

DISEÑO DE UN SENSOR BASADO EN ALGORITMOS GENÉTICOS Y
CLONACIÓN ARTIFICIAL PARA LA MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD DE
COMBUSTÓLEO

Autores:

Erika Alexandra Jiménez Gómez
Jorge Armando Ochoa Rincón

Director:

Ph.D.Dr.Sc.Ing. Antonio Faustino Muñoz Moner

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD INGENIERIA MECATRÓNICA
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
BUCARAMANGA
MAYO
2005

CONTENIDO

	INTRODUCCIÓN	7
	OBJETIVOS	9
	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
	ANTECEDENTES	12
	MARCO TEÓRICO	13
1.	ASPECTOS GENERALES	13
1.1	DESCRIPCIÓN Y DEFINICIONES	13
1.2	PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES LUBRICANTES CON FENOL	16
1.3	VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO	19
1.4	VARIABLE DE SALIDA	22
1.5	ÍNDICE DE VISCOSIDAD	23
1.5.1	<i>Unidades de viscosidad</i>	23
1.6	CARACTERÍSTICAS DE LA DENSIDAD DEL COMBUSTÓLEO	24
1.7	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	25
1.8	RELACIÓN DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD CON EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN	26
1.9	ANÁLISIS EN LÍNEA (EL REFRACTÓMETRO)	27
1.9.1	<i>Principio de funcionamiento</i>	27
1.9.2	<i>Descripción del sensor</i>	27
1.9.3	<i>El monitor</i>	28
1.9.4	<i>El sensor real instalado</i>	29
1.9.5	<i>Análisis en laboratorio</i>	30
1.9.6	<i>Cálculo en laboratorio – Procedimiento A</i>	31
1.9.7	<i>Cálculo en laboratorio – Procedimiento B</i>	32
1.9.8	<i>Diseño funcional del sistema de control</i>	33
2.	FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS	36
2.1	DISTRIBUCIÓN	37
2.2	REGRESIÓN MÚLTIPLE	37
2.2.1	<i>Regresión, correlación y la casualidad de casos (Proceso Estoc.)</i>	39
2.2.2	<i>El caso de los X fijos</i>	40
2.2.3	<i>La aproximación ordinaria de mínimos cuadrados</i>	40
2.2.4	<i>La variable P del modelo de regresión</i>	40
2.2.5	<i>Estimador de mínimos cuadrados (LSE)</i>	42
2.3	FUNCIONES AUTOCORRELACIONALES	44
2.4	DISPERSIÓN	46
2.5	MEDICIÓN DE LA PREDICCIÓN DEL ERROR	47
3.	EMULACIÓN Y SIMULACIÓN INTELIGENTE DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS	50
3.1	LÓGICA DIFUSA	50
3.1.1	<i>Reseña histórica</i>	50
3.1.2	<i>Acciones para la solución de problemas utilizando lógica difusa</i>	51

3.1.3	<i>Aplicaciones de la lógica difusa</i>	51
3.1.4	<i>Ejemplo de reglas</i>	52
3.2	REDES NEURONALES	52
3.2.1	<i>Ventajas de las RNA</i>	52
3.2.2	<i>Panorama histórico</i>	53
3.2.3	<i>Acciones para la solución de problemas utilizando RNA</i>	54
3.2.4	<i>Aplicaciones de la redes neuronales artificiales</i>	54
3.3	ALGORITMOS EVOLUTIVOS	55
3.3.1	<i>Panorama histórico</i>	55
3.3.2	<i>Estructura general de un algoritmo evolutivo</i>	56
3.3.3	<i>Operadores básicos</i>	56
3.3.4	<i>AG simple. Operador de selección</i>	56
3.3.5	<i>AG simple. Operador de Cruce</i>	56
3.3.6	<i>AG simple. Operador de Mutación</i>	56
3.3.7	<i>Acciones para la solución de problemas utilizando AEs</i>	57
3.3.8	<i>Aplicaciones de los algoritmos evolutivos</i>	57
3.4	CLONACIÓN ARTIFICIAL	57
4.	DISEÑO METODOLÓGICO	58
4.1	DISEÑO, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS Y SISTEMAS DE CONTROL	58
4.2	ENFOQUES BASADOS EN LA MANIPULACIÓN DE LA POBLACIÓN	59
4.3	ENFOQUES BASADOS EN LA TEORÍA DE PARETO	60
4.4	CONCEPTO DE INFERIORIDAD	60
4.5	CONCEPTO DE SUPERIORIDAD (NO – INFERIORIDAD)	61
4.6	PROCESO DE CLONACIÓN	61
5.	ALTERNATIVAS PARA PREDECIR EL IV – IR	63
5.1	SENSORES INTELIGENTES	64
5.2	REDES NEURONALES CON ALIMENTACIÓN HACIA DELANTE	64
5.3	LA RED NEURONAL CON ACTIVACIÓN DE PESOS – ALEATORIOS (RAWN)	67
5.3.1	<i>El entrenamiento por OLS</i>	68
5.3.2	<i>Procedimiento de entrenamiento</i>	70
5.3.3	<i>Regulación de los pesos de activación</i>	71
5.3.4	<i>Funciones de activación</i>	72
5.3.5	<i>Estimación de los pesos de activación para aprox. Lineales</i>	74
5.3.6	<i>Particionamiento del conjunto de datos</i>	75
5.3.7	<i>Escalización interna</i>	79
5.3.8	<i>Estimación de los pesos de salida</i>	80
6.	GENÉTICA Y CLONACIÓN	84
6.1	COMPONENTES A INCLUIR	84
6.2	POBLACIÓN INICIAL	84

6.3	EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FITNESS	84
6.4	SELECCIÓN	85
6.5	OPERADORES GENÉTICOS DE SOBRECruzAMIENTO	85
6.6	ONE – POINT CROSSOVER	85
6.7	UNIFORM CROSSOVER	86
6.8	PARTIALLY – MATCHED CROSSOVER	86
6.9	MUTACIÓN	86
6.10	OTROS OPERADORES	86
6.10.1	<i>Clonación</i>	86
6.10.2	<i>Inversión</i>	87
6.10.3	<i>Reversión</i>	88
7.	DISEÑO DEL SENSOR VIRTUAL	90
7.1	VARIABLES A MONITOREAR	90
7.2	DIAGRAMAS ESTRUCTURALES DE LOS COMPONENTES DEL PROCESO	91
7.3	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SENSOR	93
7.4	MODELO DE MEDICIÓN	93
8.	SOFTWARE PARA EL CALCULO DE LA VISCOSIDAD	95
8.1	PROGRAMA EN MATLAB	95
8.2	INTERFACE	97
9.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA	100
9.1	POR REGRESIÓN MÚLTIPLE	100
9.2	POR CORRELACIÓN Y DISPERSIÓN	103
9.3	POR EL EXPERTO	105
10.	PREPARACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA	106
10.1	COLECCIÓN DE DATOS	107
10.2	RUIDO Y CALIDAD DE LOS DATOS	109
10.3	DATOS DE ENTRENAMIENTO Y DATOS DE PRUEBA	110
10.4	PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL (FILTRAJE)	111
10.5	DATOS FALSOS	112
10.6	ESCALIZACIÓN	114
11.	DESARROLLO DEL PROBLEMA	116
11.1	ELECTRÓNICA DIGITAL	116
11.2	MUTACIÓN – INVERSIÓN CON ELECTRÓNICA DIGITAL	117
12.	PROGRAMACION EN PLC	119
12.1	SOFTWARE REQUERIDO	119
12.2	CARACTERISTICAS FÍSICAS DEL PLC	120
12.3	CÓDIGO	121
13.	MICROCONTROLADORES	125
13.1	PROGRAMA PRINCIPAL	125
13.2	LIBRERÍA DE CONTROL DEL MODULO LCD	131
13.3	CIRCUITO	134

14.	ALGORITMOS GENÉTICOS (MATLAB)	135
15.	DATOS DE CAMPO	147
	CONCLUSIONES	162
	RECOMENDACIONES	164
	BIBLIOGRAFIA	165
	ANEXO A “DESCRIPCIÓN DE LOS ANALIZADORES DE DENSIDAD”	168
	ANEXO B “DESCRIPCIÓN DE LOS ANALIZADORES DE VISCOSIDAD”	179

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema Simplificado de las Plantas Petroquímicas	16
Figura 2	Ubicación de la Planta de Extracción de Aceites Lubricantes con Fenol (Extracción con Fenol)	16
Figura 3	Relación de Cargas y Productos en la Planta de Fenol	17
Figura 4	Unidad de Extracción de Aceites Lubricantes con Fenol	17
Figura 5	Diagrama de Flujo General Unidad de Extracción con Fenol	19
Figura 6	Curva IR Vs VI	26
Figura 7	Imágenes Ópticas	27
Figura 8	Principio de Refracción	27
Figura 9	Sensor Real	28
Figura 10	Esquema Sensor Real	28
Figura 11	Tren de Pulsos	28
Figura 12	Indicador del Transmisor (Monitor)	28
Figura 13	Diagrama BRIX e Imagen del Algoritmo de Análisis	29
Figura 14	Imagen Óptica del Sensor Real	29
Figura 15	Instalación del Sensor	29
Figura 16	Sensor Real (Interno)	29
Figura 17	Viscosímetro de Laboratorio (< 100° C)	31
Figura 18	Viscosímetro de Laboratorio (> 100° C)	32
Figura 19	Línea de Regresión de Población Hipotética	39
Figura 20	Ejemplo de una Neurona Alimentada hacia Delante	65
Figura 21	Resumen del Algoritmo RAWN	72
Figura 22	Funciones de Activación Continua	73
Figura 23	Principio de Clustering	77
Figura 24	Resultado Ordenado de la Importancia de las Variables de Entrada para Predecir la Salida por Regresión	101
Figura 25	Resultado Ordenado de la Importancia de las Variables de Entrada para Predecir la Salida por Correlación	103
Figura 26	Gráfica de Dispersión de la Variable 57	104
Figura 27	Factory Link (Monitoreo y Control de la Planta)	106
Figura 28	Razón para evitar el Rechazo Automático de datos Desviados	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Conversión de IR a IV	26
Tabla 2	Valores del L y H para Viscosidad Cinemática en Sistemas 40– 100° C	30
Tabla 3	Las 10 Variables de Mayor Influencia por Regresión	102
Tabla 4	Las 10 Variables de Mayor Influencia por Correlación	104
Tabla 5	Variables Seleccionadas por el Experto	105

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo e implementación de nuevos métodos evolutivos, hay que tener en cuenta la manera en la que se percibe la necesidad, debido a que del grado de enfoque dependerá que solución se obtendrá y si es relativo o no verificar la relación existente entre operario – sistema de adquisición y operario - proceso.

La Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) lleva aproximadamente 7 años incurriendo en nuevas tecnologías, que ayuden no solo a mejorar su producción sino que también, de alguna manera eviten accidentes que por lo general generan grandes pérdidas económicas y además atentan en contra de la integridad de sus empleados. Ha llevado poco a poco el proceso de renovación e instalación de nuevos equipos que generen confianza a los operarios, para que la armonía del proceso se vea reflejada en la eficiencia y eficacia de la manufactura.

Una de estas nuevas tecnologías, son los sistemas de adquisición de datos, sensores en línea y correctores de variables reales, los cuales son administrados por una red de área local en la que todos los equipos de inspección pueden en cualquier instante lograr ejecutar acciones correctivas y preventivas sobre mecanismo reguladores del sistema. Un caso específico de lo mencionado anteriormente, son; el analizador de viscosidad “Viscometer 7827” de la marca SOLARTRON y el corrector de densidad “Estándar Liquid Density Transducer” de la marca SOLARTRON, los cuales se encuentran ubicados en la Planta Viscosreductora y la sección Casa Bombas 9 de la Refinería de Barrancabermeja y cuya función es la de inspeccionar la viscosidad y densidad presente en el Combustóleo producido, con el fin de facilitar el transporte de dicho producto hacia la Costa Atlántica para posteriormente ser embarcado hacia su destino final (EEUU).

En este informe se define, verifica y describe las características funcionales del sensor de viscosidad, partiendo de unas propiedades físicas basadas en un sistema de refracción hasta unos fundamentos matemáticos específicos, los cuales sirven como base para el cálculo real de la viscosidad. Como parte aclaratoria, se tiene los diversos métodos y procesos de Algoritmos Genéticos que sirven como fracción fundamental de la clonación deseada de dichos instrumentos, esto con el fin de solucionar uno de los problemas actuales más grave de la industria Colombiana, el dinero necesario para adquirir las tecnologías descritas.

Por esta razón fueron utilizados 4 diferentes tipos de métodos para desarrollar técnicas de Algoritmos Genéticos, en los que no solo se aclaran los fundamentos teóricos sino que también se brinda la opción de implementar un núcleo funcional compuesto por instrumentos de adquisición de datos en línea, paneles de inspección, proceso de análisis, redes confiables y además una técnica de control que sea capaz no solo de verificar sino también de ejecutar acciones que mejoren sustancialmente la producción del Combustóleo.

La lectura de datos se hará mediante un PLC, el cuál con ayuda de su programa de ejecución se realizará la inversión, mutación, cruce, etc., de los bits, logrando una mejoría notable de la información de entrada generando directamente una salida con características similares, la cual con ayuda de filtraje de señales se evitaría la interrupción e interferencia en las acciones correctivas, tales como la apertura de las válvulas del diluyente y de los componentes de baja viscosidad.

OBJETIVOS

Objetivo General:

➤ Diseñar un sensor virtual para la medición de la viscosidad de Combustóleo de la Planta de Viscosreducción de la Refinería de la Empresa Colombiana del Petróleo de Barrancabermeja, a través de un modelo de algoritmos genéticos, infiriendo la medida de la viscosidad del Combustóleo.

Objetivos Específicos:

➤ Identificar las variables a monitorear para inferir la medida de la viscosidad del Combustóleo en la planta de Viscosreducción.

➤ Analizar diagramas estructurales de los componentes del proceso.

➤ Desarrollar un modelo de medición para aplicarlo en el cálculo inferido de la viscosidad del Combustóleo a partir de otras propiedades con algoritmos genéticos.

➤ Simular el modelo de algoritmo mediante una herramienta de software o un lenguaje de programación y validar el modelo de algoritmo con datos de campo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los procesos de automatización industrial utilizan dispositivos de alta precisión, los cuales son de un altísimo costo por su instalación, mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad, además de su dificultad para conseguirlos en el mercado tecnológico nacional, es por esto que parte de las empresas colombianas están sujetas en su desarrollo tecnológico a la dependencia de los países productores de alta tecnología; especialmente en el campo de los sensores para procesos industrializados, en los cuales el país tiene altos intereses y busca aumentar el margen de productividad de sus recursos, y una mejor prestación de servicios, como por ejemplo en el campo de la explotación petrolífera.

Como consecuencia de lo anterior se hace indispensable incursionar en el campo del control inteligente para encontrar soluciones óptimas a las necesidades de las empresas nacionales. Actualmente en la Empresa Nacional de Petróleos ECOPETROL refinería de Barrancabermeja Santander, se tiene la necesidad de contar con un sistema de control en tiempo real, que permita reemplazar un analizador (sensor) de viscosidad por un sensor inteligente clonado a partir del dispositivo real.

Para el control adecuado de los procesos de la Industria del Petróleo, se requiere medir muchas variables para la toma de decisiones adecuadas, en cuanto a la producción en cantidad y calidad. Estas variables van desde simples mediciones de flujos, presiones, niveles y temperaturas, tomados con instrumentos estándar que funcionan por la relación de mediciones físicas en forma indirecta, hasta otras mucho más complejas que en ocasiones requieren análisis fuera de línea (en el laboratorio), pero que ocasionan retardos y muchas veces no son oportunos para tomar decisiones.

¿Cómo el diseño y desarrollo de medios y sistemas de control por clonación artificial puede convertirse en la solución a problemas en donde intervienen dispositivos de control industrial?

La respuesta al problema planteado, se buscará mediante la aplicación de redes neuronales, lógica fuzzy (difusa) y algoritmos genéticos que permitirán diseñar la estructura inteligente de los sensores, con el fin de mostrar el flujo de información interna del sistema de medición, tomando como referencia las características del dispositivo real.

Además en el momento de surgir la necesidad de investigación de nuevos y efectivos algoritmos de control avanzado, para procesos de la industria química caracterizados por presentar una dinámica difícil, impone la pauta para desarrollar métodos de control adaptativo, adaptativo – predictivo, neuro – adaptativo, optimización de sistemas, se explora el uso de técnicas de control basadas en inteligencia artificial y en todos aquellos métodos que hagan énfasis en las aplicaciones relacionadas con el control de los procesos físico – químico con interacción medio – máquina – proceso.

El proceso elegido para esta implementación es la Planta de Extracción de Aceites Lubricantes con Fenol y Combustóleo, la cual reúne todas las características para ejemplificar la aplicación del sensor virtual. Cuenta con un analizador en línea y toda la instrumentación asociada al control y monitoreo del proceso, centralizado en un equipo que sirve como Interfase de Operación.

El objetivo final es reemplazar el analizador real por el virtual dadas las fallas frecuentes que viene presentando el primero y así tener un control instantáneo en la calidad del producto que se está entregando, y además verificar la parte virtual con ayuda de circuitos lógicos que demuestren las ventajas de clonar los dispositivos reales. Trae además ganancias económicas para la planta, debido a que disminuye los costos de las materias primas y los servicios utilizados no requeridos para obtener una calidad de refinado por encima de lo necesario. Cambiando la situación actual, en la cual se opera para producir calidad en exceso y así evitar reclamaciones de los clientes.

ANTECEDENTES

La Universidad Autónoma de Bucaramanga en su Facultad de Ingeniería Mecatrónica, ha venido desarrollando investigaciones en tecnologías de control inteligente utilizando herramientas como lógica difusa, redes neuronales y algoritmos genéticos fortaleciendo la Línea de investigación en AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL del Grupo de Tecnologías de la Información. Los trabajos realizados hasta el momento han consistido en el uso y aplicación de Redes Neuronales en la implementación del desarrollo de tesis.

Continuando con esta línea de investigación se va a realizar el Diseño de un Sensor para la medición de Viscosidad implementando Algoritmos y Sistemas de Control por Clonación Artificial, que permita continuar el desarrollo y la investigación en Algoritmos Genéticos y en especial en la Clonación Artificial en Ingeniería. Se tiene como referente también los trabajos realizados por el Laboratorio Computo Especializado de la UNAB (**LCE**), y Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas (**IIDTA**) de la Universidad de Pamplona e investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia.

En el campo de la ingeniería la clonación artificial, se realiza con la utilización de técnicas de inteligencia artificial creando réplicas de medios y sistemas, cumplan con funciones equivalentes.

MARCO TEÓRICO

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN Y DEFINICIONES

El acelerado desarrollo de los sistemas inteligentes, la instrumentación y de las telecomunicaciones a lo largo de los últimos años ha impulsado el desarrollo de aplicaciones con alta interacción con el mundo externo, que funcionan en ambientes heterogéneos y con autonomía en la realización de sus acciones. Este tipo de aplicaciones es de un orden de complejidad mucho mayor que el de las aplicaciones tradicionales. El paradigma de desarrollo de tecnologías que aplican la Genética y la Clonación Artificial en Ingeniería, surge como una alternativa para la construcción de medios y sistemas de alta precisión, que permitan dar cumplimiento a este tipo de exigencias, combinando tecnologías existentes como son la inteligencia artificial y los sistemas distribuidos.

En la Automatización de Procesos Industriales, se usan múltiples técnicas de inteligencia artificial tales como sistemas expertos, redes neuronales, agentes inteligentes, etc., y en muchos casos se integran elementos de computación evolutiva tales como mapeo genético, con el fin de desarrollar sistemas inteligentes para el control de los procesos. Con el uso e integración de esas técnicas se puede obtener componentes modulares, flexibles, reproducibles y disponibles que permiten a ingenieros de control desarrollar y adaptar herramientas y medios de automatización que satisfagan los aspectos de modularidad y flexibilidad de los sistemas de control. Uno de los tipos de componentes de interés en la automatización de procesos, son los sensores industriales debido que obtienen información en línea de procesos reales y la transfieren al resto de la estructura de los sistemas.

El uso del mapeo genético permite el diseño de equipos más rápidos para el secuenciamiento, y con el desarrollo computacional se logra la creación de las bases de datos para transmitir, almacenar, analizar y clonar dicha información.

➤ **La tecnología de control inteligente** se basa en la clonación de sensores y controladores industriales, mediante el desarrollo de algoritmos y sistemas basados en redes neuronales, lógica fuzzy y mapeo genético. La clonación de sensores significa la reproducción de los códigos funcionales de dispositivos reales y la evolución de sus características a través de operadores genéticos de reproducción, cruce, mutación e inversión.

➤ **Las redes neuronales** permiten desarrollar la estructura inteligente de los sensores con el fin de mostrar el flujo de información interna del sistema de medición tomando como referencia las características de los dispositivos reales; es decir, información adicional necesaria para la interpretación de las medidas de variables. El método de activación de pesos aleatorios es usado para entrenar los sensores y realizar el aprendizaje con el fin de obtener esa información adicional y suplirla al resto de los elementos del sistema. El mapeo genético permite la generación de códigos para el proceso de clonación. Los procedimientos de mutación, cruce, reproducción e inversión son usados para la generación evolutiva del sensor clonado, el cual desarrolla características tales como mayor precisión, flexibilidad, modularidad, etc. debido que hacen mas elemental la información.

En el momento actual los Controladores con Lógica Fuzzy transitan por una etapa del desarrollo acelerado en su fundamentación teórica y sus aplicaciones prácticas. La estructura algorítmica de los mismos, que puede llamarse tradicional, contiene entre sus particularidades el hecho de que la función de membresía de los subconjuntos difusos de entradas y salidas es del tipo “aproximadamente igual a”, lo cual implica que dicha función sea simétrica en cada valor lingüístico con el máximo en el centro del intervalo correspondiente. Las ventajas de tal definición consisten en la aplicación simplificada del procedimiento de la defuzzyficación según el Método del Centro de Gravedad, y en la posibilidad del ajuste fino de la salida de mando, aprovechando los bordes difusos y solapados de valores lingüísticos.

