Euler o método de la Tangente (Zill, 2001, p, 400), el cual viene dado por:

$$Y_{n+1} = Y_n + hY_n' \quad \text{Ecu.(13)}$$

$$= Y_n + hf(X_n, Y_n) \quad \text{Ecu.(14)}$$

Donde :

$$X_n = X_0 + nh; \quad \text{Ecu.(15)}$$

2.7. SISTEMAS LINEALES Y NO LINEALES

2.7.1. SISTEMAS LINEALES

Un sistema en el que se aplica el principio de superposición se denomina lineal. El principio de superposición establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos funciones excitadoras distintas, es la suma de las respuestas individuales. Por lo tanto, para sistemas lineales la respuesta a diversas entradas se puede calcular tratando una entrada a la vez, y añadiendo o sumando los resultados. Este es el principio que permite elaborar soluciones complicadas de las ecuaciones diferenciales lineales partiendo de soluciones simples (Ogata, 1993, p 100).

2.7.2. SISTEMAS NO LINEALES

Un sistema es no lineal si no se le aplica el principio de superposición. Así, para un sistema no lineal no se puede calcular la respuesta a dos entradas determinando una vez y sumando los resultados (Ogata, 1993,100)

3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Sistema: se refiere generalmente a todos los componentes de control incluyendo el proceso, la medición, el controlador y el operador de válvula junto con otros equipos adicionales que pueden contribuir a la operación (Russel, 1978).

Unidad Central de Procesamiento (CPU): unidad central de procesamiento incluye al procesador y a la memoria principal de un computador, aunque puede referirse solo como el procesador, en el caso de los microprocesadores (Freedman,1986).

Transmisión: instrumento capaz de detectar una variable en un proceso mediante en elemento primario de medición y dar una salida cuyo valor es equivalente y proporcional a la variable detectada (S. Haykin, 1985)

Traductor: un dispositivo que, bajo la influencia de una variación de energía produce una correspondiente variación de nivel de otra forma de energía instrumento capaz de convertir una señal neumática a eléctrica viceversa (Freedman, 1986).

Señal de salida digital: designa la señal de salida de instrumento que representa la magnitud de la variable medida en forma de una serie de cantidades discretas codificadas en un sistema de notación (Guerrero, 1996).

Señal de salida analógica: representa la señal de salida del instrumento. Es una función continua de la variable medida (Guerrero 1996).

Señal de entrada: aquella que entra en el instrumento de medida, unidad de control o sistema (S. Haykin 1985).

Proceso industrial: consiste en una operación o series de operaciones en las cuales se agrega o sustrae energía en algunas de sus formas para mantenerlo en estado de balance o equilibrio (Mollemkamp, 1990).

Variable controlada: Esta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado. (Smith - Corripio, 2001, p. 20)

Variable manipulada: Es la variable que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control. (Smith-Corripio, 2001, p20).

4. SISTEMA DE VARIABLES

Una variable es una cualidad susceptible de sufrir cambios en este sentido, un sistema de variables consiste, por lo tanto, en una serie de características por estudiar, definidas de manera operacional, es decir, en función de sus indicadores o unidades de medir. (Arias 1999).

De acuerdo a lo anterior, la variable de estudio que intervienen se define como:

4.1 CONTROLADOR DIFUSO

4.11. DEFINICIÓN CONCEPTUAL

Es un sistema experto especial, que emplea una base de conocimientos expresada en términos de reglas de inferencias difusas relevantes, contrario a los controladores convencionales, son capaces de utilizar el conocimiento adquirido por un operador humano, para mantener los valores de una variable en un valor deseado. (Klir y Yuan, 1995).

4.12. DEFINICIÓN OPERACIONAL

Se define como un sistema de control especial que permite mantener la variable del proceso dentro de un valor deseado. Aplica las variables lingüística que un operador de procesos experimentado aplicaría para la

solución de los problemas de control. Los controladores difusos se asemejan a los controladores convencionales, con ciertas diferencias en su aplicación, como por ejemplo sencillez, exactitud, fácil aplicación, tecnología actual y sobre todo que no es simplemente una ecuación matemática aplicada al control del proceso de nivel, sino más bien es un control total basado en la experiencia de los operadores expertos en el proceso.

4.2. PROCESO DE CONTROL Y MEDICIÓN DE NIVEL

4.2.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL

Según Costello (1979). Son aquellos donde la entrada o salida (Nivel), es constante o varía lentamente en el tiempo, y donde la tarea fundamental es mantener la salida en el valor deseado a pesar de las perturbaciones presentes del sistema. El control de esta variable es de gran importancia en los procesos industriales, ya que nos permite determinar el balance adecuado de materias primas o de productos finales y puntos óptimos de operación.

4.2.2. DEFINICIÓN OPERACIONAL

Es aquel que proporciona información constante sobre la cantidad de producto existente dentro de un envase. Este sistema es utilizado cuando se necesita conocer con exactitud un determinado valor en cualquier momento. Básicamente estos sistemas, están conformados por el elemento medidor y

una electrónica la cual permite mostrar la lectura. Al integrarse a un sistema mayor y unido efectúan un control de un determinado proceso.

4.3. OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES

A continuación se presenta el cuadro de operacionalización de las variables de estudio, en el cual se presentan las dimensiones e indicadores que miden las variables para cada uno de los objetivos planteados.

**CUADRO 1
OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.**

Objetivo General: Desarrollar un controlador difuso para la planta TY30A/EV-G30A/EV del Laboratorio de Controles de la URBE.			
Objetivos Específicos	Variable	Dimensión	Indicador
Estudiar los componentes y principios de funcionamiento del proceso de control y medición de nivel de la planta TY30A/EV-G30A/EV del Laboratorio de Controles de URBE.	Proceso de Control y Medición de Nivel	Control Medición	Nivel
Implementar la interfaz de adquisición de datos de la Planta TY30A/EV-G30A/EV.		Fenómenos físicos continuos	
Identificar un modelo de proceso mediante la Lógica Difusa. Implementar el Controlador en Lógica Difusa.	Controlador Difuso	Función de transferencia	Potencia en la bomba/nivel del producto
		Sistema de Control	Estabilidad Exactitud Retroalimentación
Comparar los resultados obtenidos con el Controlador Convencional Proporcional – Integral (PI) y el Controlador Difuso.		Adaptabilidad	Fácil aplicabilidad Disminución del Error
		Monitoreo	Supervisión Visualización de cambios operacionales

Fuente: González (2006) .

4.4. HIPÓTESIS

¿Puede conseguirse que un controlador difuso adaptativo dedicado a la planta TY30A/EV-G30A/EV que regule el proceso de control de nivel del producto?

¿Que Controlador es más funcional, el convencional Proporcional integrati vo (PI), o con el Controlador Difuso?