Muchos problemas de optimización del mundo real se reducen a la consideración de un solo criterio, mientras que en otros problemas es necesario evaluar varios criterios. Estos últimos son conocidos como problemas multicriterios o multiobjetivos. En el primer caso, simplemente se busca la mejor solución que pueda asumir la función objetivo predefinida. En los problemas multiobjetivos la noción de optimización no es tan obvia, esto es debido a que vamos a obtener grupos de soluciones que cumplan muy bien algunos criterios, pero no así otros. Esto nos lleva a definir mecanismos para lograr que todos los criterios se cumplan lo mejor posible, a pesar de que muchos entre ellos sean conflictivos.

El problema de evaluación de Funciones Multiobjetivos (FMOs) ha sido objeto de muchas investigaciones. Las técnicas de optimización convencional, tales como los métodos basados en gradiente, y unos menos convencionales, tales como recocido simulado, son difíciles de extender a casos verdaderamente multiobjetivos, ya que estos no fueron diseñados para evaluar esto. Los Algoritmos Genéticos (AGs) han sido reconocidos como apropiados para la optimización multiobjetivos por emplear individuos, los cuales permiten buscar múltiples soluciones en paralelo, según cada uno de los objetivos que se persiga.

➤ **Los Algoritmos Genéticos** son algoritmos de búsqueda basados en los mecanismos de selección natural, genética y evolutiva. Es ampliamente aceptado que la evolución de la vida comienza en un proceso que opera en cromosomas (dispositivo orgánico para codificar las estructuras de seres vivientes).

➤ **La selección natural** es la conexión entre los cromosomas y el funcionamiento de sus estructuras decodificadas. El proceso de selección natural lleva a que los cromosomas de las estructuras exitosamente codificadas se reproduzcan más frecuentemente que las otras. Además la reproducción y mutación hacen que los cromosomas de los hijos sean diferentes a la de sus padres biológicos, y el proceso de recombinación puede crear cromosomas absolutamente diversos en los hijos a partir de los cromosomas de sus padres. Estas características de la evolución natural inspiraron el desarrollo de Algoritmos Genéticos. En línea general, a través de un mecanismo de codificación apropiado los Algoritmos Genéticos manipulan las cadenas de dígitos binarios (unos y ceros) llamados cromosomas, los cuales representan múltiples puntos en el espacio de búsqueda. Cada bit en la cadena se llama gen. Como en la naturaleza, los Algoritmos Genéticos solucionan el problema de encontrar los cromosomas buenos, mediante la manipulación del material oculto en los cromosomas, sin conocimiento del tipo de problema que se esta resolviendo. La única información que se da es la evaluación que cada cromosoma produce, esta evaluación se utiliza para predisponer la selección de cromosomas de modo que los cromosomas con las mejores evaluaciones tiendan a reproducirse más a menudo que aquellos con malas evaluaciones. Los Algoritmos Genéticos, usan manipulaciones simples de los cromosomas tales como codificaciones sencillas y mecanismos de reproducción, y pueden mostrar comportamientos complicados y solucionar algunos problemas extremadamente difíciles sin el conocimiento del mundo decodificado.

➤ **Una descripción a alto nivel de los Algoritmos Genéticos es:**

Dado un método de codificación de soluciones de un problema, en la forma de cromosomas y dada una función de evaluación que retorna una medida del valor de costo de cualquier cromosoma en el contexto del problema, un Algoritmo Genético consiste de los siguientes pasos:

- Paso 1: Inicializar la población de cromosomas.
- Paso 2: Evaluar cada cromosoma en la población.
- Paso 3: Crear nuevos cromosomas por cruce entre los actuales cromosomas; aplicar mutación y recombinación.
- Paso 4: Borrar los miembros de la población para permitir el ingreso de los nuevos cromosomas.
- Paso 5: Evaluar los nuevos cromosomas e insertarlos en la población.
- Paso 6: Si el criterio de finalización se cumple entonces parar y retornar el mejor cromosoma; de lo contrario ir al Paso 3.

1.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES LUBRICANTES CON FENOL.

En el Complejo Industrial de Barrancabermeja, la Unidad de Extracción de Aceites Lubricantes con Fenol hace parte de la Planta de Parafinas que a su vez pertenece al grupo de Plantas Petroquímicas, cuya actividad es producir

compuestos químicos de alta pureza.

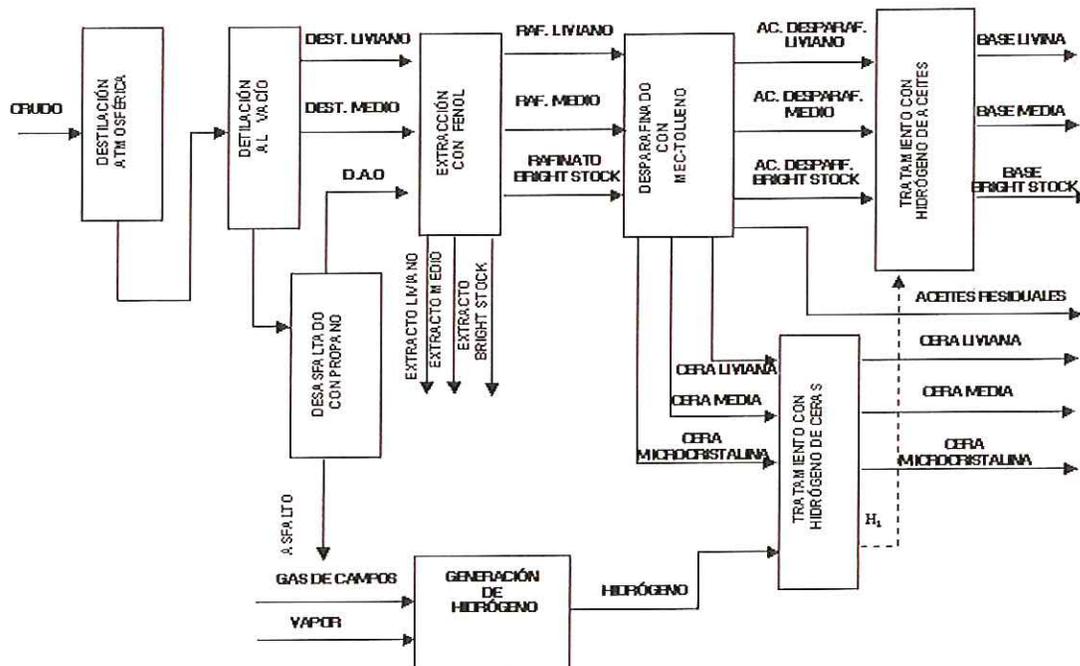
Figura 1 Esquema simplificado de las Plantas Petroquímicas



Autoría ECOPETROL

La unidad de extracción con fenol busca mejorar el índice de viscosidad, la resistencia a la oxidación y disminuir la tendencia de los aceites lubricantes a formar depósitos carbonosos. Esta unidad trabaja con tres tipos de carga alternadamente: destilado medio, destilado liviano y DAO.

Figura 2 Ubicación de la Planta de Extracción de Aceites Lubricantes con Fenol (Extracción con Fenol)

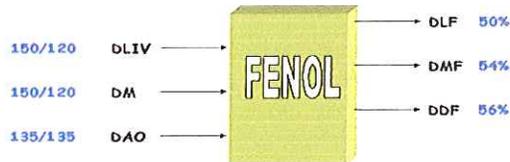


Autoría ECOPETROL

La operación principal de esta unidad se basa en una extracción líquido-líquido, donde la utilización de un solvente polar de baja temperatura de ebullición como lo es el fenol, extrae el material aromático y nafténico del aceite de carga, de modo que en el refinado se retire un aceite tipo parafínico con el índice de viscosidad deseado. El fenol es el encargado de solubilizar la parte nafténica que sale en el

extracto y las operaciones siguientes están encargadas de retirarle el solvente a cada una de las dos corrientes generadas en la etapa anterior, con el fin de recircularla y utilizarla nuevamente.

Figura 3 Relación de Cargas y Productos en la Planta de Fenol



Autoría ECOPEPETROL

La descripción del flujo para la unidad de extracción con fenol puede ser analizada separando el proceso en 3 secciones:

- Sección de absorción
- Tratamiento con fenol
- Recuperación de fenol

Figura 4 Unidad de Extracción de Aceites Lubricantes con Fenol



➤ **Sección de absorción:** Ésta sección busca recuperar la mayor cantidad posible de fenol de la corriente de vapor fenólico que se inyecta a la torre, donde la corriente de carga pasa en contracorriente, permitiendo un contacto íntimo entre sus moléculas y haciendo posible la transferencia de masa.

➤ **Sección de tratamiento con fenol:** El tratamiento hace que los compuestos aromáticos y nafténicos sean extraídos del aceite de carga debido a diferencia de solubilidades, en la torre de extracción el aceite fenolizado es cargado por el fondo, mientras que el solvente se carga por la cima y desciende por gravedad. En la cima se mantiene un nivel de interfase entre fenol – aceite. El fenol y el agua fenólica se inyectan a la torre sobre la bandeja de cima pero debajo del nivel de la interfase, manteniendo la altura deseada por medio de la descarga de extracto.

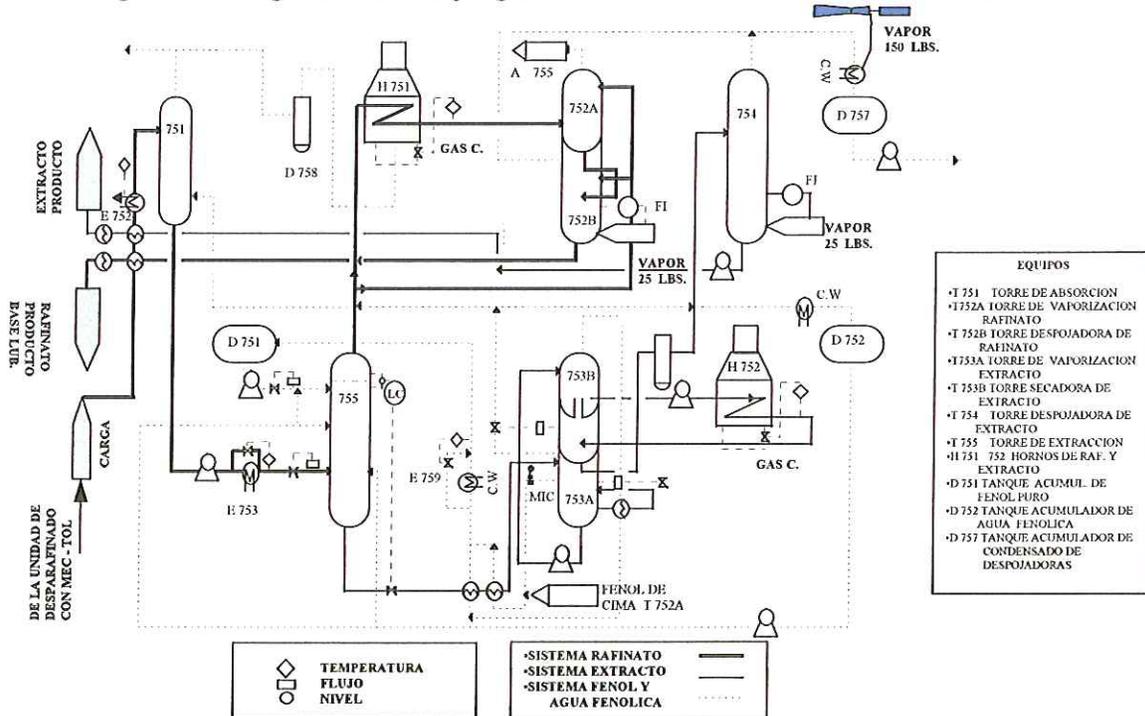
➤ **Sección de recuperación de fenol:** La sección de recuperación es la encargada de separar el solvente del extracto y el refinado. Para cada corriente se utiliza una torre de vaporización flash y una torre despojadora, en el despojo de fenol del extracto se utiliza una torre adicional (torre secadora).

➤ **Recuperación del fenol en el extracto:** El flujo de extracto que sale por el fondo de la torre de extracción entra a una torre secadora, donde se retira el agua con fenol de la mezcla fenol-agua-aceite, el medio de calentamiento de la torre se suministra por intercambio de calor entre la corriente de cima de la torre de vaporización instantánea.

El flujo de vapor fenólico después de salir por la cima de la secadora, se divide en dos corrientes, la mayor parte se condensa y va al tambor de agua fenólica y la menor porción a la torre absorbidora ya mencionada. La mezcla de fenol y extracto secos, desciende a través de la sección secadora en contracorriente con los vapores de fenol que despojan el agua remanente de la mezcla y pasa al fondo de la torre a través del rehervidor. Una porción de fenol en el líquido que desciende se vaporiza al pasar por el rehervidor, mientras que el resto de la solución se acumula en el fondo de la torre, parte del vapor de fenol se condensa por la carga y se une con el chorro de fenol que viene de la sección instantánea. La solución de extracto seco acumulado en el fondo de la torre, se envía a la cima de la torre instantánea de extracto, pasando en contracorriente con los vapores de fenol que suben y se acumula en una batea. El medio de calentamiento a esta sección es suministrado por el horno que toma líquido de la batea, el vapor de fenol que sale por la cima de la torre es el encargado de intercambiar calor en el rehervidor que proporciona calor al fondo de la torre secadora. El fenol se condensa y se lleva al tanque acumulador de fenol puro.

➤ **Recuperación del fenol en el refinado:** El refinado solución (cima de la torre de tratamiento) pasa por un horno antes de ir a la torre de vaporización instantánea, de ésta torre se retira por la cima vapor fenólico, que va al tanque de almacenamiento de fenol puro y por el fondo, el aceite tratado pasa a la torre despojadora.

Figura 5 Diagrama de flujo general unidad de extracción con fenol



1.3 VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO

A continuación se describen las principales variables del proceso y la forma como deben controlarse para una buena operación de la planta.

Las variables controladas en el tratamiento con fenol son las siguientes:

(a) Relación Fenol-Aceite: Es la relación entre la tasa de inyección de fenol y la carga de aceite multiplicada por 100, medidos ambos flujos a la entrada de la torre. Para una cantidad determinada de aceite de carga, un aumento en la inyección de fenol mejora la calidad del refinado pero disminuye su rendimiento. Entre más pequeña sea la relación fenol-aceite, mayor es el efecto de las causas que tienden a trastornar la operación en la torre. La óptima relación para un aceite dado se determina empíricamente.

(b) Calidad de la carga: Cuanto más viscoso sea el aceite, menor es la capacidad de carga. En otras palabras, entre más viscosa sea la carga, mayor será la relación fenol-aceite requerida. Es muy importante puesto que la calidad del producto depende de la calidad de la carga.

(c) Temperatura de tratamiento: Cuanto más baja sea la temperatura de tratamiento, mejor es la selectividad del fenol, lo cual se traduce en un ligero aumento en el rendimiento de refinado del mismo índice de viscosidad. Pero un aumento en la selectividad del fenol está acompañado por una disminución en su

poder solvente. Como resultado de esto, la relación de fenol - aceite debe aumentarse para obtener el mismo índice de viscosidad. También, cuanto más baja sea la temperatura de tratamiento, más viscosos serán el aceite y el solvente y menor la capacidad de tratamiento. Este es un factor primordial cuando se cargan aceites de alta viscosidad.

Los diferentes aceites de carga se mezclan en todas las proporciones con el fenol a temperaturas que por lo regular son cercanas a las especificaciones de tratamiento. Generalmente, para obtener un tratamiento eficiente, es ventajoso operar a temperaturas lo más cercanas posible de las de mezcla. La temperatura de mezcla cambia con las diferentes cargas y con el contenido de agua en la carga.

Cuanto más cerca esté la temperatura de tratamiento de la temperatura de mezcla, más fácilmente se trastornará la operación en la torre. La inundación o la falta de separación del refinado empiezan en o debajo de la zona de carga del aceite. Una señal de esta condición es la acumulación del fenol en la torre de tratamiento, seguido por un aumento de la cantidad de fenol en la solución de refinado. También puede resultar, debido a esta condición, arrastre de aceite en la solución de extracto por el fondo de la torre.

(d) Inyección de Agua: El agua y el fenol se mezclan completamente en todas las proporciones a temperaturas mayores de 155 °F. Por debajo de esta temperatura (155 °F), dependiendo de la concentración de fenol, una mezcla de fenol y agua puede separarse en dos o más capas. El fenol se concentra en la fase o capa inferior y el agua en la superior.

(e) Añadiendo agua con fenol, se aumenta la selectividad del solvente. Un aumento en la selectividad del fenol está acompañada por una reducción en la solubilidad de aceite. Como resultado, la relación fenol-aceite debe ser aumentada para obtener la misma calidad en el refinado.

El agua se inyecta en la torre con la carga de fenol, para disminuir la solubilidad del aceite en la solución de extracto, reduciendo así el aceite de alta calidad disuelto en el extracto. El aceite fluye hacia la solución de refinado y sirve como reflujo. Como resultado, el aceite nafténico, el cual se disuelve más fácilmente en el fenol, sale como extracto. El uso de agua, en esta manera, aumenta el rendimiento de refinado, pero disminuye su calidad.

Los resultados preliminares de los cambios de condiciones en el tratamiento, pueden apreciarse en corto tiempo en la torre de tratamiento, pero se requieren varias horas para que la torre alcance el equilibrio y así apreciar los resultados de los cambios en el producto.

Se debe evitar por lo tanto, el hacer cambios frecuentes en las condiciones de tratamiento, sin esperar a evidenciar los resultados.

Se tienen instalados controles para ayudar al operador a establecer y mantener una buena operación, con los diferentes cargas a la torre secadora. Las funciones de esos controles, se describen a continuación:

FR-7009: registrador del reflujo a la cima de la torre secadora. Este reflujo debe ser aproximadamente la décima parte de la cantidad de vapor que sale por la cima de la torre.

TRC-7004: Controlador registrador de la temperatura de la carga a la torre secadora. Controla la temperatura mediante un pase en el lado fenol (casco) del precalentador de la carga, intercambiador E-755 A/B. Debe ajustarse para obtener la temperatura controlable más alta, sin exceder 330°F (o su equivalente, sí la presión de la torre no es 10 psig).

TR-7007: Controlador registrador de la temperatura de los vapores de cima de la torre secadora. Controla dicha temperatura ajustando el reflujo de agua fenólica a la cima de la torre.

PRC-7002: Controlador registrador de la presión de la torre secadora. Trabaja variando la apertura de la válvula de control que regula la salida de los vapores de cima de la torre secadora.

LC-7006: Controlador de nivel del fondo de la torre secadora, opera variando la válvula de control en la descarga de la bomba de solución de extracto seco, P-753 A/B.

MIC-7003: Controlador del chorro lateral, registrado por el FR-7007. En algunos de los platos se han instalado indicadores de temperatura y termo pozos con el fin de que el operador se dé cuenta, con suficiente anticipación, del aumento en el contenido de agua en la bandeja número 14, y así pueda prever la necesidad de hacer algún cambio en las condiciones de operación; sin embargo, el examen del sistema mostrará que puede pasar un tiempo considerable entre el momento en que se efectuó el cambio y la aparición del efecto producido por dicho cambio. Por esta razón, se aconseja que los ajustes que se hagan en las condiciones de operación sean hechos en incrementos pequeños y que se deje pasar suficiente tiempo entre dichos cambios para permitir que el sistema se equilibre.

Como un ejemplo del efecto producido por el tiempo de retardo, se puede considerar la serie de efectos que entran en juego cuando se disminuye la extracción lateral. En primer lugar, el calor cedido a la carga de la secadora disminuye, por lo que debe ser compensado mediante el aumento del precalentamiento de la misma en el intercambiador E-755 A/B, lo cual ocurre automáticamente. En segundo lugar, la cantidad de fenol en el fondo de la secadora aumenta. En tercer lugar, hay un aumento de la carga de fenol en el hormo de solución de extracto, lo cual se compensa con aumento en el gas a los quemadores, para mantener constante la temperatura de salida.

En cuarto lugar, los vapores de fenol adicionales provenientes del horno, salen por la cima de la torre de vaporización instantánea y suministran un calor adicional al rehervidor de la secadora, produciendo aumento de temperatura en las bandejas de la torre, haciéndose necesario abrir el MIC-7003, aumentando así la extracción lateral. El tiempo requerido para producir todos estos efectos, puede ser de 5 a 10 minutos, de acuerdo con la retención del líquido del sistema, particularmente la del fondo de la torre secadora y la de la batea de la torre de vaporización instantánea.

Aunque se espera que los instrumentos de control hagan automáticamente los ajustes requeridos por las variaciones normales de la carga, cambios mayores y los efectuados durante el arranque, necesitan ajustes adicionales, que son realizados por el operador.

Cuando la torre secadora esté recibiendo demasiado calor, puede suceder el suministrado a través de la carga o a través del rehervidor en las bandejas bajas. El exceso de calor será indicado por la demanda excesiva de reflujo para mantener la temperatura de la cima bajo control. Esta situación puede ser causada por el precalentamiento excesivo de la carga, en cuyo caso el TRC- 7004 debe ser ajustado lo máximo que permita la capacidad del enfriador E-759 para absorber el calor que queda en el chorro de fenol.

1.4 VARIABLE DE SALIDA

Existen varias propiedades del lubricante que pueden ser usadas para indicar la calidad del producto. Una de ellas es el Índice de Viscosidad (IV) al cual se le hace un muestreo dos veces al día para analizar en laboratorio y llevar un control adecuado. El Índice de Viscosidad del lubricante es afectado por las propiedades de la carga y controlado por condiciones físicas en la columna de extracción, sin embargo está influenciado por condiciones dentro del desparafinado; por lo tanto, el muestreo se hace sobre el aceite despojado en el desparafinado para el control de la calidad. El tiempo de residencia combinado de la unidad de extracción y la de desparafinado es considerablemente más corto que el período de muestreo del IV, volviéndose muy difícil el control de éste. Adicionalmente, el flujo de refinado producto de la unidad de extracción varía con el almacenamiento de carga. Así, el sistema puede estar sujeto a retardos grandes y variables de tiempo del proceso, ocasionando un problema en el control.

Las estrategias actuales de operación utilizan un esquema de control de cascada paralela de lazo abierto para regular el Índice de Viscosidad. Un lazo interno regula una variable secundaria, el Índice de Refracción del refinado (IR).

Con una de estas dos variables se puede inferir la otra debido a su relación lineal. De esta forma en nuestro proceso se mide la calidad en línea del refinado utilizando un analizador de Índice de Refracción que posteriormente es convertido a IV como más adelante se explica.

1.5 ÍNDICE DE VISCOSIDAD.

La viscosidad de una sustancia es la resistencia de ruptura de una capa de un líquido que separa dos placas horizontales, una de las cuales esta siendo movida a través de la otra. La viscosidad absoluta de una sustancia es la fuerza en dinas que puede, mover un centímetro cuadrado de una superficie plana a una velocidad de un centímetro por segundo.

Relativo a otra superficie plana paralela de la cual esta separada por una capa de una sustancia de un centímetro de espesor. Esto puede ser expresado por la siguiente formula:

$$\text{viscosidad} = (\text{fuerza} \times \text{grosor de la película}) / (\text{área del plano} \times \text{velocidad})$$

El tubo de Cannon-Fenske mide la viscosidad cinemática en unidades de centistokes y es igual al tiempo de flujo multiplicado por la constante del tubo. Más exactamente los valores para la constante de un tubo dado, pueden ser determinados usando un líquido de viscosidad conocida, midiendo el tiempo en segundos y calculando "c" en la formula:

$$\text{viscosidad cinemática (centistokes o cSt)} = c \times \text{tiempo (s)}$$

La viscosidad es sensible a la temperatura y es normalmente probada en baños de temperatura constante.

1.5.1 Unidades de Viscosidad

➤ Poise: La unidad de poise, el valor para la viscosidad absoluta, es igual a una dina por segundo sobre centímetro cuadrado. Esto es, cuando dos placas tienen un área de ruptura de un centímetro cuadrado y el grosor de la capa es de un centímetro, si una fuerza de una dina se requiere para mantener la velocidad en un centímetro por segundo, del fluido se dice que tiene una viscosidad de 1 poise. Un poise también es igual a un stoke multiplicado por su la densidad (a una temperatura específica).

➤ Centipoise: Debido a que el poise es una unidad muy grande, frecuentemente es conveniente usar el centipoise (1/100 poise).

➤ Stoke: La viscosidad cinemática de una sustancia es la relación de la viscosidad para la densidad de la sustancia a la temperatura de medición. La unidad de viscosidad cinemática es el stoke y es igual a la que posee un fluido que tiene una viscosidad de un poise y una densidad de un gramo por centímetro cúbico, por ejemplo para un fluido con viscosidad de 9 poise y una densidad de 0.9090 es igual a 8.18 stokes (818 centistokes). La selección del tubo apropiado será el 46460-400 para un rango de 240-1200 centistokes.

➤ Centistoke: Nuevamente, debido a que el stoke es una unidad tan grande, generalmente es conveniente usar el centistoke (1/100 stoke).

El índice de viscosidad es un número arbitrario usado para caracterizar la variación de la viscosidad cinemática de un producto derivado del petróleo con la temperatura.

Uno de los mayores requerimientos de los aceites para motores y otros aceites minerales, es que tengan características satisfactorias de Índice de Viscosidad, es decir, la variación de la viscosidad con la temperatura. Es necesario en los aceites, para que éstos no pierdan su fluidez y muestren un comportamiento igual, a través de las distintas temperaturas a que se someten cuando son usados. Cuanto más bruscos sean los posibles cambios de temperatura, más pequeños deben ser los cambios de viscosidad. Esto asegura una distribución igual del aceite por toda la máquina y evita la posibilidad de desgaste de las piezas, el cual ocurre durante el tiempo que demora la máquina en calentarse a la temperatura normal de trabajo. La viscosidad alta, a baja temperatura restringe el flujo de aceite cuando la máquina está fría, mientras que con viscosidad baja a la temperatura normal de operación de la máquina, puede no formar una película de aceite de suficiente espesor que evite el contacto directo de las piezas metálicas en movimiento. Debido principalmente a la conveniencia de usar un número sencillo que exprese las características de viscosidad con relación a la temperatura de un aceite, el Índice de Viscosidad (VI) ideado hace varios años, continua usándose hoy en la operación de plantas de aceites lubricantes, primordialmente como una indicación conveniente, de la tendencia o nivel de extracción de una planta para una carga dada.

El índice de viscosidad de un aceite se presenta en un gráfico o tabla, determinando sus viscosidades a 40 °C y 100 °C.

En la operación de una planta, el mejoramiento del IV por lo regular va asociado con la disminución del rendimiento. Por lo tanto, los intentos de producir Índices de Viscosidad (VI) más altos que los normales o los especificados en el diseño, no son económicamente deseables.

1.6 CARACTERÍSTICAS DE LA DENSIDAD DEL COMBUSTÓLEO

En la sección Casa Bombas 9, Blending, el Combustóleo con el que cuenta la refinería cumple su última etapa de observación y control antes de ser distribuido a sus diferentes destinos.

➤ Viscosidad Combustóleo Liviano: 40-50 ssf (segundos saybolt furor). Este Combustóleo se envía hasta Cartagena para consumo interno y exportación a través del oleoducto.

➤ Viscosidad Combustóleo Pesado: 280-320 ssf. Este es transportado por botes

debido a su alta viscosidad. Es utilizado para consumo en calderas por su alto grado de inflamabilidad.

- Viscorreductora: 500-1000 ssf.
- Slurry de Unidades Cracking : 20-25 ssf (Componente para mezclado de baja viscosidad).
- Ciclo de Unidades Cracking : 3-5 ssf. (Diluyente)

1.7 ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Se define como la relación de la velocidad de la luz (longitud de onda específica) en el aire, con relación a su velocidad en la sustancia bajo examen. También se puede definir como el seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción. A medida que la luz pasa del aire hacia la sustancia, produce una deflexión que marca una diferencia de ángulo cuya relación se llama índice; éste es el índice de refracción relativo. Si se desea el índice de refracción absoluto (referido al vacío), éste valor se debe multiplicar por el factor 1.00027 (índice de refracción absoluto del aire). El valor numérico del índice de refracción de los líquidos, varía en forma inversa con la longitud de onda y la temperatura.

➤ **Dispersión refractiva.**

Es la diferencia entre los índices de refracción de una sustancia para la luz y dos longitudes de onda diferentes, medidos ambos índices a la misma temperatura. Por conveniencia en los cálculos, el valor de la diferencia obtenida es usualmente multiplicada por 10,000.

➤ **Cálculo del índice de refracción**

El índice de refracción se mide por el método de ángulo crítico con un refractómetro de precisión Bausch & Lomb usando una luz monocromática. El instrumento se calibra previamente por medio de un estándar de referencia sólido y se corrigen los valores observados, cuando sea necesario, por la calibración obtenida con los estándares líquidos certificados.

➤ **Significado y Uso**

El índice de refracción y la dispersión refractiva son propiedades físicas fundamentales que se pueden usar junto con otras propiedades para caracterizar los hidrocarburos puros y sus mezclas.

1.8 RELACIÓN DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD CON EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Periódicamente el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) actualiza las constantes m y b que relacionan en forma lineal el Índice de Viscosidad (IV) y el Índice de

Refracción (IR).

Estas variaciones son debidas a los cambios en las características de la carga tales como su densidad y composición.

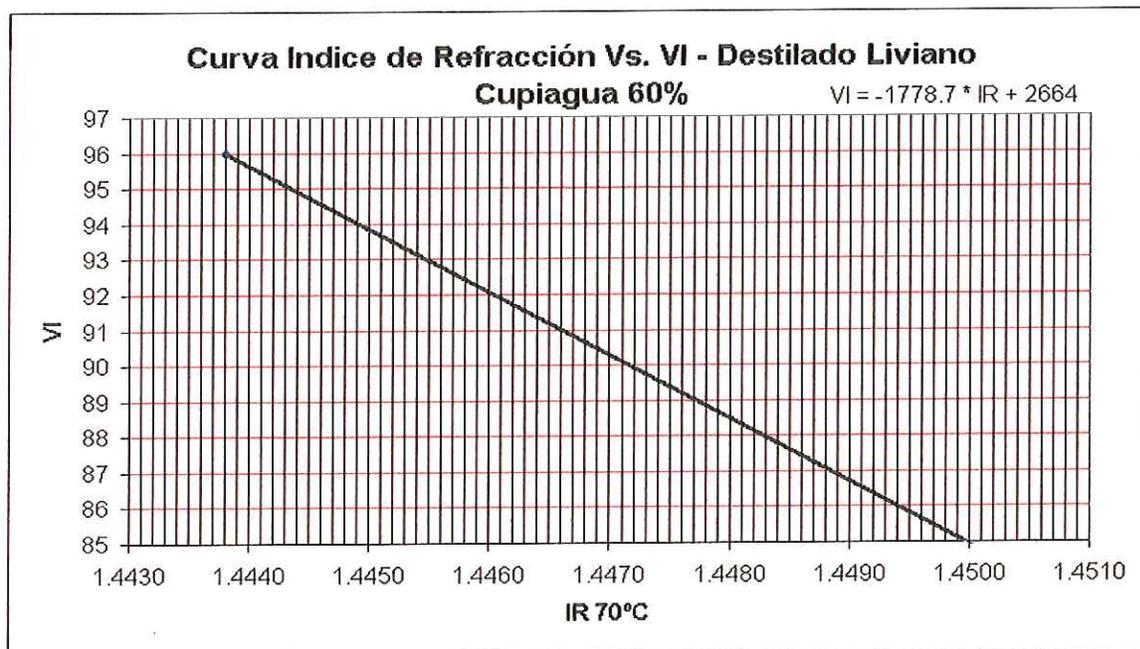
En la **Tabla 1** se relacionan los valores típicos de las últimas pruebas entregadas por el ICP (Septiembre del 2004) y la **Figura 6** traza su comportamiento lineal inverso.

$$IV = m * IR + b$$

Tabla 1 Conversión de IR a IV

PRODUCTO	m	b
Destilado Medio	-1990.3	2994.9
Destilado Liviano	-1914.1	2865.0
DAO	-1678.2	2561.9

Figura 6 Curva IR Vs. VI



1.9 ANÁLISIS EN LÍNEA (EL REFRACTÓMETRO)

1.9.1 Principio de Funcionamiento

El refractómetro de proceso determina el índice de refracción (IR) de la solución del proceso midiendo el ángulo crítico de refracción. La luz proveniente de una fuente lumínica (L), (Figura 7) se dirige contra la interfase entre un prisma (P) y la

solución de proceso(S). Los rayos de luz se encuentran con esta superficie a distintos ángulos. Los rayos reflejados forman una imagen (ACB), donde (C) es la posición del rayo de ángulo crítico. Los rayos en (A) se reflejan totalmente en la interfase, los rayos en (B) son parcialmente reflejados y parcialmente refractados dentro de la solución del proceso. De esta manera la imagen óptica se divide en un área iluminada (A) y un área oscura (B). La posición del límite (C) entre las áreas muestra el valor del ángulo crítico y por tanto del índice refractivo de la solución del proceso. El índice refractivo normalmente se incrementa al aumentar la concentración.

Figura 7 Imágenes ópticas

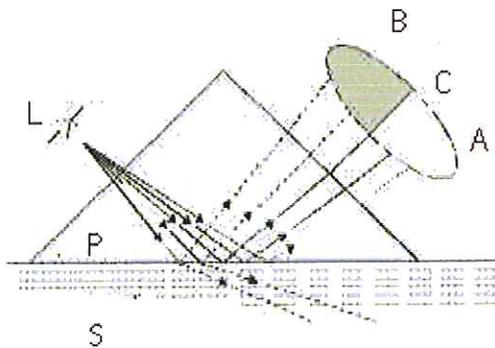
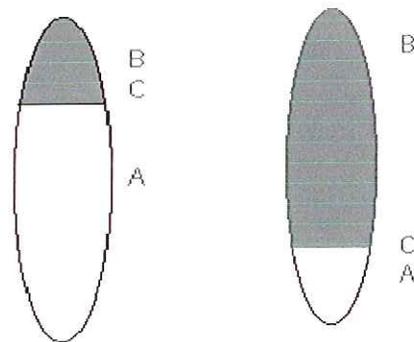


Figura 8 Principio de Refracción
Concentración Baja Concentración Alta



De esto se puede concluir que la imagen óptica cambia con la concentración de la solución del proceso como se muestra en la Figura 8, la imagen óptica es convertida en señal eléctrica por un detector de imagen. Por este método es medida la concentración de la solución. El color de la solución, las bombas de gas o las partículas no disueltas no interfieren con el resultado.

1.9.2 Descripción del Sensor

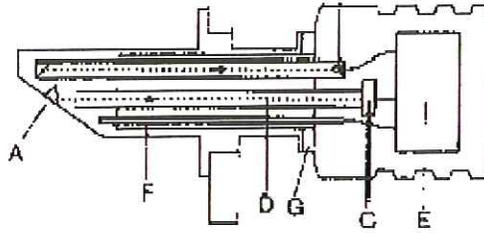
En el sensor del refractómetro de proceso (Figura 9 y 10), el prisma de medida (A) está montado sobre la superficie oblicua cerca de la punta. La fuente de luz (B) es un diodo emisor de luz.

El refractómetro de proceso utiliza un detector de imagen digital (C) el detector de imagen consiste de 256 foto-celdas en fila, integradas en un solo chip, la salida del detector de imagen es un tren de pulsos como se muestra en la Figura 11. Este número de pulsos altos corresponde a la posición del eje sombreado en la imagen óptica. El número de pulsos altos es una medida directa del ángulo crítico.

Figura 9 Sensor Real

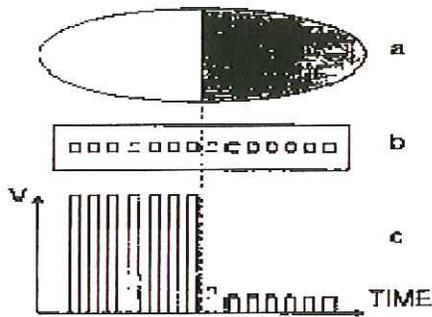


Figura 10 Esquema Sensor Real



El digitalizador de imagen (E) transforma este tren de pulsos a una señal digital serial. Esta señal serial transmite un paquete que contiene una descripción completa de la imagen óptica y datos de temperatura al transmisor indicador.

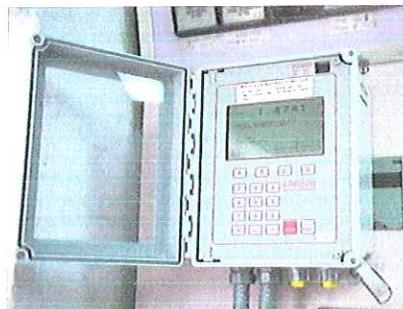
Figura 11 Tren de Pulsos



Para la compensación automática de temperatura, la punta del sensor contiene una sonda de temperatura del proceso (F). El sensor de imagen digital (C) se separa del calor del proceso por fibra óptica (D) y el aislador térmico (G) es montado en la cabeza del sensor enfriada por aire

1.9.3 El Monitor

Figura 12 Indicador del Transmisor (Monitor)



El monitor (figura 12) recibe una señal serial del sensor que describe la imagen óptica y además entrega la temperatura del proceso. El sistema de microprocesador construye internamente la imagen óptica (figura 14) e implementa un algoritmo de análisis de imagen (figura 13), la cual identifica la posición exacta del eje sombreado mostrado en la Figura 11.

Figura 13 Diagrama BRIX e Imagen del algoritmo de Análisis

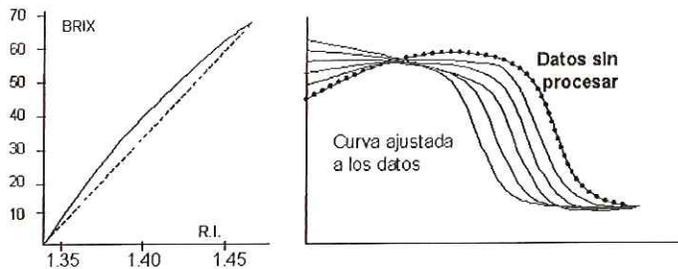
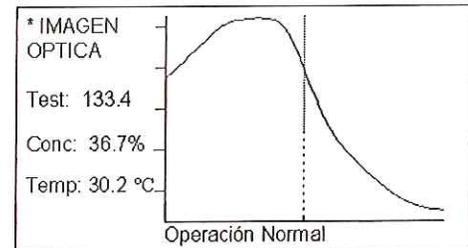


Figura 24 Imagen Óptica del Sensor Real



El transmisor indicador contiene un suministro de potencia, un sistema microprocesador y un panel frontal con una pantalla de cristal líquido (LCD) y un teclado. Las señales de salida son señales de concentración de 4 a 20 miliamperios y una señal de salida serial, RS 232 o RS 485 como alternativas. El transmisor indicador también acepta cuatro contactos de conmutación de entrada para el Hold de la señal o selección de escala. Un bus serial conecta el transmisor indicador a las unidades externas tal como la unidad de relevos o la unidad de corriente externa.

El sistema microprocesador alinea la lectura de concentración, como se muestra en el ejemplo de la figura 11, y realiza una compensación automática de temperatura.

1.9.4 El Sensor Real Instalado

Figura 35 Instalación del Sensor

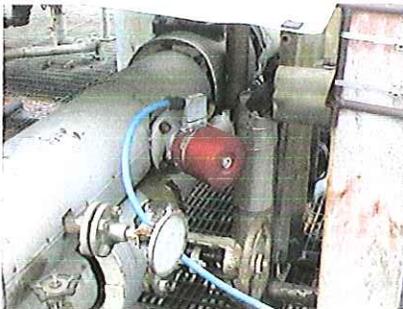
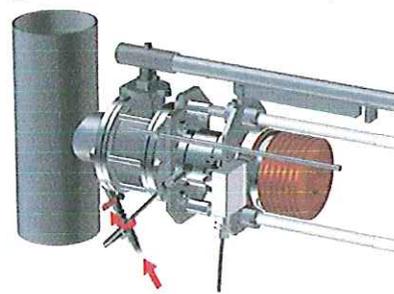


Figura 46 Sensor Real (Interno)



El sensor está diseñado para ser montado directamente sobre la línea de proceso, con el eje principal en forma horizontal, sin obstáculos para el flujo de aire alrededor de su cabeza, ni exposición a radiación de alta temperatura, normalmente debe tener suministro de enfriamiento de aire para su conservación, si la temperatura ambiente es mayor que 45⁰ C, el aire de enfriamiento debe ser mejorado aplicando aire presurizado contra la cubierta del sensor.

1.9.5 Análisis en Laboratorio

Esta práctica especifica los procedimientos para calcular el índice de viscosidad de productos derivados del petróleo, tales como aceites lubricantes y materiales relacionados a partir de sus viscosidades cinemáticas a 40 y 100 °C. Para ello existen dos procedimientos:

Procedimiento A. Para productos derivados del petróleo de índice de viscosidad menor o igual a 100.

Procedimiento B. - Para derivados del petróleo cuyo índice de viscosidad es mayor de 100

La tabla 2 dada en esta norma se aplica a los productos derivados del petróleo con viscosidades cinemáticas entre 2 y 70 mm²/s (cSt) a 100 °C.

Las ecuaciones están dadas para calcular el índice de viscosidad de productos derivados del petróleo que tengan viscosidades cinemáticas por encima de 70 mm²/s (cSt) a 100 °C.

Los valores de viscosidad cinemática se determinan tomando como referencia un valor de 1.0038 mm²/s (cSt) a 20.00 °C para el agua destilada. La determinación de la viscosidad cinemática de un producto derivado del petróleo se debe llevar a cabo de acuerdo con los métodos de prueba D 445, IP 71, ISO 3104 o ISO 2909.

Un índice de viscosidad alto indica una pequeña disminución en la viscosidad cinemática con el incremento de la temperatura de un lubricante.

Tabla 2 Valores del L y H para Viscosidad Cinemática en Sistemas 40-100 °C

VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H
2.00	7.99	6.39	7.20	82.39	50.69	12.4	213.6	113.3	17.6	392.7	189.5	25.6	769.3	332.7	45.0	2152	780.9
2.10	8.64	6.89	7.30	84.53	51.78	12.5	216.6	114.7	17.7	396.7	191.3	25.8	779.7	336.7	45.5	2197	794.5
2.20	9.31	7.41	7.40	46.66	52.88	12.6	219.6	116.0	17.8	400.7	192.9	26.0	790.4	340.5	46.0	2243	808.2
2.30	10.00	7.94	7.50	88.85	53.98	12.7	222.6	117.4	18.9	404.6	194.6	26.2	801.6	344.4	46.5	2288	821.9
2.40	10.71	8.50	7.60	91.04	55.09	12.8	225.7	118.7	18.0	408.6	196.2	26.4	812.8	348.3	47.0	2333	835.5
2.50	11.45	9.06	7.70	93.20	56.20	12.9	228.8	120.1	18.1	412.6	197.8	26.6	824.1	352.3	47.5	2380	849.2
2.60	12.21	9.65	7.80	95.43	57.31	13.0	231.9	121.5	18.2	416.7	199.4	26.8	835.5	356.4	48.0	2426	863.0
2.70	13.00	10.25	7.90	97.72	58.45	13.1	235.0	122.9	18.3	420.7	201.0	27.0	847.0	360.5	48.5	2473	876.9
2.80	13.80	10.87	8.00	100.00	59.60	13.2	238.1	124.2	18.4	424.9	202.6	27.2	857.5	364.6	49.0	2521	890.9
2.90	14.63	11.50	8.10	102.30	60.74	13.3	241.2	125.6	18.5	429.0	204.3	27.4	869.0	368.3	49.5	2570	905.3
3.00	15.49	12.15	8.20	104.60	61.89	13.4	244.3	127.0	18.6	433.2	205.9	27.6	880.6	372.3	50.0	2618	919.6
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
6.90	75.72	47.51	12.1	204.8	109.4	17.3	381.0	184.9	25.0	736.5	320.9	43.5	2021	741.3	69.5	4839	1,541.0
7.00	78.00	48.57	12.2	207.8	110.7	17.4	384.9	186.5	25.2	747.2	324.9	44.0	2064	754.4	70.0	4905	1,558.0
7.10	80.25	49.61	12.3	210.7	112.0	17.5	388.9	188.9	25.4	758.2	328.8	44.5	2108	767.6			

1.9.6 Cálculo en laboratorio - Procedimiento A.

Se utiliza para aceites con Índice de viscosidad menor o igual a 100.

Figura 57 Viscosímetro de Laboratorio (<100 C)



Si la viscosidad cinemática de los aceites a 100 °C es menor o igual 70 cSt mm²/s (cSt), tome de la tabla 1.2 los valores correspondientes para L y H. Los valores medidos que no se encuentran listados pero se encuentran dentro del rango de la tabla 1.2, se pueden obtener por interpolación lineal.

El índice de viscosidad no está definido y no se puede reportar para aceites de viscosidades cinemáticas menores que 2.0 mm²/s (cSt) a 100 °C

Si la viscosidad cinemática se encuentra por encima de 70 mm²/s (cSt) a 100 °C, calcule los valores de L y H como sigue:

Ecuación 1.1 **$L = 0.8353 Y^2 + 14.67 Y - 216$**

Ecuación 1.2 **$H = 0.1684 Y^2 + 11.85 Y - 97$**

Donde:

L = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt), a 40 °C de un aceite de índice de viscosidad 0 que tenga la misma viscosidad cinemática a 100 °C que el aceite al cual se le calcula el índice de viscosidad.

Y = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt), a 100 °C del aceite al cual se debe calcular el índice de viscosidad.

H = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt), a 40 °C de un aceite de índice de viscosidad 100 que tenga la misma viscosidad cinemática a 100 °C que el aceite al cual se le debe calcular el índice de viscosidad.

Calcule el índice de viscosidad, VI, del aceite como sigue:

Ecuación 1.3 **$VI = [(L - U)/(L - H)] \times 100$**

Donde:

U = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt) a 40 °C de aceite cuyo índice de viscosidad debe ser calculado.

➤ **Ejemplo de cálculo:**

Viscosidad cinemática medida a 40 °C del aceite cuyo índice de viscosidad debe ser calculado = 73.30 mm²/s (cSt).

Viscosidad cinemática a 100 °C del aceite cuyo índice de viscosidad debe ser calculado = 86 mm²/s (cSt).

De la tabla 2 (por interpolación) L = 119.94.

De la tabla 2 (por interpolación) H = 69.48.

Sustituyendo en la ecuación 1.3 y redondeando lo más cerca el número total:

$$VI = [(119.94 - 73.30)/(119.94 - 69.48)] \times 100 = 92.43$$

$$VI = 92$$

1.9.7 Cálculo en el laboratorio - Procedimiento B.

Se utiliza para aceites con Índice de Viscosidad de 100 o superior.

Figura 68 Viscosímetro de Laboratorio (>100 C)



Si la viscosidad cinemática del aceite a 100 °C es menor o igual a 70 mm²/s (cSt), tome el valor correspondiente para H de la tabla 1.2. Los valores medios que no se encuentran listados, pero que se encuentran dentro del rango de la tabla 1.2, pueden ser obtenidos por interpolación lineal.

El índice de viscosidad no está definido y no se puede reportar para aceites de viscosidad cinemática menor de 2.0 mm²/s (cSt) a 110 °C.

Si la viscosidad cinemática medida a 100 °C es mayor que 70 mm²/s (cSt), calcule el valor de H como sigue:

$$\text{Ecuación 1.4} \quad H = 0.1684 Y^2 + 11.85 Y - 97$$

Donde:

Y = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt), a 100 °C del aceite al cual se le debe calcular el índice de viscosidad.

H = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt), a 40 °C de un aceite de índice de viscosidad 100 que tiene la misma viscosidad cinemática a 100 °C que el aceite al cual se debe calcular el índice de viscosidad.

Calcule el índice de viscosidad, VI, del aceite como sigue:

$$\text{Ecuación 1.5} \quad VI = [(\text{antilog } N) - 1]/0.00715 + 100$$

Donde:

Ecuación 1.6 $N = (\log H - \log U)/\log Y$ ó $Y^N = H/U$ con:

U = Viscosidad cinemática, en mm²/s (cSt), a 40 °C del aceite al cual se debe calcular el índice de viscosidad.

Ejemplo de cálculo:

Viscosidad cinemática medida a 40 °C del aceite al cual se le debe calcular el índice de viscosidad = 22.83 mm²/s (cSt).

Viscosidad cinemática a 100 °C del aceite al cual se le debe calcular el índice de viscosidad = 5.05 mm²/s (cSt).

De la tabla 2 por interpolación H = 28.97

Substituyendo por la **ecuación 1.6** y por medio de logaritmos:

$$N = [(\log 28.97 - \log 22.83)/\log 5.05] = 0.14708$$

Substituyendo en la **ecuación 1.5** y redondeando al número entero más cercano:

$$VI = [(\text{antilog } 0.14708) - 1]/0.00715 + 100$$

$$VI = [(1.40307 - 1)/0.00715] + 100 = 156$$

Viscosidad cinemática medida a 40 °C del aceite al cual se debe calcular el índice de Viscosidad = 53.47 mm²/s (cSt).

Viscosidad cinemática a 100 °C el aceite al cual se debe calcular el índice de viscosidad = 7.80mm²/s (cSt).

De la **tabla 1.2**, H = 57.31

Substituyendo en la **ecuación 1.6** por medio de logaritmos:

$$N = [(\log 57.31 - \log 53.47)/\log 7.80] = 0.03376$$

Substituyendo en la **ecuación 1.5** y redondeando al número entero más cercano:

$$VI = [(\text{antilog } 0.03376) - 1]/0.00715 + 100$$

$$VI = [(1.08084 - 1)/0.00715] + 100 = 111$$

1.9.8 Diseño Funcional del Sistema de Control

En la actualidad, la unidad de extracción de bases lubricantes con fenol posee 27 lazos de control regulatorios, utilizando bloques de control tipo PID (Proporcional Integral y Derivativo), con la acción derivativa ligeramente o poco usada por su alto efecto sobre las variables a controlar. Tres de ellos están en cascada con otro

controlador (temperatura primaria con presión secundaria, presión primaria con temperatura secundaria y nivel primario con flujo secundario). Seis controladores son de temperatura (TIC), siete de flujo (FIC), seis de presión (PIC), seis de nivel (NIC) y dos válvulas de control manual (MIC).

El objetivo de la unidad de extracción es el de operar con una máxima de obtención de producto con un mínimo de pérdidas, optimizando la relación de tratamiento y la sección de recobro, a su vez, en esta última el objetivo es minimizar los consumos de energía, optimizando el control del horno y las torres despojadoras. Mientras que en la sección de extracción es aumentar el rendimiento de base parafínica, la estabilidad de la unidad, su disponibilidad y transferencia de información en tiempo real.

Una combinación entre el control multivariable y su respectiva estrategia de optimización con alguna estrategia conocida de control avanzado, servirían para producir los máximos beneficios en la unidad, mientras se minimizan energía y pérdidas en rendimiento.

El desafío del control es el de eliminar las perturbaciones que se presentan en los cambios de carga tan pronto como sea posible sin bajar rendimientos, maximizar la producción de refinado aumentando el rendimiento y/o carga.

Una propuesta para llevar a cabo esta aplicación, es descrita utilizando tecnología de control MIMO (múltiples entradas múltiples salidas), las cuales se apoyan en modelos de propiedades inferidas y modelos de identificación de procesos, incluyendo compensación para todas las perturbaciones de las variables, contando para esto con tecnología de modelos de control predictivo.

El objetivo de la estrategia de control a implementar con la utilización del sensor virtual, es mantener el índice de Viscosidad o Refractividad del refinado dentro de las especificaciones. Para la torre de extracción, las variables manipuladas primarias son la temperatura del fenol, el nivel de interfase, la relación fenol-carga y la relación fenol-carga a la torre. Este control puede residir en el computador supervisorio.

➤ ***El Índice de Viscosidad puede ser inferido a partir de:***

- Temperatura de cima de la torre de extracción
- Diferencia de temperatura entre la cima y el fondo
- Carga a la torre extractora
- Rata de fenol
- Calidad del fenol
- Presión de la torre

Los datos reportados por el analizador en línea servirán para entrenar al sensor virtual y así tener una medida del Índice de refracción e Índice de viscosidad con mayor disponibilidad y confiabilidad, pudiéndose implementar el control requerido.

2. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS

Aplicar la técnica de análisis de datos multivariado ha sido aceptada y usada en todos los campos de investigación científica durante los últimos años. Hay muchas razones para que se dé este hecho, dos de las más importantes son:

Las relaciones simultáneas entre dos o más variables que en muchas investigaciones científicas son necesarias, debido a que lo que se busca es obtener una mejora en la relación existente entre las variables de entrada con respecto a la variable de salida del proceso.

El advenimiento de la alta velocidad de los computadores con grandes capacidades de almacenamiento y la facilidad de desarrollo para implementar paquetes de software con análisis multivariado como el ofrecido por la herramienta Matlab.

El análisis multivariado puede ser simplemente definido como la aplicación de métodos que trata razonablemente cantidades de muestras grandes de determinadas variables hechas sobre cada muestra en uno o más instantes simultáneamente. En esta corta definición el punto importante es que el análisis multivariado tiene que ver con relaciones simultáneas entre variables. En otras palabras, son técnicas multivariadas diferenciadas para analizar univariable y bivariadas en la que hay directa relación para el análisis de la media y la varianza de una simple variable, o para la relación entre parejas de dos variables, el análisis de covarianza o correlación el cual refleja la extensión de la relación entre tres o más variables.

Por otro lado, encontramos que para esta aplicación el proceso tiene características estocásticas debido a que uno o más aspectos son desconocidos con anterioridad. De esta forma un proceso estocástico se puede mirar como una familia de funciones en el tiempo, cada una de las cuales se distingue por su comportamiento.

Un proceso estocástico se define sencillamente como una colección indexada de variables aleatorias $\{V_i\}$, donde el subíndice toma valores de un conjunto dado. Con frecuencia este conjunto se toma como el conjunto de enteros no negativos y V_i representa una característica de interés medible en el tiempo. Por ejemplo, el proceso estocástico, V_1, V_2, V_3, \dots , Puede representar la colección de variables del un proceso como los son, niveles, flujos, temperaturas y presiones o la calidad resultante en la producción de la planta.

Vamos a simbolizar tanto el proceso estocástico como su comportamiento concreto como $\nu(t)$. Si en el resultado de la observación se obtiene algún conjunto de comportamientos del proceso estocástico, entonces el proceso dado puede ser descrito por una serie de características no estocásticas como lo son la esperanza matemática, la dispersión y la función autocorrelacional, la definición de ellas está basada en la medida del conjunto de su comportamiento.

En general, las características observadas en un proceso estocástico son funciones del tiempo. Sin embargo existe una clase importante de procesos estocásticos que se llaman estacionarios, para los cuales estas características son constantes. En muchos casos hay características de procesos estocásticos estacionarios, obtenidos a través de la medición del conjunto de realizaciones que coinciden con las características logradas como resultado de la medida de un comportamiento suficientemente continuo en el tiempo. Tales procesos se llaman "ERGODICOS".

Las principales características de los procesos estacionarios ergódicos se definen en los siguientes numerales.

2.1 DISTRIBUCIÓN

Numerosos fenómenos tales como las puntuaciones de los textos en un examen, los errores de las medidas y muchas otras variaciones se consideran como distribución normal, naturalmente, esto no significa que una distribución de frecuencias relativas realmente observada siga exactamente la distribución normal. La distribución normal es simplemente una teoría que sirve para explicar algunas variables aleatorias, la relación entre los intervalos de sus valores, y su correspondiente probabilidad

Es habitual, en estudios especializados de redes neuronales, utilizar distribuciones especiales de puntos según una determinada distribución aleatoria para observar la evolución de los valores de los pesos de la red ante distribuciones diferentes, en este trabajo se ha utilizado la distribución para verificar el comportamiento de cada variable aleatoriamente en el tiempo.

2.2 REGRESIÓN MÚLTIPLE

Esta es quizás comúnmente el método más conocido y usado método multivariado. La regresión múltiple se preocupa por el estudio de la dependencia de una variable, la variable dependiente, sobre un conjunto de otras variables, las variables predictoras, con miras a estimar ó predecir el valor del error de la variable dependiente con base en los valores conocidos de las variables predictoras.

"Análisis de regresión" es quizá es la más extensa técnica aplicada al análisis de conjunto de datos usada para estimar relaciones entre variables. Específicamente, es usada para investigar las relaciones entre una variable dependiente Y y una o más variables independientes (predictoras). Para entender mejor primero debemos hacer un pequeño repaso de lo que es análisis de regresión.

"Análisis de regresión" es primeramente concebida como estimación y/o predicción de la población o valor de lado variable dependiente y sobre las bases de los

valores conocidos de una o más variables explicativas X_i . el modelo popular de regresión dice que la condición de medida denotada por $E(Y | X_i)$, son funciones lineales de X_i . y puede ser escrita

$$E(Y | X_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i$$

Donde β_0 y β_1 son desconocidas pero con parámetros conocidos sobre coeficientes de regresión. Actualmente, referimos a β_0 como el intercepto el cual es dado $E(Y | X_i) = 0$ y β_1 sobre el cálculo de los coeficientes que permanecen cambiando en (Y), las unidades respectivamente.

El conocido modelo de regresión es irreal, ya que implica que los datos X y Y han sido coleccionados sobre todo los individuales, o familiares que definen la población de interés. Aún que esto es una situación altamente diferente, ello hace, sin embargo, permitir el desarrollo de modelo de regresión en muchas formas simples. Porque los datos de la población de entrada son asumidos como válido, y el condicional de probabilidad de Y es dado por X denotado por $P(Y | X_j)$ puede ser calculado tomando

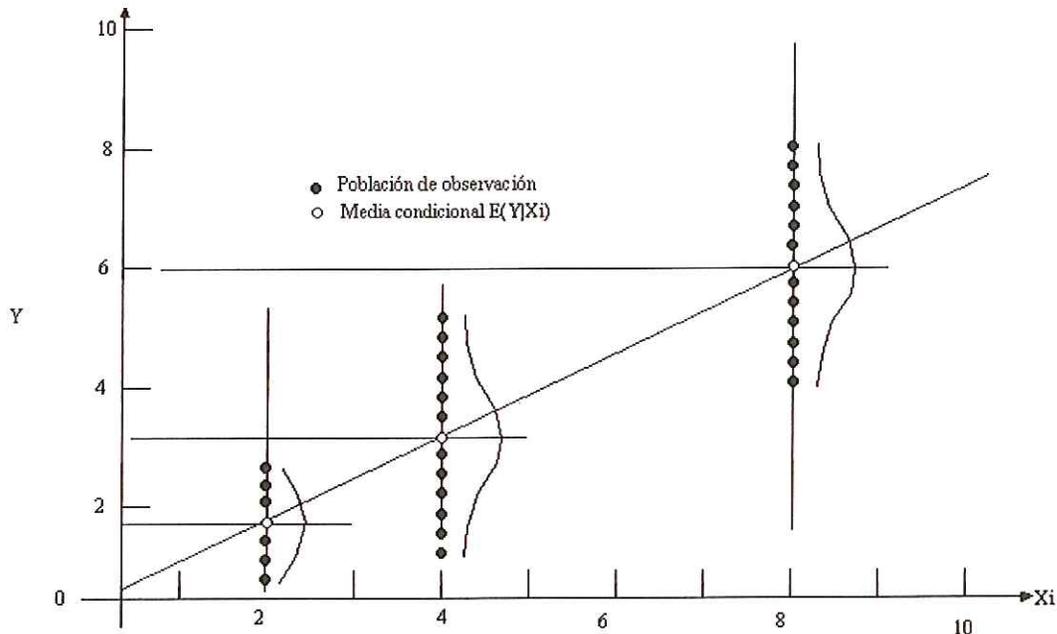
$$P(Y = Y_i | X = X_j) = \frac{P(Y = Y_i, X = X_j)}{P(X = X_j)}$$

Siendo $P(X = X_j) > 0$ la condición de medida o expresión condicional $E(Y | X_j)$, es el valor medido de la probabilidad condicional de Y dando X. Ello puede ser calculado por

$$\sum Y_i P(Y = Y_i | X = X_j)$$

Considere la **Figura 19**, con un conjunto hipotético de puntos de datos y mostrando la medida condicional de la variable dependiente Y para los valores explicados de la variable X. la línea que conecta los valores condicionales es la línea de regresión. La figura muestra que para cada X_i hay una población de Y_i valores asumiendo aquí la distribución normal, y una correspondencia condicional de la medida. La línea de regresión pasa entre estas medidas condicionales.

Figura 19 Línea de regresión de población hipotética con términos de error distribuidos normalmente.



Estas especificaciones del modelo de regresión lineal mostrada en la ecuación, muestra que ambos son lineales; los parámetros y las variables, como opuesto, es decir, el modelo $E(Y | X_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i^2$, la cual es lineal en los parámetros pero no lineal en la variables X . Linealmente en los parámetros es relevante la condición impuesta para desarrollo de la teoría de regresión que será presentada. Así el término lineal en regresión es usada, si se refiere al modelo de regresión que es lineal en los parámetros, pero no necesariamente en las variables.

2.2.1 Regresión, Correlación, y la Casualidad de Casos (Procesos Estocásticos)

El análisis de regresión y el de correlación están estrechamente relacionadas, pero son conceptualmente muy diferentes. El análisis de regresión intenta estimar el valor del error de la variable dependiente sobre la base de valores conocidos de una o más variables predictoras. El análisis de correlación intenta medir el poder o grado lineal de asociación entre dos variables. En el análisis de regresión se hace una distinción entre la variable dependiente y las variables independientes; en otras palabras, hay asimetría de la forma de variables independientes y dependientes que son tratadas. Además la variable dependiente se asume que tiene una distribución de probabilidad, mientras que las variables independientes suponen tener valores fijos, es no estocástico (aunque anteriormente actuáramos como si el X fuera aleatorio) si se habla sobre la distribución de probabilidad del X constante, en el análisis de correlación no se hace ninguna distinción entre las variables X y Y ; esto es, se hace cualquier par de variables simétrica, que

promedie ambas variables aun cuando son vistas con inicio aleatorio y distribución de probabilidad.

La tentación de muchos campos de investigación es atribuir casualidad a los resultados de un análisis estático usando métodos de regresión o correlación.

2.2.2 El Caso de los X Fijos

Introduciendo análisis de regresión, se asume que la variable independiente es no estocástica; eso es, sus valores son de sentido fijos en una repetida prueba; en otras palabras los datos generados por un procedimiento de prueba en el cual para cada valor fijo de X_i , un valor de Y será seleccionado aleatoriamente para la población. Dependiendo del área de investigación la natural suposición no estocástica de la variable independiente puede o no puede ser razonable. Por ejemplo, una escena de laboratorio donde, decimos, que del investigador está intentando predecir el efecto tóxico promedio que es presentado claramente en diferentes fracciones del organismo inducido por la succión de una cierta droga, es razonable asumir que el investigador tiene control sobre los niveles de dosificación administrado y que ellos pueden fijar en repetidas pruebas. En contraposición al estudio de investigación diseñada una escena de la cual el investigador tiene poco control sobre los valores que pueden tomar las variables, y así la variable independiente es intrínsecamente estocástica. Veamos en una próxima sesión que sobre una cierta suposición, variables independientes estocásticas no causan dificultades adicionales con respecto al procedimiento de estimación OLS o sus propiedades estadísticas.

2.2.3 La Aproximación Ordinaria de Mínimos Cuadrados

A continuación se discute la aproximación ordinaria de mínimos cuadrados (OLS) para el análisis de regresión. Para la mayor parte, la discusión es en términos de p variables o múltiples modelos de regresión; sin embargo, en ciertas instancias se confía sobre las dos variables del modelo de regresión en orden para simplificar la exposición. En todo los casos donde las simples dos variables del modelo de regresión es usada, la generalización al modelo de regresión múltiple es aplicable.

2.2.4 La Variable P del Modelo de Regresión

La variable lineal p del modelo de regresión múltiple involucra la variable dependiente Y y la variable independiente p enumerada como $X_2, X_3, X_4, \dots, X_p$, que puede ser escrita como

$$\text{Ecuación 1.1 } Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i, \quad i= 1,2,3,\dots,n$$

Donde β_1 denota el de intercepto, $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ son la inclinación parcial de los coeficientes de regresión, y ε_i es el término residual asociado con la i-ésima observación. El modelo regresión de todos los valores esperados de Y condicionados a los valores fijos de X_2, X_3, \dots, X_p más el componente de error. Actualmente la **ecuación 1.18** corresponde a un sistema de ecuaciones de la forma:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_1 + \beta_2 X_{21} + \beta_3 X_{31} + \dots + \beta_p X_{p1} + \varepsilon_1 \\ \beta_1 + \beta_2 X_{22} + \beta_3 X_{32} + \dots + \beta_p X_{p2} + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \beta_1 + \beta_2 X_{2n} + \beta_3 X_{3n} + \dots + \beta_p X_{pn} + \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

La matriz de anotación de este sistema de ecuaciones puede ser escrita como

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + & X_{21} + & X_{31} + \dots + & X_{p1} \\ 1 + & X_{22} + & X_{32} + \dots + & X_{p2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 + & X_{2n} + & X_{3n} + \dots + & X_{pn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

$$\underset{(n \times 1)}{Y} = \underset{(n \times p)}{X} \underset{(p \times 1)}{\beta} + \underset{(n \times 1)}{\varepsilon}$$

Donde

Y = n x 1 vector columna de observación sobre la variables dependiente Y

X = n x P matriz que resulta para n observaciones sobre P -1 variables independientes X_2, X_3, \dots, X_p , donde la primera columna de unos representa el término de intercepto β_1 ; que es $X_1 = 1$

β = p x 1 vector columna de parámetros desconocidos $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ donde β_1 es el término intercepto, y $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p$ son llamados los coeficientes parciales o pesos de regresión

ε = n x 1 vector columna de n error residuales ε_i

En el modelo de regresión

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Los p x 1 vectores columna β contiene los p -1 coeficientes parciales de regresión $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_p$, y el término intercepto β_1 El término parcial es usado por qué el j-ésimo coeficiente de regresión β_j , que mide el cambio en el valor del error de y por unidad de cambio en X_j , perteneciendo todas de las otras variables constantes

independientes. En una tercera variable del modelo regresión, para el ejemplo, β_2 mide los cambios en el valor del error de Y, $E(Y_i | X_2, X_3)$, con respecto de X_2 la influencia pertenece a la constante X_3 debido a la variación concomitante, así como no es calculada doble, en la contribución de la evaluación de X_2 a un cambio en Y nosotros controlamos la influencia de X_3 , e igualmente influencia de la contribución de X_3 a el cambio en Y nosotros controlamos la influencia de X_2 tendríamos mucho más es decir sobre los coeficientes de regresiones parciales de la siguiente sesión.

2.2.5 Estimador de Mínimos Cuadrados (LSE)

En el problema general de mínimos cuadrados, la salida de un modelo lineal y , esta dado por la expresión parametrizada linealmente:

Ecuación 1.2 $y = \theta_1 f_1(u) + \theta_2 f_2(u) + \dots + \theta_n f_n(u),$

donde $u = [u_1, \dots, u_p]^T$ es el modelo del vector de entrada, f_1, \dots, f_n son funciones conocidas de u y $\theta_1, \dots, \theta_n$ son parámetros desconocidos a ser estimados. En estadística, la tarea de ajustar datos usando un modelo lineal es referida como **regresión lineal**. Así la **ecuación 1.19** es también llamada **función de regresión** y los θ_i son llamados coeficientes de la regresión.

Para identificar los parámetros desconocidos θ_i , usualmente tenemos que ejecutar experimentos para obtener un **conjunto de datos entrenados** compuestos de pares de datos; ellos representan la pareja de entrada-salida deseados del sistema objetivo a ser modelado. Substituyendo cada pareja de datos en la **ecuación 1.19** producirá un conjunto de m ecuaciones lineales:

$$\begin{cases} f_1(u_1)\theta_1 + f_2(u_1) + \dots + f_n(u_1)\theta_n & = & y_1, \\ f_1(u_2)\theta_1 + f_2(u_2) + \dots + f_n(u_2)\theta_n & = & y_2, \\ & \vdots & \\ f_1(u_m)\theta_1 + f_2(u_m) + \dots + f_n(u_m)\theta_n & = & y_m. \end{cases}$$

Usando notación matricial, podemos describir las anteriores ecuaciones de una forma concisa:

Ecuación 1.3 $A\theta = y,$

donde A es una matriz de $m \times n$ (algunas veces llamada **matriz de diseño**):

$$A = \begin{bmatrix} f_1(u_1) & \dots & f_n(u_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f_1(u_m) & \dots & f_n(u_m) \end{bmatrix},$$

θ es vector desconocido de parámetros de $n \times 1$:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix},$$

e y es un vector de salida de $m \times 1$:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}.$$

La i -ésima fila de la matriz unión de datos $[A:y]$, denotado por $[a_i^T:y_i]$, esta relacionado con la i -ésima entrada-salida de la pareja de datos $(u_i;y_i)$ por medio de

$$a_i^T = [f_1(u_i), \dots, f_n(u_i)].$$

Puesto que la mayoría de nuestros cálculos están basados en las matrices A e y , algunas veces nos referimos aproximadamente a $(a_i^T;y_i)$ como el i -ésimo par de datos del conjunto de datos de entrenamiento.

Para identificar el vector desconocido θ de manera única, es necesario que $m \geq n$. Si A es el cuadrada ($m=n$) y no singular, entonces podemos resolver x de la **ecuación 1.20** por

$$\theta = A^{-1}y.$$

Sin embargo, usualmente m es más grande que n , indicando que tenemos mas parejas de datos que parámetros de ajuste. En este caso, una solución exacta para satisfacer todas las m ecuaciones no siempre es posible, puesto que los datos estarán contaminados por ruido o el modelo puede no ser apropiado para describir el sistema objetivo. De este modo la **ecuación 1.20** debe ser modificada incorporando un vector de error e para contar el ruido aleatorio o el modelaje del error, como sigue:

$$A\theta + e = y.$$

Ahora en lugar de encontrar una solución exacta a la **ecuación 1.20**, deseamos encontrar un $\theta = \hat{\theta}$ que minimice la **sumatoria de errores cuadráticos** definido por

Ecuación 1.4
$$E(\theta) = \sum_{i=1}^m (y_i - a_i^T \theta)^2 = e^T e = (y - A\theta)^T (y - A\theta),$$

donde $e = y - A\theta$ es el vector de error producido por la escogencia de un θ específico. Note que $E(\theta)$ esta en la forma cuadrática y tiene un mínimo único en $\theta = \hat{\theta}$. El siguiente teorema declara una condición necesaria que se satisface por el estimador de mínimos cuadrados $\hat{\theta}$.

Teorema Estimador de Mínimos Cuadrados

El error cuadrático en la **ecuación 1.21** es minimizado cuando $\theta = \hat{\theta}$, llamado el **estimador de mínimos cuadrados** (conocido como **LSE**), que satisface la **ecuación normal**

$$A^T A \hat{\theta} = A^T y.$$

Si $A^T A$ no es singular, $\hat{\theta}$ es única y esta dada por

$$\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T y.$$

Una prueba de esto se puede ver en el ejemplo planteado por **[Jang J.-S.R.]** (pag. 106).

2.3 FUNCIONES AUTOCORRELACIONALES

$$\text{Ecuación 1.5 } R_{v,v}(\tau) = M\{[v(t) - \bar{v}] \cdot [v(t+\tau) - \bar{v}]\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \{[v(t) - \bar{v}] \cdot [v(t+\tau) - \bar{v}]\} dt$$

La función correlacional caracteriza el grado de conexión de los valores del proceso que se separan uno del otro en el tiempo τ .

De las **ecuaciones 1.22 y 1.28** se deduce directamente que

$$\text{Ecuación 1.6 } R_{v,v}(0) = \sigma_v^2$$

Cuando se analizan sistemas de control automático, que se encuentran bajo la influencia de perturbaciones estocásticas, la densidad espectral juega un papel importante para el proceso estocástico $S_v(\omega)$, que se define como una transformada doble de furrier de la función autocorrelacional:

$$S_v(\omega) = \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} R_{v,v}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R_{v,v}(\tau) \cos \omega\tau d\tau$$

A su vez la función autocorrelacional puede ser definida como una transformación inversa de furrier de la densidad espectral:

$$R_{v,v}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_v(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega = 2 \int_0^{\infty} S_v(\omega) \cos \omega\tau d\omega$$

Con esta dispersión, como se deduce de la **ecuación 1.23**, se define la expresión

$$\sigma_v^2 = R_{v,v}(0) = 2 \int_0^{\infty} S_v(\omega) d\omega$$

La representación espectral es muy conveniente cuando se estudian transformaciones de procesos estacionarios estocásticos con sistemas lineales. Es conocido que la densidad espectral $S_y(\omega)$ de una señal de salida de un sistema lineal es igual al producto de la densidad espectral $S_x(\omega)$ de una señal de

entrada por el cuadrado del módulo de una función de frecuencia transmisora del sistema:

$$\text{Ecuación 1.7 } S_y(\omega) = S_x(\omega) |W(j\omega)|^2$$

Miremos un proceso estocástico con valor medio igual a cero, que tiene la propiedad tal que las magnitudes $v(t_1)$ y $v(t_2)$ son no correlacionales con valores tan pequeños como se quiera $\tau = t_2 - t_1$, es decir:

$$R_{v,v}(\tau) = 0 \text{ cuando } \tau \neq 0 .$$

La función autocorrelacional de tal proceso, en una forma ideal, se describe de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 1.8 } R_{v,v}(\tau) = V\delta(\tau), \quad V \geq 0$$

donde $\delta(\tau)$ - delta de la función; V - intensidad del proceso.

Tal proceso lleva el nombre de "ruido blanco". La densidad espectral del "ruido blanco" $S_v(\omega)$ puede ser definida con base en la función autocorrelacional (**ecuación 1.25**):

$$S_v(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V\delta(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = \frac{V}{2\pi} = \text{const}$$

En la práctica, la automatización de proyectos industriales, muestra que la función autocorrelacional de muchos procesos estocásticos reales se aproximan mucho a la expresión:

$$\text{Ecuación 1.9 } R_{d,d}(\tau) = \frac{VT_d}{2} e^{-\frac{|\tau|}{T_d}}$$

llamada correlación exponencial.

De esta forma, para la modelación de excitaciones de correlación exponencial puede ser utilizado un sistema lineal como:

$$\text{Ecuación 1.10 } d = A_d d + v(t)$$

excitado por el ruido blanco.

Para los procesos estocásticos vectoriales, supongamos que $v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t) - n$ son procesos estocásticos escalares, posiblemente dependientes, entonces

$$\eta(t) = \text{col}[v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t)]$$

es un proceso estocástico vectorial.

Mirando el proceso estocástico vectorial $\eta(t)$. Entonces

$\eta(t) = M\{\eta(t)\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \eta(t) dt$ - el vector de las esperanzas matemáticas del proceso;

$R_{\eta,\eta}(t_1, t_2) = M\{[\eta(t_1) - \bar{\eta}(t_1)][\eta(t_2) - \bar{\eta}(t_2)]^T\}$ - la matriz de covarianza autocorrelacional

$R_{\eta,\eta}(t, t) = Q_{\eta}(t)$ - Matriz de dispersión.

Para los procesos estocásticos vectoriales las características vistas son constantes.

En conclusión daremos la definición de un proceso normal o de Gauss.

La probabilidad de que un proceso estocástico tome un valor en algún momento fijo de tiempo, que se encuentre en el intervalo $(v; v + dv)$, depende del valor v del momento de tiempo elegido y proporcional a dv , es decir que ella es igual a:

$$p_1(v, t_1) dv.$$

la probabilidad de que e proceso estocástico en el momento de tiempo t_1 , tomara el valor encontrado en el intervalo $(v_1; v_1 + dv_1)$ y en el momento de tiempo t_2 el valor encontrado en el intervalo $(v_2; v_2 + dv_2)$ depende de los valores v_1 y v_2 de los momentos t_1 y t_2 y es proporcional a dv_1, dv_2 , es decir, la probabilidad es igual a:

$$p_2(v_1, t_1; v_2, t_2) dv_1 dv_2.$$

Las funciones $p_1(v, t_1)$ y $p_2(v_1, t_1, v_2, t_2)$ representan correspondientemente la densidad única y doble de la distribución de un proceso estocástico. Análogamente, se pueden definir las densidades conjuntas de una distribución de órdenes superiores.

El proceso estocástico $v(t)$ se llama normal (de Gauss), si la densidad conjunta de una distribución para cualquier conjunto final de magnitudes $v_k = v(t_k), k = 1, n$ es normal.

Notemos que muchos procesos reales estocásticos tienen densidad de distribución, cercanas a cero.

2.4 DISPERSIÓN

Con la Distribución se puede decir y localizar el centro de la misma, pero no se puede decir como se reparten o dispersan los datos a uno y otro lado del centro, esta última característica de una distribución se puede llamar Dispersión o Variación. Si la dispersión es poca, indica gran uniformidad de las partículas en la distribución. Por el contrario, una gran dispersión indica poca uniformidad. La ausencia de dispersión es señal de uniformidad perfecta, lo cual quiere decir que todos los datos de la distribución son idénticos.

Para este trabajo, la dispersión se calcula mediante la siguiente formula, la cual permite tener buenos resultados.

$$\text{Ecuación 1.11 } \sigma_v^2 = M \{ [v(t) - \bar{v}]^2 \} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [v(t) - \bar{v}]^2 dt$$

La dispersión caracteriza la distribución medida de los valores de un proceso estocástico con relación al promedio.

2.5 MEDICIÓN DE LA PREDICCIÓN DEL ERROR

Suponga que tenemos una red neuronal entrenada para realizar predicción en una serie del tiempo. Tenemos una serie de pruebas con la cual evaluar el desempeño de la red entrenada. Usando grupos de puntos conocidos de la serie en prueba, hacemos predicciones. Para cada predicción, sabemos el valor de la serie predecida por la red y el verdadero valor de la serie. El problema ahora es expresar el desempeño de una red de una forma útil.

La mayoría de los algoritmos de entrenamiento de redes neuronales trabajan minimizando el error cuadrático medio de la salida. Naturalmente, esto se hace durante el entrenamiento, en términos de los datos escalados que la red ve realmente. Para nuestro propósito, asumimos que la salida de la red no ha sido escalada, de tal forma que estamos trabajando con datos del problema real.

El error cuadrático medio es calculado encontrando la diferencia entre el objetivo deseado de la salida y la salida alcanzada, elevándolo al cuadrado y sumándolo a través de todas las muestras. La suma es dividida por el número de intentos para dar un valor medio. Si t_i es el valor objetivo (real) de la predicción para el intento de presentación i y o_i es el valor obtenido por la red, el error cuadrático medio para n ensayos de presentación es calculado como:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - o_i)^2$$

Por varias razones técnicas, es usualmente la medición de error más fácil de minimizar. Por lo tanto, a pesar del hecho de que el error cuadrático medio puede no siempre ser el más significativo, es importante entenderlo.

La operación de elevar al cuadrado en la formula anterior, aunque destaca todos los géneros de elegancia matemática, se hace de difícil para los humanos por la interpretación directa del error cuadrático medio. Tomando su raíz cuadrada, obtenemos el Error RMS (error de raíz cuadrada media). Esta medición de error es extremadamente popular. Los ingenieros eléctricos y de comunicaciones están familiarizados con la utilidad de expresar niveles de señal en valores RMSE. Es fácilmente interpretable porque es lineal. Duplicar todos los errores individuales, duplicara el error RMS. De la misma forma, duplicando la operación, cuadruplica el error cuadrático medio, causando dificultad para comparar resultados.

$$RMSEERR = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - o_i)^2}$$

El error RMS es un número absoluto en el que no está directamente relacionado a la magnitud de la predicción de la serie. Un error RMS de 5 es muy pequeño si la serie tiene valores típicos en el orden de los millones, pero es grande si la serie oscila alrededor de 10. Su escala está atada a la unidad de medición de los datos. Así, si se utilizan pulgadas como unidad y luego se enfrenta el mismo problema utilizando milímetros, la comparación de los errores se complica por el hecho de que debemos compensar las diferentes unidades. Para evitar esto, debemos de alguna forma dividir el error por el valor de la serie predicha para obtener un número adimensional. Existen dos formas comunes de hacer esto.

Una forma es expresar el error como una cantidad relativa adimensional, es calcular el valor RMS del término de la serie a ser predicha y usar su razón como medición del error:

$$RELRMSEERR = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (t_i - o_i)^2}{\sum_{i=0}^{n-1} t_i^2}}$$

La fórmula de arriba está influenciada por una constante de compensación de cero. En otras palabras, sumando una constante a la serie, reducirá el error relativo debido a un incremento en el denominador. Algunas veces, la constante de compensación (offset) es significativa y esto es lo que deseamos. Si no, la media de la serie debe ser restada de cada punto de tal forma que trabajemos con la varianza verdadera.

$$RELRMSEERR = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (t_i - o_i)^2}{\sum_{i=0}^{n-1} (t_i - \bar{t})^2}}$$

Cual de estas fórmulas usar es un problema dependiente. El factor determinante es si la constante de compensación de la serie es o no considerada significativa. En la mayoría de los problemas prácticos, no lo es, así que es la última ecuación la más apropiada.

Otra forma menos común de expresar el error como un número relativo adimensional, es dividiendo cada valor de error por el valor objetivo antes de sumarlo. En este caso, se usa el valor absoluto en lugar de elevar al cuadrado como usualmente se hace. Cada término en la suma es la fracción del valor verdadero de la serie representado por el error. La media de estas fracciones es usualmente llamada el error relativo medio (MRE).

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \left| \frac{t_i - o_i}{t_i} \right|$$

Los programas para calcular el error de arriba deben tomar precaución para evitar división por cero. En casi todos los casos en que la fórmula de arriba es apropiada, la serie predecida tendrá cero probabilidades de ser igual a cero. No obstante, una programación cuidadosa debe fijar un valor base en el denominador. Un procedimiento común seguido cuando el denominador es menor que un mínimo predefinido es poner el radio igual al denominador, mejor que dividir el numerador por el valor base. Cual método usar es un problema dependiente, pero ambos deben ser considerados.

La diferencia entre el error RMS relativo (penúltima ecuación) y el error medio relativo (última ecuación) recae principalmente en el denominador. La decisión de cual usar depende de la importancia de la *variación* de las series comparado con el *valor_ actual* de la serie. Si estamos midiendo la posición de una partícula en un flujo turbulento, ya sea que la partícula este en un extremo u otro, o cerca al centro de su rango, es probable que sea de poco interés considerar el error. Probablemente la mayoría de las veces deseáramos comparar el grado de error con el grado de variación en conjunto. Por lo tanto, la penúltima ecuación será más apropiada. Por otro lado, podemos intentar predecir un precio de almacenamiento. En este caso, usando una variación total en el denominador no sería bueno. Sería preferible ser capaz de decir que nuestra predicción del error es una cierta fracción del precio actual. Así, la última ecuación será más apropiada.

La medida del error anteriormente mencionada no significa una lista completa de posibilidades. Otra es la relación señal-ruido. La consideración más importante es el problema en sí mismo ¿Qué queremos medir? Si esto es relativo a cualquier cosa, ¿a qué es relativo?. ¿El propósito de la medición del error tiene sentido?. ¿Puede una persona no experimentada tener al menos una comprensión de su significado? Solamente siendo cuidadoso al responder estas preguntas sus respuestas pueden llegar a ser la mejor forma de describir la predicción del error.

3. EMULACIÓN Y SIMULACIÓN INTELIGENTE DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS

3.1 LÓGICA DIFUSA

Herramienta para modelar la incertidumbre presente en el lenguaje natural y emular los mecanismos de razonamiento aproximado utilizados por el cerebro humano.

3.1.1 *Reseña histórica:*

1965: L. Zadeh aplicó la lógica multivaluada a la teoría de conjuntos, estableciendo la posibilidad de que los elementos pudieran tener diferentes grados de pertenencia a un conjunto

1980: La empresa danesa F.L. Smidth & Company utilizó por primera vez un sistema difuso para supervisar el funcionamiento de un horno de cemento

1987: La empresa japonesa Hitachi desarrolló un sistema de este tipo para el control del metro de la ciudad de Sendai, logrando mayor suavidad en el frenado y aceleración de los trenes y reducir el consumo de energía eléctrica.

La mayoría de tareas básicas que realiza una persona no necesitan un alto grado de precisión para su ejecución. El cerebro humano codifica la información relevante en conjuntos difusos, cuya relación con los datos originales es aproximada. Un sistema de inferencia basado en lógica difusa está formado por un conjunto de reglas del tipo “si x es A entonces y es B”, donde x, y son las variables del sistema, y A, B son términos lingüísticos.

Ejemplo: Si se tiene un tanque con capacidad de 100 litros, se pueden definir tres conjuntos:

A= “tanque lleno”

B= “tanque medio lleno”

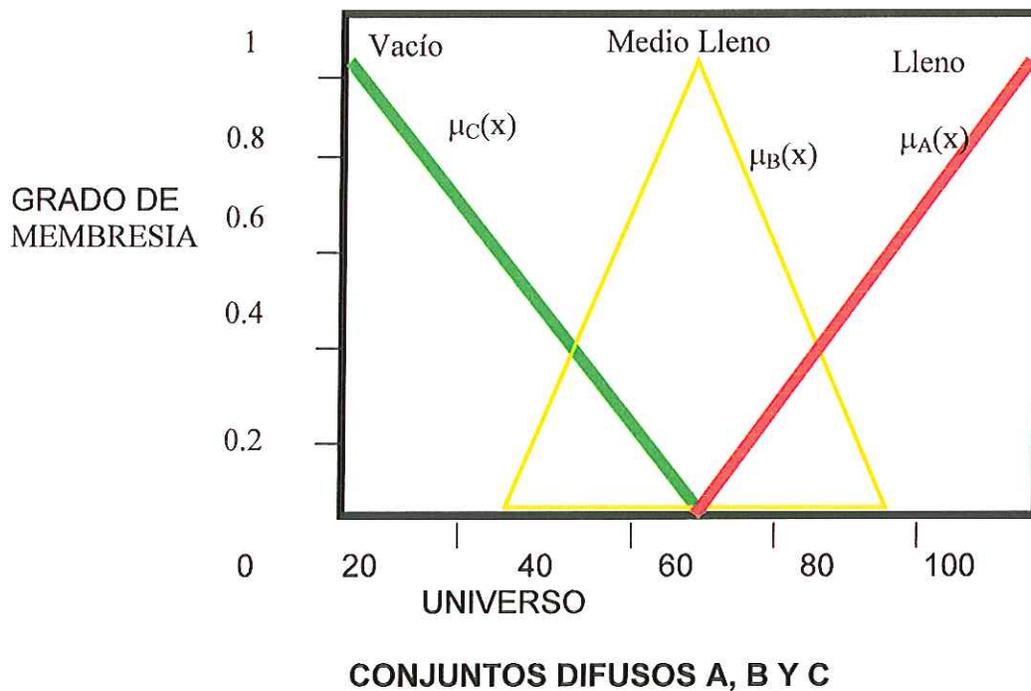
C= “tanque vacío”

Representación de A, B y C como conjuntos difusos:

$A = \{x \in U \mid \mu_A(x) > 0\}$

$B = \{x \in U \mid \mu_B(x) > 0\}$

$C = \{x \in U \mid \mu_C(x) > 0\}$

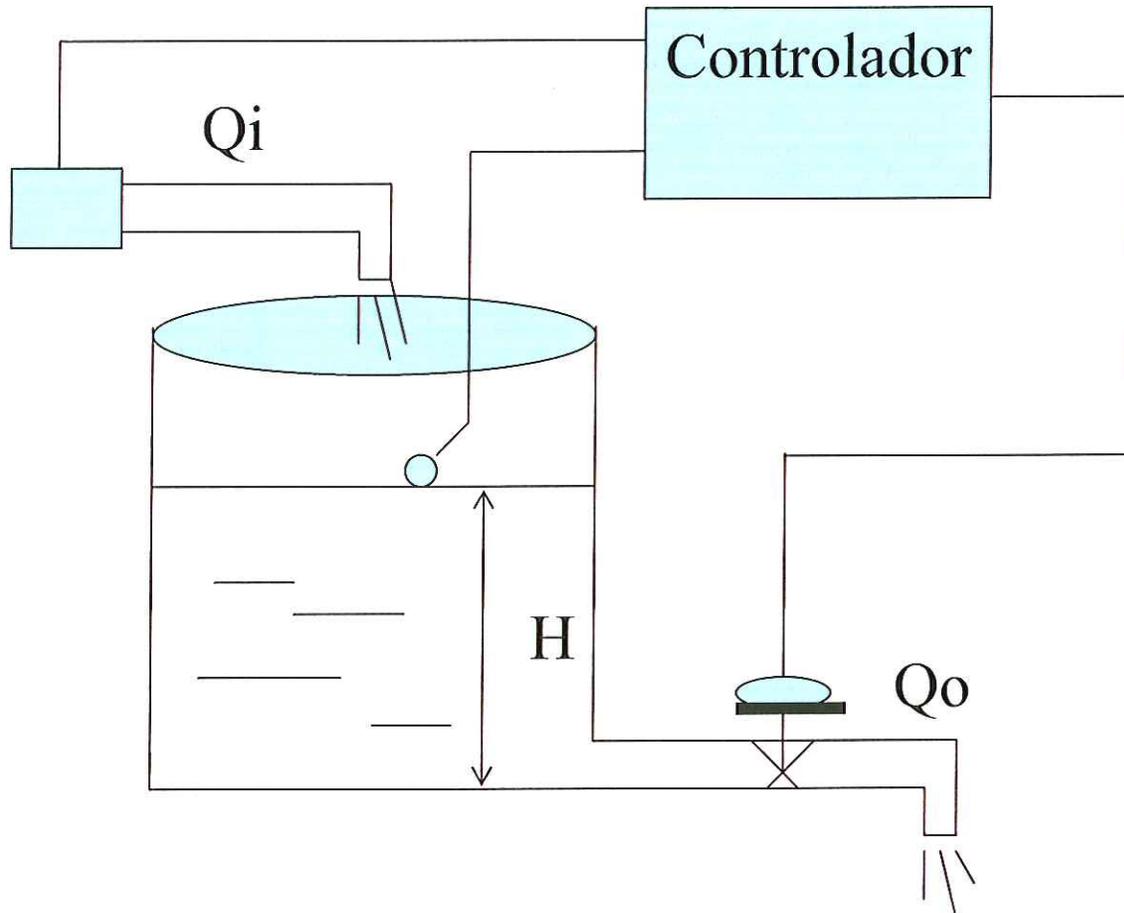


3.1.2 Acciones para la solución de problemas utilizando lógica difusa:

- ✓ Establecimiento de las funciones de pertenencia.
- ✓ Establecimiento de las reglas de acuerdo al funcionamiento del proceso.
- ✓ Fuzzificación, o estudio y evaluación de las reglas.
- ✓ Inferencia o valoración de la acción que se debe emprender.
- ✓ Defuzzificación o conversión a valores válidos para la salida del controlador.

3.1.3 Aplicaciones de la lógica difusa:

- ✓ Informática.
- ✓ Transportes.
- ✓ Industria.
- ✓ Electrodomésticos.
- ✓ Economía.
- ✓ Simulación.
- ✓ Medicina.
- ✓ Microelectrónica.
- ✓ Consumo.



3.1.4 Ejemplo de reglas:

- ✓ Si el nivel es vacío y el caudal es poco, entonces la válvula es cerrada.
- ✓ Si el nivel es lleno y el caudal es poco, entonces la válvula es medio abierta.
- ✓ Si el nivel es medio lleno y el caudal es mucho entonces la válvula es abierta.

3.2 REDES NEURONALES

Redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptivos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico.

3.2.1 Ventajas de las RNA.

- ✓ Aprendizaje adaptativo
- ✓ Autoorganización
- ✓ Tolerancia a fallos
- ✓ Operación en tiempo real
- ✓ Fácil inserción dentro de la tecnología existente

3.2.2 Panorama histórico

1943: Warren McCulloch y Walter Pitts lanzaron una teoría acerca de la forma de trabajar las neuronas y modelaron una red neuronal simple mediante circuitos eléctricos

1949: Donald Hebb escribe el libro "Organization of Behavior", en el que se establece una conexión entre psicología y fisiología.

1957: Frank Rosenblatt comenzó el desarrollo del Perceptrón, modelo de red neuronal capaz de generalizar

1959, Bernard Widrow y Marcial Hoff, de Stanford, desarrollaron el modelo ADALINE (Adaptive LINear Elements)

Primera red neuronal aplicada a un sistema real (filtros adaptivos para eliminar ecos en las líneas telefónicas)

En 1969 surgieron numerosas críticas que frenaron, hasta 1982, el crecimiento que estaban experimentando las investigaciones sobre redes neuronales

1982: John Hopfield presentó su trabajo en la Academia Nacional de las Ciencias, en el que describe con claridad y rigor matemático una red neuronal a la que dio su nombre.

- Se celebró la U.S.- Japan Joint Conference on Cooperative/ Competitive Neural Networks y Fujitsu comenzó el desarrollo de computadoras pensantes para aplicaciones en Robótica.

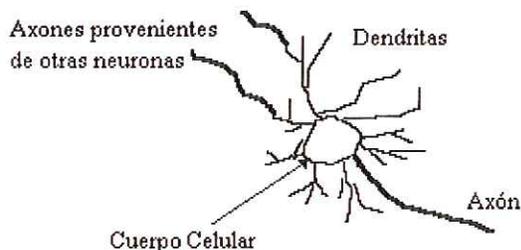
1985: El Instituto Americano de Física comenzó la reunión anual "Neural Networks for Computing"

1987: El IEEE celebró la Primera Conferencia Internacional sobre Redes Neuronales

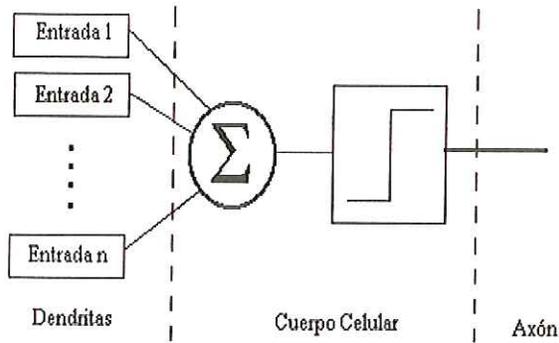
- Se constituyó la International Neural Network Society

1988: Surgió la International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), que produce un número elevado de artículos, muchos de ellos enfocados a una aplicación.

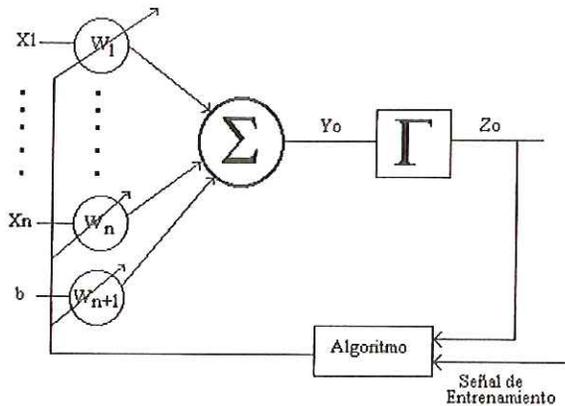
La estructura y modelado de las redes neuronales artificiales está inspirada en la estructura y funcionamiento de los sistemas nerviosos, donde la neurona es el elemento fundamental.



ESQUEMA DE UNA NEURONA



MODELO DE UNA NEURONA ARTIFICIAL



NEURONA ADAPTATIVA

$$Z_o = \Gamma(Y_o)$$

$$Y_o(t) = \sum_{i=1}^n W_i(t)X_i(t) + W_{n+1}(t)b$$

MÉTODOS DE APRENDIZAJE:

- ✓ Supervisado.
- ✓ No supervisado.

3.2.3 Acciones para la solución de problemas utilizando RNA

- ✓ Disposición de un conjunto de datos que incluya la información que permita caracterizar el problema, y de un tamaño adecuado para el entrenamiento y verificación de la red.
- ✓ Toma de decisiones sobre las funciones de activación y transferencia de la red, así como los métodos de aprendizaje.
- ✓ Selección de las herramientas de desarrollo
- ✓ Análisis de la potencia de procesamiento disponible

3.2.4 Aplicaciones de las redes neuronales artificiales

- ✓ Biología.
- ✓ Empresa.
- ✓ Medio ambiente.

- ✓ Finanzas.
- ✓ Industria.
- ✓ Medicina.
- ✓ Militares.

Ejemplo: Reconocimiento de caracteres

Se entrenará una red feed- forward para el reconocimiento de caracteres en presencia de ruido, utilizando backpropagation.

Alfabeto = [letraA, ...,letraZ]
 Objetivo = [1000...0, ...,0000...1]
 Letra A = [0 0 1 0 0
 0 1 0 1 0
 0 1 0 1 0
 1 0 0 0 1
 1 1 1 1 1
 1 0 0 0 1
 1 0 0 0 1]

Letra Z = [1 1 1 1 1
 0 0 0 0 1
 0 0 0 1 0
 0 0 1 0 0
 0 1 0 0 0
 1 0 0 0 0
 1 1 1 1 1]

3.3 ALGORITMOS EVOLUTIVOS

Conjunto de técnicas de resolución de problemas complejos basadas en la emulación de los procesos naturales de evolución.

3.3.1 Panorama histórico

- ✓ Finales de los '60 : John Holland se planteó la posibilidad de incorporar los mecanismos naturales de selección y supervivencia para resolver problemas que resultaban decepcionantemente inabordables mediante computadoras.
- ✓ Mediados de los '80: La aparición de computadoras de amplias posibilidades y bajo costo hace que los algoritmos evolutivos se puedan utilizar con éxito.
- ✓ Actualmente funcionan con éxito aplicaciones industriales de los algoritmos evolutivos.

La finalidad del principio de evolución es la "supervivencia del más apto", el modo de conseguirlo es por "adaptación al entorno". Los más aptos tienen más posibilidades de sobrevivir y, como resultado, más oportunidades de transmitir sus

características a las generaciones siguientes.

3.3.2 Estructura general de un algoritmo evolutivo.

```
Begin
  P[0] = InitPob(); Población inicial
  Apt P[0] = EvalPob(P[0]); Aptitudes iniciales
  for( t = 0; t != MaxNumGen; t++) {
    Q[t] = Selec Rep De (P[t]); Selección de reproductores
    Q[t] = Transform(Q[t]); Reproducción
    AptQ[t] = EvalPob(Q[t]);
    P[t] = SelSob (P[t],Q[t],Apt P[t],Apt Q[t]);
    Apt P[t] = EvalPop(P[t]); Se evalúa la nueva población
    if( ChkCondTerm (P[t],Apt P[t]) ) Condición de terminación
      return;
  }
EndAlgorithm
```

3.3.3 Operadores básicos.

- ✓ Selección
- ✓ Cruce
- ✓ Mutación

3.3.4 AG Simple. Operador de Selección

Consiste en la copia de las cadenas que representan a los individuos según la función de aptitud, es decir, una variante artificial de la selección natural.

3.3.5 AG Simple. Operador de Cruce.

1011		1110	→	1011	0011
1001		0011	→	1001	1110

3.3.6 AG Simple. Operador de Mutación.

1111	0000
↓	
1111	1000

3.3.7 Acciones para la solución de problemas utilizando AEs

- ✓ Seleccionar la forma en que se representarán las soluciones posibles y de acuerdo a esta decidir el tipo de algoritmo a utilizar.
- ✓ Seleccionar la función o índice que indicará la calidad de cada posible solución.
- ✓ Determinar los operadores genéticos y parámetros del algoritmo que se utilizarán.
- ✓ La mejor solución obtenida en el proceso de evolución corresponderá al resultado brindado por el algoritmo.

3.3.8 Aplicaciones de los algoritmos evolutivos

- ✓ Identificación y control de sistemas:
- ✓ Diseño de turbinas multietapa, control de redes de distribución de gas, planificación de tareas, cálculo de estrategias de mercado, corte de piezas con mínimo desperdicio.
- ✓ Robótica.
- ✓ Reconocimiento de patrones.
- ✓ Reconocimiento de voz.
- ✓ Diseños de ingeniería.
- ✓ Sistemas clasificadores.
- ✓ Ejemplo: Identificación de sistemas
- ✓ Elegir y construir el modelo del sistema a identificar.
- ✓ Seleccionar la función o índice que indicará la fuerza de cada posible solución.
- ✓ Elegir una regla para codificar, en un cromosoma, los parámetros a estimar.
- ✓ Determinar los operadores genéticos que se utilizarán, y si es necesario desarrollar aquellos que se necesiten.
- ✓ Determinar los valores para los parámetros que controlan el AG.
- ✓ Hacer los experimentos necesarios.

3.4 CLONACIÓN ARTIFICIAL

Réplica, Imitación reproducida por generaciones "operadores genéticos" que incluye:

- ✓ Cruce (intercambio de información entre dos sistemas),
- ✓ Mutación (generación de nueva información en un sistema),
- ✓ Inversión (intercambio información en un mismo sistema).

Con el uso de estas técnicas es posible diseñar y construir sistemas inteligentes que solucionan problemas con una calidad superior a la lograda mediante otros métodos o imposibles de resolver en algunos casos.

Tendencia actual: Fusión de las técnicas de inteligencia computacional para aprovechar las ventajas de cada una, creándose los llamados sistemas híbridos.

No existe prácticamente ninguna esfera importante en la que no representen una vía a explorar para el logro de mejores condiciones para la humanidad.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología utilizada para la Clonación Artificial de Sensores mediante Redes Neuronales lógica fuzzy y Mapeo Genético, consiste en el diseño, análisis e implementación de algoritmos y sistemas basados en herramientas de inteligencia artificial e incluyen:

4.1 DISEÑO ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS Y SISTEMAS DE CONTROL.

Muchos problemas de optimización del mundo real se reducen a la consideración de un solo criterio, mientras que en otros problemas es necesario evaluar varios criterios. Estos últimos son conocidos como problemas multicriterios o multiobjetivos. En el primer caso, simplemente se busca la mejor solución que pueda asumir la función objetivo predefinida. En los problemas multiobjetivos la noción de optimización no es tan obvia, esto es debido a que vamos a obtener grupos de soluciones que cumplan muy bien algunos criterios, pero no así otros, por lo cual debe existir un mecanismo para lograr que todos los criterios se cumplan, creándose así la necesidad de alcanzar un compromiso. Es decir, lo que se busca es diseñar, analizar y evaluar algoritmos y sistemas de control, de tal manera que la solución final sea la que mejor integre ese conjunto de objetivos.

El problema de evaluación de funciones multiobjetivos ha sido objeto de muchas investigaciones. Las técnicas de optimización convencional, tales como los métodos basados en gradiente, y unos menos convencionales, tales como recocido simulado, son difíciles de extender a casos verdaderamente multiobjetivos, ya que estos no fueron diseñados para evaluar esto. Los AGs han sido reconocidos como apropiados para la optimización multiobjetivos por emplear individuos, los cuales permiten buscar múltiples soluciones en paralelo, según cada uno de los objetivos que se persiga.

En este trabajo, se agrupan los enfoques multiobjetivos basados en AG's en dos grupos, los inspirados en la teoría de Pareto y los basados en la manipulación de la población como subpoblación. A continuación se presentan cada uno de los enfoques.

4.2 ENFOQUES BASADOS EN LA MANIPULACIÓN DE LA POBLACIÓN

En este caso existen cinco enfoques, algunos de los cuales están basados en la división de la población, y otros en la evaluación de cada uno de los objetivos en la población total. A continuación se describen cada uno de ellos.

- Enfoque 1:

Se divide la población según el número de objetivos que contenga la función objetivo. Así, para un problema con n objetivos, n subpoblaciones de tamaño N/n pueden ser generadas, asumiendo un tamaño de población N . Luego, se pone a iterar un AG en cada subpoblación con una función objetivo diferente y se seleccionan los mejores individuos, esto para asegurar que cada función objetivo es evaluada. Después, se asigna prioridad (clasificación) a las funciones objetivo, esto dependiendo del problema a resolver. Finalmente, se va seleccionando cada función según su prioridad y se evalúa sobre cada subpoblación, esto se realiza hasta evaluar todas las funciones objetivo. Para asegurar la diversidad, se va haciendo un reemplazo parcial (p.e. $X\%$) de los peores individuos en cada subpoblación.

- Enfoque 2:

Se divide la población según el número de objetivos que contenga la función objetivo. Así, para un problema con n objetivos, n subpoblaciones de tamaño N/n pueden ser generadas, asumiendo un tamaño de población N . Luego se pone a iterar un AG en cada subpoblación y se seleccionan los mejores individuos. Como resultado se obtienen las soluciones parciales $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$. La unión de dichas soluciones permitirán conformar una nueva población global, a la cual se le aplica una función objetivo seleccionada aleatoriamente, así, hasta un cierto número de iteraciones (fijado como criterio de convergencia) para asegurar que cada función objetivo se evalúe dentro de la población global con un elevado grado de confianza. Para asegurar la diversidad, se va haciendo un reemplazo parcial (p.e. $X\%$) de los peores individuos en cada subpoblación.

- Enfoque 3:

Se generan subpoblaciones y se evalúan como en los casos anteriores. Después, se seleccionan los mejores individuos de cada subpoblación. Esta selección es de solamente los individuos que tengan el mínimo valor de la función objetivo, que se este evaluando en esa subpoblación. El número de individuos que se seleccionan en cada subpoblación, es tomado como información para definir el coeficiente que ponderará a cada uno de los componentes de la función multiobjetivo. Finalmente, se genera la población global con la unión de cada una de las subpoblaciones y se evalúa usando la función multiobjetivo (FMO) ponderada según los valores previamente determinados.

- Enfoque 4:

Se considera desde un principio toda la población (no hay subdivisión). Se selecciona aleatoriamente la función objetivo a evaluar, asegurándose que todas las funciones objetivo sean evaluadas un número mínimo de veces (parámetro a definir). La selección de la función objetivo debe realizarse de dos formas:

1. Se escoge aleatoriamente según probabilidad que va disminuyendo.
2. Se escoge cíclicamente.

- Enfoque 5:

En este enfoque se aplican los AGs dos veces, primero para optimizar los pesos o coeficientes que ponderan los elementos de la función multiobjetivo, luego para optimizar el espacio de soluciones o población presentada por el problema a resolver usando la FMO previamente definida. Para calcular los coeficientes, la población inicial de la primera fase es evaluada con cada función objetivo y se determina el número de individuos que dan solución mínima, ese será el coeficiente de ponderación de esa función objetivo en la función multiobjetivo.

4.3 ENFOQUES BASADOS EN LA TEORÍA DE PARETO.

La optimización multiobjetivo (MO) busca optimizar un conjunto de criterios (vector de costos). A diferencia de la optimización de un único objetivo, la solución a este problema no es un único punto, sino una familia de puntos conocida como el "Conjunto Óptimo de Pareto". Cada punto en esa superficie es óptimo en el sentido de que no pueden realizarse mejoras en un componente del vector de costo que no conduzca a la degradación en al menos uno de los componentes restantes.

La noción de optimalidad de Pareto es sólo un primer paso hacia la solución práctica de un problema multiobjetivos, el cual, usualmente envuelve la escogencia de una única solución compromiso del conjunto no dominado, de acuerdo a alguna información de preferencia. Cada elemento en el "Conjunto Óptimo de Pareto" constituye una solución no-inferior para el problema multiobjetivos. Veamos las siguientes definiciones:

4.4 CONCEPTO DE INFERIORIDAD:

Un vector $u = (u_1, \dots, u_n)$ se dice es inferior a $v = (v_1, \dots, v_n)$, si v es parcialmente menor que u ($v \leq u$); es decir:

$$\forall i = 1, \dots, n, v_i \leq u_i \wedge \exists i = 1, \dots, n : v_i < u_i$$

4.5 CONCEPTO DE SUPERIORIDAD (NO-INFERIORIDAD):

Un vector $u = (u_1, \dots, u_n)$ se dice es superior a $v = (v_1, \dots, v_n)$ si v es inferior a u .

Para obtener soluciones no-inferiores se pueden usar los siguientes métodos estadísticos: Enfoque de Sumas Ponderadas, Método de Restricción y programación de objetivos. Otra manera puede ser usando AGs. Así, manteniendo una población de soluciones, los AGs pueden buscar muchas soluciones no-inferiores en paralelo. Esta característica hace a los AGs muy atractivos para resolver problemas de optimización multiobjetivos usando la teoría de Pareto.

En este caso, el enfoque permite definir el AG en dos fases. En la primera fase se clasifican los individuos en dominados o no dominados (No-inferiores), para cada una de las funciones objetivo que conforman la función multiobjetivo. En la segunda fase, se utilizan los individuos no dominados como los padres para la fase de reproducción.

4.6 PROCESO DE CLONACIÓN

De acuerdo a cada enfoque se conciben cinco etapas que componen el proceso de clonación de sensores artificiales. Las etapas son:

Etapas 1: en esta etapa se seleccionan los dispositivos a clonar. Se divide la población según el número de objetivos dados en unidades operativas funcionales; el conjunto de unidades operativas es llamada función objetivo. Por ejemplo, para un número de N dispositivos que constituyen la población y un número de n unidades operativas, se divide la población en subpoblaciones acorde con las unidades, cuyo tamaño es N/n . Luego, se itera con un algoritmo genético cada subpoblación con una función objetivo diferente con el fin de seleccionar los mejores individuos; esto es, para asegurar que cada función objetivo sea evaluada. Después, se asigna prioridad (clasificación jerárquica) a las funciones objetivo dependiendo del problema a resolver. Finalmente, se selecciona cada función según su prioridad y se evalúa sobre cada subpoblación. Esto se realiza hasta evaluar todas las funciones objetivo. Para asegurar la diversidad, se reemplazan los peores individuos en cada subpoblación.

Etapas 2: en esta etapa se obtienen las soluciones parciales $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ por cada unidad operativa. La unión de dichas soluciones permitirá conformar una nueva población global, a quien se aplica una función objetivo seleccionada aleatoriamente. Esto es un proceso repetitivo hasta un cierto número de iteraciones (fijado como criterio de convergencia) para asegurar que cada función objetivo se evalúe dentro de la población global con un elevado grado de confianza.

Etapa 3: en esta etapa, en cada subpoblación se seleccionan los individuos que tengan el mínimo valor de la función objetivo que se evalúa. El número de individuos que se seleccionan (por cada subpoblación) es tomado como información para definir el coeficiente que ponderará a cada uno de los componentes de la función multiobjetivo (el conjunto de unidades operativas diferentes). Finalmente, se genera la población global como la unión de cada una de las subpoblaciones y se evalúa usando la función multiobjetivo ponderada según los valores previamente determinados.

Etapa 4: en esta etapa se selecciona la función objetivo a evaluar, de entre las unidades operativas que componen la función multiobjetivo. Debe asegurarse que todas las funciones sean evaluadas un definido mínimo número de veces.

Etapa 5: en esta etapa se realiza un proceso de optimización de los pesos y espacios propios de las soluciones parciales obtenidas en la etapa 3 usando la función multiobjetivo resultante en la etapa 4. Luego, se determina el número de individuos que dan una solución mínima; es decir, que satisfacen el coeficiente de ponderación de las funciones objetivos con respecto a la función multiobjetivo. Esto representa el dispositivo clonado.

5. ALTERNATIVAS PARA PREDECIR EL IV – IR

La medición de la calidad de los productos requiere control en línea y frecuentemente no está disponible o presenta grandes retrasos. Las técnicas de sensores de software o sensores inteligentes son métodos atractivos y eficientes para predecir dichas variables. Hoy en día hay tres clases de aproximaciones para construir modelos usados como sensores por software en los procesos: modelos mecánicos, modelos de regresión estadística y modelos de inteligencia artificial. Debido a la no linealidad, complejidad e incertidumbre de los procesos químicos en la práctica, no es fácil obtener modelos mecánicos. Los modelos basados en métodos estadísticos de manejo de datos o las redes neuronales artificiales proveen una alternativa útil en este campo.

La aproximación típica al modelo de manejo de datos ha sido el modelaje no lineal con un modelo simple. Para el modelo basado en redes neuronales artificiales, hay muchos métodos de selección de estructuras óptimas y así obtener el menor error predictivo. Estos modelos con frecuencia tienen baja robustez y problemas de sobredimensionamiento. Pero en principio, dado que no hay restricciones en el tamaño de la red y hay suficientes datos, se puede encontrar una red neuronal artificial para resolver el problema dado, aún cuando en la práctica y con frecuencia, los problemas industriales se pueden definir usando una cantidad limitada de datos altamente confiables más que por las capacidades de generalización de la red.

Hoy es ampliamente aceptado que la predicción combinada sea una simple, pragmática y sensible forma de producir mejores predicciones. Arquitecturas de modelos múltiples combinadas con el algoritmo FCM (fuzzy c-means clustering) que separa un conjunto de datos entrenados en varios grupos (clusters) con diferentes centros, en donde cada subconjunto es entrenado por la función de red de base radial (radial basis RBFN) o por el algoritmo de mínimos cuadrados parciales (PLS); se ha encontrado que el uso del algoritmo PLS es indicado para el manejo de datos limitados y el desempeño del RBFN es indicado para modelar sistemas no lineales complejos con cantidad suficiente de muestras. De acuerdo con esta idea, los modelos basados en PLS son construidos por un subconjunto de pocas muestras, mientras que el modelo basado en RBFN está construido por un subconjunto de muchas muestras.

En este trabajo se presenta el modelo propuesto por **[H.A.B. Te Braake, G. Van Straten]** y otros, permitiendo combinar diferentes arquitecturas por el algoritmo de RAWN (Random Activation Weight Network, red de activación de pesos aleatorios).

Luego aplicamos el método a un problema práctico de modelar la obtención de la calidad del refinado con un sensor virtual de índice de refracción, por el cual se infiere el índice de viscosidad de una planta de extracción de aceites lubricantes con fenol. Todos los resultados demuestran la promesa de esta aproximación en el mejoramiento del modelaje de sensores no lineales por software.

5.1 SENSORES INTELIGENTES

Un uso cada vez más frecuente de las redes neuronales artificiales, en áreas relacionadas con el control de procesos, lo constituye el desarrollo de sensores virtuales o sensores inteligentes, basados en modelos no lineales. Este tipo de aplicaciones es muy útil para el control inferencial y el seguimiento de variables críticas en los procesos. Se fundamenta en establecer un modelo de red neuronal que permita inferir valores de variables de proceso de difícil medición en función de otras variables de fácil medición y continua, utilizando instrumentos sencillos y robustos como transmisores de presión, temperatura, nivel y flujo. En general las variables de difícil medición tales como el Índice de Viscosidad y el Índice de Refracción requieren analizadores fuera de línea, introduciendo retardos o costosos analizadores en línea que requieren frecuentes calibraciones.

Si la red neuronal está bien entrenada, estos sensores virtuales se pueden utilizar también para la estimación dinámica de variables de estado en controladores basados en modelos, como variable controlada en el control convencional usando PID y para monitorear el funcionamiento de los analizadores.

Muy frecuentemente en las torres de destilación, las composiciones de cima y fondo se infieren midiendo solamente temperaturas en platos cercanos a la cima y al fondo de la torre. Esto es aceptable, para sistemas binarios con un buen control de la presión, pues en estos casos existe una relación bien definida entre la temperatura y la composición. Para el caso de multicomponentes, esta relación no está bien definida y por lo tanto la incorporación de otras variables de proceso, mediante el uso de un sensor virtual, mejora notablemente la inferencia continua de la composición u otra propiedad de interés y por lo tanto el comportamiento de los sistemas de control.

El comportamiento no lineal de estos procesos de la industria petroquímica, los convierte en ejemplos interesantes para el estudio y uso de las redes neuronales como sensores inteligentes.

5.2 REDES NEURONALES CON ALIMENTACIÓN HACIA ADELANTE.

La red neuronal a ser considerada, es una red neuronal con alimentación hacia adelante, con una capa oculta (ver **figura 19**), la cual puede ser expresada de la siguiente forma, la entrada para la función de activación no lineal está dada por:

$$\text{Ecuación 1.1 } z_j(k) = \sum_{i=1}^{N_i} W_{ij}^h x_i(k) + b_j^h$$

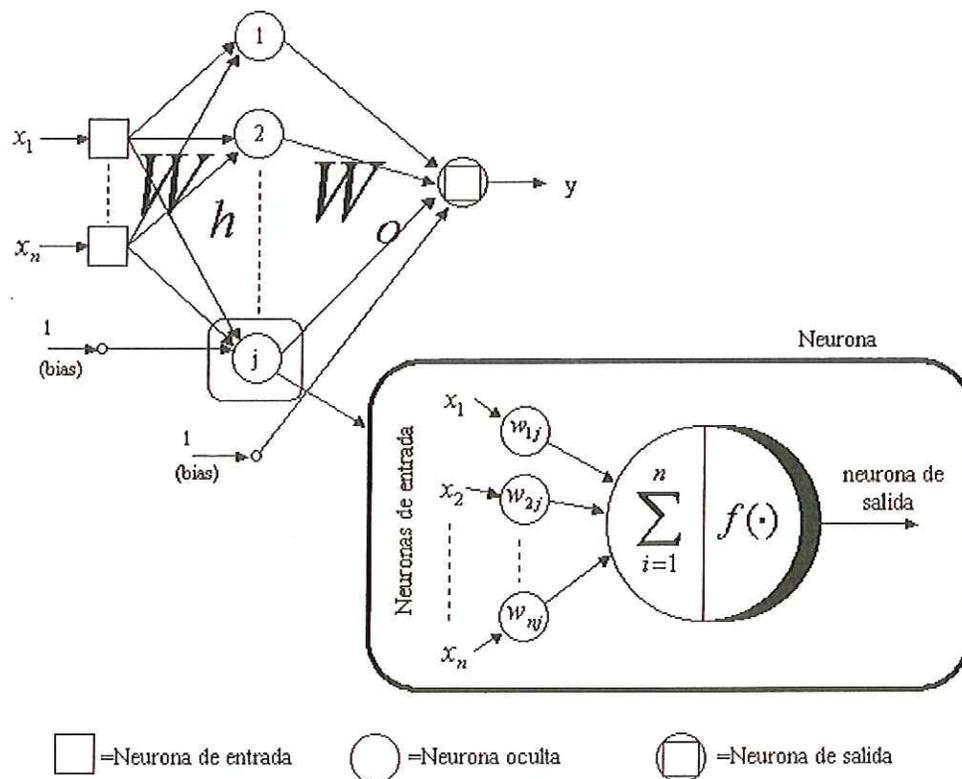
Donde W_{ij}^h es el peso de activación entre la entrada i y la neurona j . El índice k denota el k -ésimo evento. N_i es el número de entradas y N_h es el número de neuronas en la capa oculta. La salida de la neurona de la capa oculta está dada por:

$$\text{Ecuación 1.2 } v_j(k) = f(z_j(k)).$$

La salida de la red neuronal completa está dada por:

$$\text{Ecuación 1.3 } y_i(k) = \sum_{j=1}^{N_h} W_{ji}^o v_j(k) + b_i^o$$

Figura 20 Ejemplo de una red neuronal alimentada hacia adelante. Los detalles muestran la también llamada “neurona de McCulloch-Pitts”



Los pesos W_{ij}^h son llamados los pesos de “activación” y los pesos W_{ji}^o los pesos de “salida”. El ajuste de activación es denotado como b^h y el ajuste de salida como

b^0 . La función $f(\cdot)$ es llamada la función de activación. Esta función puede ser cualquier función sigmoïdal o Gaussiana. En este tratamiento se utiliza la función \tanh . Esta función tiene las siguientes propiedades:

$$\tanh(t) \rightarrow \begin{cases} 1, \text{ para } t \rightarrow +\infty \\ -1, \text{ para } t \rightarrow -\infty \end{cases}$$

La derivada de la $\tanh(x/e)$, $e > 0$, está dada por $(1/e)(1 - \tanh^2(x/e))$ y converge en la función de DIRAC a medida que $e \rightarrow 0$, o él $\lim_{e \rightarrow +0} (1/e)(1 - \tanh^2(x/e)) = \delta(x)$

Este teorema dice que para un $\delta > 0$ arbitrario existe una red neuronal de alimentación hacia delante con máscara oculta, con una no constante incrementándose continuamente y con una función de activación ilimitada que se mapea como una función de entrada y salida:

$$y = \tilde{f}(x_1, \dots, x_n) \text{ de tal forma que } \max_{x \in K} |f(x_1, \dots, x_n) - \tilde{f}(x_1, \dots, x_n)| < \varepsilon$$

(K es un subconjunto compacto de \mathfrak{R}^n y $f(x_1, \dots, x_n)$ es una función continua de valores reales en K). Note que este problema no especifica cuantas neuronas se requieren o cuales son los valores de los pesos que deben tener con el fin de alcanzar una barrera de aproximación pre-especifica. Ahora definimos la siguiente matriz de entrada:

$$X = [x(1), x(2), \dots, x(k), \dots, x(N_e)]^T$$

Donde $x(k) = [x_1(k) \dots x_i(k) \dots x_{N_i}(k) 1]$ es el vector de entrada (incluyendo uno usado para los bias) y N_e es el número de los llamados eventos. La matriz de salida se da igualmente como:

$$Y = [y(1), y(2), \dots, y(k), \dots, y(N_e)]^T$$

Donde $y(k) = [y_1(k) \dots y_{N_o}(k)]$ es el vector de salida.

La red neural puede ser expresada concisamente por:

$$Z = X.W^h \quad [N_e \times N_h]$$

$$\text{Ecuación 1.4 } V = f(Z) \quad [N_e \times N_h]$$

$$Y = V_b.W^0 \quad [N_e \times N_o]$$

Las matrices Z y V contienen resultados intermedios. La matriz $V_b \in \mathcal{V}^{N_e \times (N_h + 1)}$ es igual a $V \in \mathcal{V}^{N_e \times N_h}$, excepto que una columna con unos se adiciona para expresar el ajuste de salida b^0 . El conjunto V es un conjunto compacto real con valores entre -1 y 1 . Los pesos de activación se agrupan juntos en una matriz $W^h \in \mathfrak{R}^{(N_h + 1) \times N_h}$ y los pesos de salida en una matriz $W^0 \in \mathfrak{R}^{(N_h + 1) \times N_o}$.

5.3 LA RED NEURONAL CON ACTIVACIÓN DE PESOS ALEATORIOS (RAWN)

La función de aproximación general puede ser obtenida por redes neuronales retroalimentadas consistentes de sólo una capa oculta y neuronas no lineales. La innovación descrita en este documento es que el entrenamiento de los pesos entre las entradas y la capa oculta no se requiere. Tomando estos pesos de activación como aleatorios, el problema resultante es lineal en parámetros y puede ser fácilmente resuelto por métodos ordinarios estándar de mínimos cuadrados. Aquí se demuestra que utilizando tales redes con pesos de activación aleatoria (RAWNs), se puede obtener un excelente mapeo, siempre y cuando los pesos de activación sean escogidos de tal forma de que la matriz de regresión no sea singular. Se pueden alcanzar mejoras más adelante por regularización y con la selección adecuada de la señal de excitación usada para el entrenamiento. Se halla que: (i) se obtienen errores mucho más pequeños comparado con las redes de backpropagation utilizando los mismos grados de libertad, (ii) el mapeo depende sólo un poco de los valores reales de los pesos ocultos, a condición de que la red tenga suficientes neuronas y (iii) debido a que no se necesitan iteraciones, la velocidad de computación es incomparablemente más rápida que el backpropagation. Estas propiedades hacen que la red RAWN sea particularmente adecuada para aplicaciones de control.

Las redes neuronales estáticas pueden ser vistas como un mapeo no lineal conveniente del espacio de las variables independientes al espacio de las variables dependientes. Un tipo de red neuronal de alimentación hacia adelante particularmente útil, consiste de una capa oculta con función de activación sigmoideal, no lineal y una capa de salida con una solución de activación lineal. La relación entrada-salida de este tipo de red neuronal puede ser descrita como:

$$\text{Ecuación 1.5 } y_p(k) = \sum_{j=1}^{N_h} W_{jp}^o f \left(\sum_{l=1}^{N_i+1} W_{lj}^h x_l(k) \right)$$

donde $x_l, l = 1, \dots, N_i$ es la entrada,

$x_{N_i+1} = 1$ es una entrada prefijada,

$y_p, p = 1, \dots, N_o$, es salida,

$j, j=1, \dots, N_h$ indica el número de neuronas en la capa oculta

W^h, W^o Son los pesos de la matriz en la capa oculta y la capa de salida, respectivamente.

El índice $k, k = 1, \dots, N_e$ representa el número de evento o índice de tiempo.

La función $f(\cdot)$ Es una función de transición sigmoideal.

Ha sido demostrado teóricamente por **[Cybenko]** que este tipo de red puede aproximar cualquier función continua a cualquier precisión siempre que existan suficientes neuronas. Los elementos de los pesos en las matrices W^o y W^h puede ser vistos como parámetros que deben ser encontrados para obtener un

acercamiento aceptable a los datos disponibles. Este proceso es llamado "entrenamiento". El procedimiento usual para entrenar redes neuronales en adelante, es utilizando backpropagation. A pesar de las mejoras tales como la aceleración, rata de aprendizaje adaptativo [Drago], y redes auxiliares [Fortuna], el backpropagation es lento y tiene propiedades de convergencia pobres.

Recientemente, un número de documentos ha enfocado el entrenamiento de redes neuronales continuas de alimentación hacia delante, como un problema de estimación de parámetros [Singhal, Scalero]. Se han reportado mejoras significantes en velocidad y convergencia. También, están disponibles esquemas recursivos [Chen, Billings]. Cualquiera que sea el procedimiento, se necesita gran cantidad de datos fuera de línea para obtener errores residuales aceptables. Por ello, a pesar del progreso significativo, el entrenamiento de las redes neuronales sigue siendo el cuello de botella en las aplicaciones de control en tiempo real.

Una red neuronal del tipo descrito en la **ecuación 1.7** con N^i entradas, N_h neuronas en la capa oculta y N^o salidas, tiene $(N_i + 1) * N_h + (N_h + 1) * N_o$ pesos. De este modo, para cualquier utilidad práctica, el número de parámetros llega a ser muy grande. Puesto que, además, la red es no lineal, la hiper-superficie del criterio de error como función de los parámetros puede tener una forma muy irregular y usualmente tiene muchos mínimos locales. A pesar del hecho de obtener un buen mapeo con cualquiera de las funciones de arriba, no hay garantía de encontrar el mínimo global. De hecho, es bastante probable que el mínimo obtenido sea un mínimo local; y así la red será usada solamente con mapeo en el rango de calibración, asegurándose que posea buenas propiedades de Interpolación local. La forma clásica para probar el desempeño es revisando la salida contra el segundo conjunto de datos independientes.

La novedad básica descrita en este trabajo es obtener muy buenos mapeos tomando tan sólo los pesos aleatoriamente en la capa oculta. En tal caso, la estimación de los pesos en la capa de salida, se vuelve lineal en los parámetros y por lo tanto puede ser fácilmente resuelta por métodos ordinarios estándar de mínimos cuadrados (OLS). Una red construida en esta forma puede ser llamada como red con pesos de activación aleatorios (RAWN). Se demuestra que con algunas precauciones, las redes RAW pueden entrenarse por OLS con excelente desempeño sin la necesidad de iteraciones. Esta propiedad es particularmente útil para aplicaciones de control.

5.3.1 El entrenamiento por OLS

La **ecuación 1.11** de la red neuronal, puede ser escrita de una manera más conveniente en forma de matriz. Agrupando los vectores de entrada en una matriz, con una fila por cada evento $X = (x(1)...x(k)...x(N_e))^T$, y la salida definida por:

$Y = (y(1)...y(k)...y(N_e))^T$, la red neuronal puede ser escrita como:

$$\begin{aligned} Z &= XW^h \quad [N_e * N_h] \\ \text{Ecuación 1.6 } U &= f(Z) \quad [N_e * N_h] \\ Y &= UW^o \quad [N_e * N_o] \end{aligned}$$

Sea Y_d los datos de salida en el conjunto de entrenamiento perteneciente a la entrada X , Y_d puede ser considerada como general por el proceso

$$\text{Ecuación 1.7 } Y_d = UW^o + e$$

Donde e es un término de error. Suponga, además, que los pesos W^h fueron fijados; entonces el entrenamiento de la red equivale a encontrar los pesos W^o que minimizan la diferencia entre la salida de la red neuronal $Y = (UW^o)$ y la salida objetivo Y_d . Este es un problema ordinario de mínimos cuadrados. Dado que la matriz U es de rango completo (esto es, tiene rango N_h), la solución de mínimos cuadrados es:

$$\text{Ecuación 1.8 } W^o = (U^T U)^{-1} U^T Y_d$$

La matriz U tiene que ser una matriz con N^h columnas independientes lineales. Si no, la matriz $(U^T U)^{-1}$ es singular y no existe una solución para la **ecuación 1.14**. Si U fuera formada de Z por una función lineal, U tendría el rango de Z . puesto que XW^h es un producto externo, Z está construido con columnas linealmente independientes. Consecuentemente, U no será de rango completo. Sin embargo, en el caso de una función de activación no lineal, U será de rango completo debido a que varias columnas dependientes de Z son transformadas en una forma no lineal, dado que no hay dos columnas en Z que sean exactamente las mismas. Lo último es fácilmente alcanzable tomando los pesos de activación W^h aleatoriamente. Para mostrar esto, considere el caso donde los pesos son generados aleatoriamente con una distribución normal con $E(w) = \mu$ y $(w) = \sigma^2$, donde w representa un elemento de la matriz W^h . La probabilidad de que una w particular sea generada, denotada por \bar{w} , puede ser calculada usando la siguiente igualdad [**Kreyszig**]:

$$\begin{aligned} P[w = \bar{w}] &= \lim_{\delta \rightarrow 0} P[\bar{w} - \delta < w \leq \bar{w} + \delta] \\ \text{Ecuación 1.9} \quad &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \int_{\bar{w}-\delta}^{\bar{w}+\delta} f(v) dv = 0 \end{aligned}$$

La función continua f es la probabilidad de la función densidad. Este resultado afirma que la probabilidad de obtener un peso exactamente igual a \bar{w} es igual a cero. Ahora asuma que las columnas de la matriz X son linealmente independientes y conocidas a prior. Entonces la probabilidad de obtener una cierta columna \bar{z} de la matriz Z es:

$$\text{Ecuación 1.10 } P[z = \bar{z}] = P\left[\bigcap_{k=1}^{N_e} \left[\sum_{l=1}^{N^i} x_{kl} w_{lj}\right]\right] \leq P\left[\bigcap_{k=1}^{N_e} \left[\bigcup_{l=1}^{N^i} x_{kl} w_{lj}\right]\right]$$

Aplicando las expresiones

$$P\left[\bigcap_{i=1}^{N_e} A_i\right] = [A_1]P[A_2|A_1]..$$

Ecuación 1.11 $P[A_n|A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_{Ne-1}]$

$$P\left[\bigcap_{i=1}^{N_e} A_i\right] = \sum_{i=1}^{N_i} P[A_i]$$

a la entrada correspondiente N_i y N_e términos de eventos A_i de la ecuación 1.16, podemos concluir que $P[z = \bar{z}] = 0$, debido a que al menos un término de la parte baja del lado derecho de la expresión de la ecuación 1.16 llegará a ser 0 debido a la ecuación 1.15. Si la probabilidad de obtener una cierta columna \bar{z} es igual a cero, entonces la probabilidad de obtener dos columnas iguales es también igual a cero, debido a que $P[B|A] \leq P[A]$.

5.3.2 Procedimiento de Entrenamiento

Dada una red neuronal de alimentación hacia adelante con solo una capa oculta, los elementos de las matrices de pesos W^h y W^0 son parámetros que deben ser encontrados con el fin de obtener un ajuste aceptable de los datos disponibles, este proceso es llamado entrenamiento. En los casos de las redes neuronales de alimentación hacia adelante, el entrenamiento no es nada más que encontrar el mínimo local o global de las siguientes funciones de criterio:

$$j(W^h, W^0) = \|e\|^2$$

Donde e es un vector con errores de modelamiento y $\|\cdot\|$ es el vector normalizado estándar Euclidiano.

Los métodos de entrenamiento más comúnmente usados, tales como el método de propagación hacia atrás o Levenberg–Marquardt, son métodos basados en gradientes, así estos métodos tratan de encontrar el mínimo descendiendo en la dirección del gradiente negativo [Hassoun]. Los métodos de entrenamiento basados en gradientes tienen dos desventajas principales, primero, la rutina de búsqueda puede quedarse estancada en el mínimo local y segundo, el entrenamiento basado en gradiente es un procedimiento iterativo posiblemente resultando en tiempos de entrenamientos largos antes de que se encuentre el mínimo. En esta sección el esquema RAWN alternativo se desarrolla con el único objetivo de acelerar el proceso de entrenamiento, sin embargo, ambas aproximaciones pueden aun resultar en soluciones sub-óptimas. La aproximación al entrenamiento de las redes neuronales de pesos por activación reguladas se basa en la división del problema en dos subproblemas mutuamente independientes que pueden ser resueltos óptimamente [Braake 1996]. Sin embargo, no implica que el problema sea resuelto total y óptimamente aunque la aplicación del método propuesto en varios procesos reales haya mostrado que los

resultados satisfactorios pueden ser obtenidos, el primer subproblema es la estimación de los pesos de activación W^h , el segundo subproblema es la estimación de los pesos de salida W^0 . Como se mostrará de esta manera los subproblemas resultantes tienen parámetros lineales y la solución puede ser encontrada por algoritmos no iterativos rápidos. Esquemáticamente el procedimiento puede ser dividido en los 2 siguientes pasos:

El cálculo de los pesos de activación W^h .

El cálculo de los pesos de la salida W^0 .

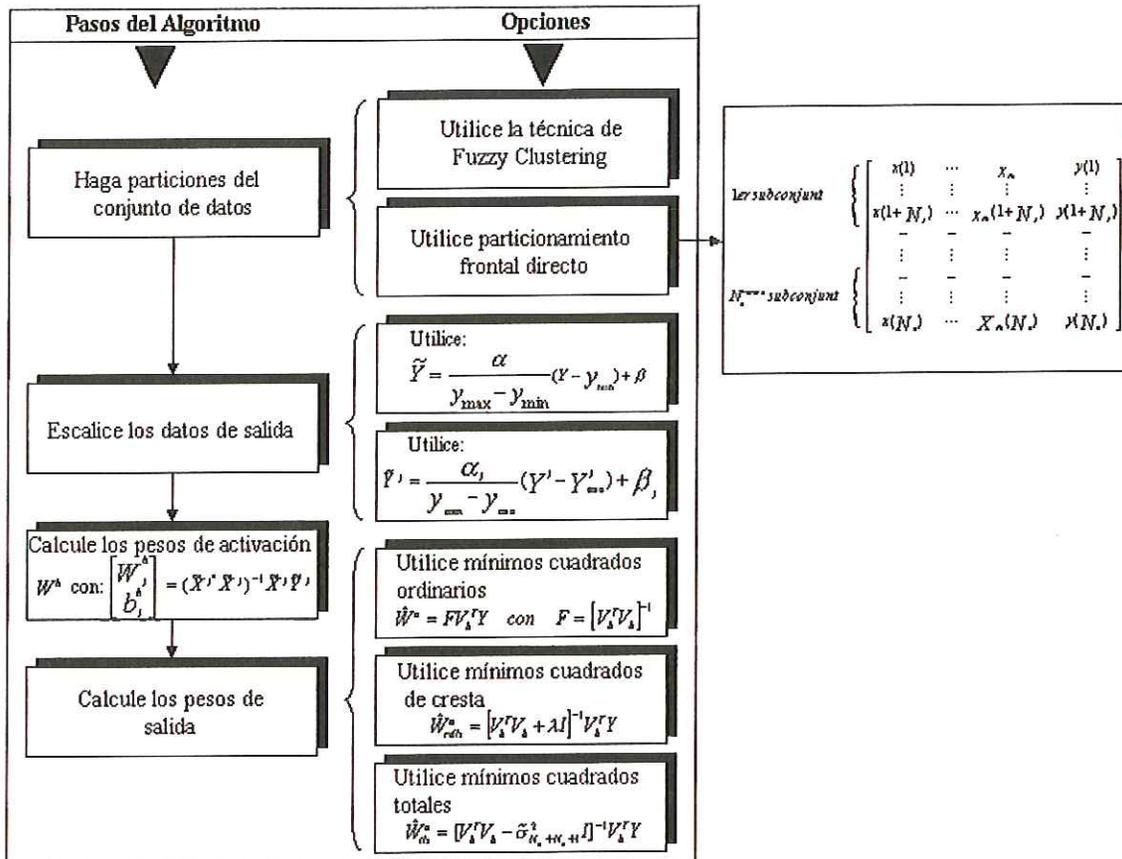
Cada paso puede ser dividido en diferentes acciones y cálculos, en la figura 1.21 mostramos un resumen de la aproximación total del RAWN. La primera parte del algoritmo tiene que ver con la estimación de los pesos de activación, esto se basa en la construcción de modelos lineales locales, pero para construir estos modelos lineales, el conjunto de datos primero necesita ser particionado en diferentes subconjuntos, los cuales serán utilizados para la estimación de un modelo lineal local particular, para evitar la saturación de la función de activación, estos subconjuntos necesitan ser escalizados, este es el segundo paso del algoritmo, el tercer paso es, con los parámetros de estos modelos locales lineales que deben ser calculados por técnicas cuadráticas lineales. Los parámetros resultantes de los modelos lineales locales se utilizan como los pesos de activación de la red neuronal. Ahora que los pesos han sido calculados, el último paso del proceso de entrenamiento RAWN es la estimación de los pesos de salida por técnicas cuadráticas lineales estándar. Debe resaltarse en este punto que el algoritmo total no necesita iteraciones en principio a través del conjunto de datos. Cada uno de estos pasos mencionados de construcción deben ser ejecutados solo una vez.

5.3.3 Regulación de los Pesos de Activación

El primer paso es el cálculo de los pesos de activación. Se ha demostrado [Te Braake y Van Straten (1995)] que tomando los pesos aleatoriamente, es decir, la aproximación de redes de pesos por activación aleatoria ya se han obtenido resultados de entrenamiento satisfactorios. Una exclusión a esta aproximación se describe aquí, las aproximaciones lineales por partes se utilizarán para escoger los pesos de activación, de allí que se le llaman redes de pesos de activación

reguladas. Precauciones como la escogencia de W^h deben ser tomadas debido a que la matriz Z en la ecuación 1.10 debe satisfacer las condiciones generales con el fin de garantizar que la salida cuadrática del problema de activación de pesos, es decir, el segundo subproblema pueda ser resuelto.

Figura 21 Resumen del algoritmo RAWN para entrenar una red neuronal alimentada hacia adelante con una capa oculta



Entonces Z^* permanece después de borrar todas las filas iguales de Z . Es decir, si existen columnas de Z que son iguales unas a otras, entonces estas columnas también serán iguales en la matriz V . En ese caso V no es de rango completo.

5.3.4 Funciones de Activación

Entre las unidades o neuronas que forman una red neuronal artificial existe un conjunto de conexiones que unen unas a otras. Cada unidad transmite señales a aquellas que están conectadas con su salida. Asociada con cada unidad U_i hay una función de salida, $f_i(a_i(t))$ que transforma el estado actual de activación $a_i(t)$ en una señal de salida $y_i(t)$, es decir:

$$y_i(t) = f_i(a_i(t))$$

El vector que contiene las salidas de todas las neuronas en un instante t es:

$$Y(t) = (f_1(a_1(t)), f_2(a_2(t)), \dots, f_i(a_i(t)), \dots, f_N(a_N(t)))$$

En algunos modelos esta salida es igual al nivel de activación de la unidad, en cuyo caso la función f_i es la función identidad, $f_i(a_i(t)) = a_i(t)$. A menudo, f_i es de tipo sigmoideal, y suele ser la misma para todas las unidades.

Existen cuatro funciones de transferencia típicas que determinan distintos tipos de neuronas: Función escalón, Lineal y mixta, Sigmoideal y Gaussiana.

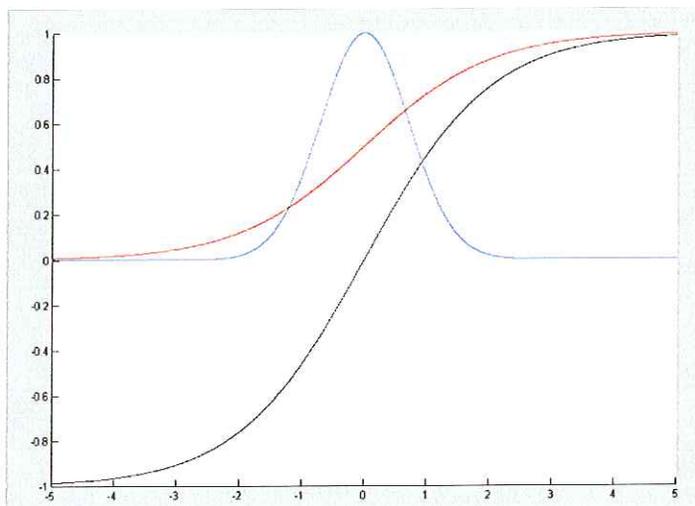
La función escalón o umbral únicamente se utiliza cuando las salidas de la red son binarias (dos posibles valores). La salida de una neurona se activa solo cuando el estado de activación es mayor o igual que cierto valor umbral. La función lineal o identidad equivale a no aplicar función de salida. Se usa muy poco. Las funciones mixtas y sigmoideal son las más apropiadas cuando queremos como salida, información analógica.

Neuronas de función Sigmoideal

Cualquier función definida simplemente en un intervalo de posibles valores de entrada, con un incremento monótonico y que tenga ambos límites superiores e inferiores (por ejemplo, las funciones sigmoideal o arco tangente), podrá realizar la función de activación o de transferencia de forma satisfactoria.

Con la función sigmoideal, para la mayoría de los valores del estímulo de entrada (variable independiente), el valor dado por la función es cercano a uno de los valores asintóticos. Esto hace que en la mayoría de los casos, el valor de salida este comprendido en la zona alta o baja del sigmoide. De hecho, cuando la pendiente es elevada, esta función tiende a la función escalón. Sin embargo, la importancia de la función sigmoideal (o cualquier otra función similar) es que su derivada es siempre positiva y cercana a cero para los valores grandes positivos o negativos; además, toma su valor máximo cuando x es 0. Esto hace que se puedan utilizar las reglas de aprendizaje definidas para las funciones escalón, con la ventaja, respecto a esta función, de que la derivada esta definida en todo el intervalo. La función escalón no podía definir la derivada en el punto de transición, y esto no ayuda a los métodos de aprendizaje en los cuales se usan derivadas.

Figura 22 Funciones de Activación Continua



Sigmoide	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$	(rojo)
Tanh	$f(x) = \frac{1 - e^{-ax}}{1 + e^{-ax}}$	(negro)
Gauss	$f(x) = e^{-ax^2}$	(azul)

Función de transferencia Gaussiana

Los centros y anchura de estas funciones pueden ser adaptados, lo cual las hace más adaptativas que las funciones sigmoideas. Mapeos que suelen requerir dos niveles ocultos, utilizando neuronas con funciones de transferencia sigmoideas; algunas veces se pueden realizar con un solo nivel en redes con neuronas de función gaussiana.

5.3.5 Estimación de los pesos de activación por aproximaciones lineales

Aquí se explicará la estimación de los pesos de activación W_h . El acercamiento de la estimación se basa en asumir que una función no lineal puede ser aproximada por una secuencia de funciones lineales basada en estimaciones cuadráticas lineales de los parámetros de las partes lineales. Los parámetros en estas ecuaciones entonces podrán ser usados como los elementos de W_h . Así cada neurona se le asigna a un subconjunto específico del conjunto de datos completo y la red se construye asignando secuencialmente una neurona a cada uno de los subconjuntos. El número de neuronas es el mismo, como el número de los subconjuntos bajo consideración. La aproximación puede ser aplicada a ambos problemas SISO y MISO.

Suponga una red neuronal de alimentación hacia delante que debe cumplir una cierta función estática $y=f(x)$, $X \in \mathbb{R}^{N_i}$ y $y \in \mathbb{R}$. Luego un conjunto de datos Φ puede estar creado con pares de entrada y salida medidos o la matriz indicada:

$$\Phi \begin{bmatrix} x_1(1) & \cdots & x_{N_i}(1) & y(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1(k) & \cdots & x_{N_i}(k) & y(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1(N_e) & \cdots & x_{N_i}(N_e) & y(N_e) \end{bmatrix} = [XY]$$

El índice k denota el evento k th. Particionando la matriz Φ en N_h subconjuntos es posible construir un modelo lineal para cada subconjunto

$\Phi_j = [X_j, Y_j]$, con $\Phi_j \subset \Phi$ y $j \in \{1, \dots, 2, \dots, N_h\}$. El modelo lineal entonces

estará dado por: $\bar{Y}_j = X^j W_j^h + b_j^h$

Los pesos y $W_j^h (W_j^h \in R^{Nix1})$ puede ser calculada con OLS (cuadráticos ordinarios):

$$\begin{bmatrix} W_j^h \\ b_j^h \end{bmatrix} = (\tilde{X}^{jT} \tilde{X}^j)^{-1} \tilde{X}^j \tilde{Y}^j$$

En esta ecuación \tilde{X}_j es la matriz X_j suministrada con una columna extra llenada con unos para los bias b_j^h . \tilde{Y}_j es una matriz escalar Y^j con las siguientes propiedades:

$$\max_k (|\tilde{y}^j|) < C$$

con el valor de c donde $|df/dz| = \varepsilon$ (f es la función de activación y ε es un escalar real positivo pequeño).

Cada función lineal describe el mapeo entre la entrada y la salida para un subconjunto particular n. Finalmente después de calcular N_n modelos lineales, la matriz W^h se construye como:

$$W^h = \begin{bmatrix} W_1^h & W_2^h & \dots & W_j^h & \dots & W_{N_h}^h \\ b_1^h & b_2^h & \dots & b_j^h & \dots & b_{N_h}^h \end{bmatrix} \in \mathfrak{R}^{(N_j+1) \times N_h}$$

5.3.6 Particionamiento del conjunto de datos

Aquí describimos el particionamiento y la escalización de la matriz Φ . Se exponen dos métodos de particionamiento de esta matriz: la aproximación de particionamiento uniforme y la aproximación de Fuzzy Clustering.

El primer método no iterativo de particionamiento del conjunto de datos Φ simplemente es dividir el conjunto de datos en N_h intervalos:

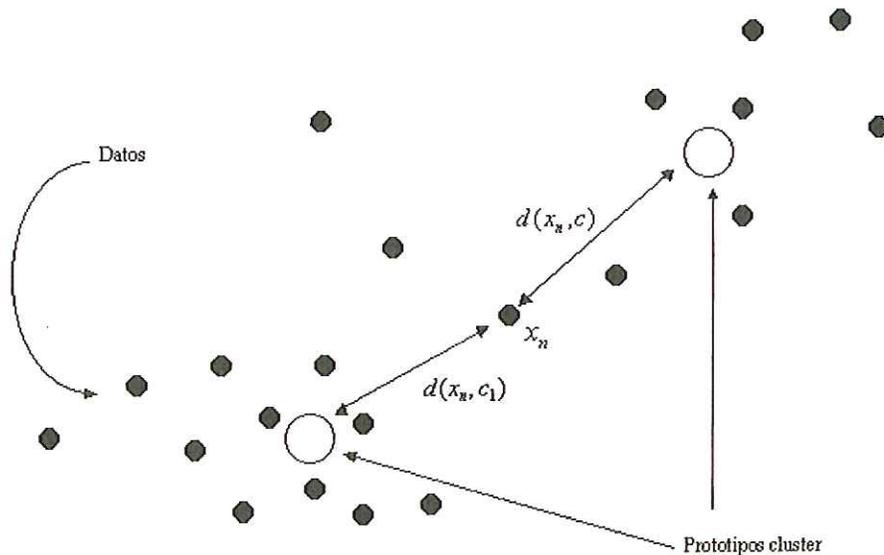
$$\begin{array}{l}
1er\ subconjunto \\
\\
\\
\\
\\
\\
N_h^{-ésimo}\ subconjunto
\end{array}
\left\{ \begin{array}{l}
\left[\begin{array}{cccc}
x(1) & \cdots & x_{Ni} & y(1) \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
x(1+N_j) & \cdots & x_{Ni}(1+N_j) & y(1+N_j) \\
- & - & - & - \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
- & - & - & - \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
x(N_e) & \cdots & X_{Ni}(N_e) & y(N_e)
\end{array} \right]
\end{array} \right.$$

Para simplificar N_j es igual a N_e/N_h , redondeado hacia el entero más cercano. Si N_j no es un entero, o cuando haya relativamente pocos pares de datos disponibles, entonces las particiones pueden superponerse. Esta aproximación se espera que sea razonable si la entrada y la salida tienen un cambio suave sobre los eventos, como se da en el caso de muchos problemas con no linealidades suaves, por ejemplo en diferenciales.

Si la entrada y la salida no tienen un cambio suave y uniforme en el conjunto de datos Φ o cuando existen saltos en el conjunto de datos, se pueden utilizar algoritmos de Fuzzy Clustering para encontrar particiones útiles del conjunto de datos [Babuska y Verbruggen, 1994]. Con respecto a la partición de los conjuntos de datos, el concepto de membresía por grados (membresía Fuzzy) puede ser utilizado para representar el grado al cual un objeto dado representado por un vector de características es similar a cierto prototipo, por ejemplo, punto, línea hiper plano, elipsoide. El grado de similitud entre un punto y el prototipo se puede calcular utilizando una medida de distancia escogida adecuadamente.

Basados en esta similitud los datos pueden ser particionados de tal forma que los datos dentro de un cluster son tan similares como sea posible o tan cercanos, y los datos de diferentes cluster sean lo más distintos posibles. Este resultado en un vector con prototipo de cluster y una matriz con grado de membresía de los puntos de datos con respecto a los diferentes cluster. En la **figura 22** que se muestra a continuación se da un ejemplo de un conjunto de datos que debe ser particionado en dos partes, con los prototipos C1 y C2, que para este caso son simplemente puntos.

Figura 23 Principio de Clustering



El clustering resultante en una matriz de partición Fuzzy puede ser expresada como:

$$U = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{k1} & \mu_{k2} \\ \vdots & \vdots \\ \mu_{Ne1} & \mu_{Ne2} \end{pmatrix}$$

Esta matriz le asigna a cada punto de datos X_k un valor μ_{kj} expresando el valor de la membresía de ese punto al cluster prototipo C_j .

Existen varias técnicas de clustering o particionamiento pero aquí usaremos la técnica de clustering Fuzzy de Gustafson-Kessel. El prototipo usado en el algoritmo G-K es un punto, y la norma que induce la medida de distancia es una variable la cual también debe ser optimizada. Por lo tanto se tiene la habilidad para adaptar la forma del cluster. Este detecta la estructura del cluster en vez de imponer una estructura predefinida, así es posible detectar una mezcla de forma de cluster tal como la esférica, elipsoide, lineal o plana [Dave 1992].

Para proceder permita que $C = \{C_j | j=1,2,\dots,N_h\}$ sea el prototipo de cluster N_h ésimo y los R^{N_i+1} , $C_j = (C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{j(N_i+1)})$. La matriz U es llamada matriz de partición Fuzzy, y sus elementos $[\mu_{kj}]$ representa un grado de membresía del punto de datos ϕ^k dentro del cluster C_j . Posteriormente, $U = [\mu_{kj}], K=1,2,\dots, N_e$ y $J=1,2,\dots, N_h$ con $\mu_{kj} \in [0,1]$. Φ^k no debe ser confundida con ϕ_j , el cual es un

subconjunto de la matriz de datos Φ . El algoritmo G-K busca una partición óptima Fuzzy U y un vector prototipo C minimizando la función objetivo siguiente:

$$j(\Phi, C, U) = \sum_{j=1}^{N_h} \sum_{k=1}^{N_e} \mu_{kj}^m D_2(\phi_k, C_j)$$

donde $m > 1$ es un parámetro que controla el fuzziness del cluster, usualmente $m=2$. La función $D(\phi_k, C_j)$ es la distancia del punto de datos Φ_k al prototipo de cluster C_j , inducido por una matriz definida positiva M_j :

$$D_2(\Phi_k, C_j) = (\Phi_k - C_j) M_j (\Phi_k - C_j)^T$$

donde M_j se calcula como el inverso normalizado de la matriz covariante del cluster F_j :

$$M_j = \det(F_j)^{-1} / (N_j - 1) (F_j - 1)$$

La matriz covariante del cluster F_j :

$$F_j = \frac{\sum_{k=1}^{N_e} \mu_{kj}^m (\Phi_k - C_j)(\Phi_k - C_j)^T}{\sum_{k=1}^{N_e} \mu_{kj}^m}$$

La matriz con partición Fuzzy estará dada entonces por:

$$\mu_{kj} = \left\{ \sum_{j=1}^{N_h} \frac{D_{jk}}{(D_{kl})^{2/(m-1)}} \right\}^{-1}, \quad 1 \leq j \leq N_h, \quad 1 \leq k \leq N_e$$

y el prototipo de cluster se calcula con:

$$C_j = \frac{\sum_{k=1}^{N_e} \mu_{kj}^m \Phi_k}{\sum_{k=1}^{N_e} \mu_{kj}^m}, \quad 1 \leq j \leq N_h$$

En [Babuska y Verbrugen (1995)] se da una descripción del algoritmo. Las particiones fuzzy obtenidas pueden ser utilizadas para estimar los pesos de activación, similar al caso de un particionamiento obtenido del conjunto de datos. Claro está que el algoritmo G-K necesitará más tiempo de calculo, pero si el conjunto de datos no está uniformemente distribuido y si los datos no cambian gradualmente y suavemente, este método es más útil para encontrar las particiones.

5.3.7 Escalización Interna

Antes de calcular los pesos de activación y los bias, es necesario escalar Y_j , el cual es la salida particionada, o Y con el fin de evitar una matriz mal acondicionada ($V_b^T V_b$). Claro está que esto puede ser realizado escalizando el conjunto de datos de entrada / salida directamente, sin embargo esto no es necesario. Existen diversas maneras para evitar una matriz mal acondicionada ($V_b^T V_b$), una breve descripción de algunos métodos de escalización interna se estarán dando. El primero y más simple método es escalar la matriz Y de acuerdo a:

$$\tilde{Y} = \frac{\alpha}{y_{\max} - y_{\min}} (Y - y_{\min}) + \beta$$

Con Y_{\max} y Y_{\min} siendo los máximos y los mínimos valores de Y , respectivamente. Y_{\min} es un vector del mismo tamaño que Y , y llenado con el valor Y_{\min} . Las variables α y β son parámetros para cambiar el resultado de escalización. Utilizando la ecuación anterior, α puede ser vista como la ganancia y β como el offset desde cero; típicamente ellos pueden ser escogidos como 1 y -0.5 respectivamente. Y entonces será escalizado (\tilde{Y}) entre -0.5 y $-0.5+1$. Note sin embargo que esta escogencia depende de la aplicación en que vaya a ser modelada.

Otra aproximación está en escalar la información por neurona:

$$\tilde{Y}^j = \frac{\alpha_j}{y_{\max} - y_{\min}} (Y^j - Y_{\min}^j) + \beta_j$$

Donde α_j y β_j pueden ser escogidas diferentes para cada neurona, y así para cada partición. Esta aproximación puede ser utilizada para realizar una sintonización fina de la capacidad de modelamiento. Ambas aproximaciones de escalización son sensibles a falsos ruidos. Si existe datos falsos, entonces la escalización basada en la variación y el significado de la señal de salida puede superponerse a este problema (estandarización).

El último método que describiremos actualiza α_j y β_j iterativamente. El procedimiento primero toma un α_j y β_j inicial, y luego calcula las columnas de W_h y W_0 de acuerdo a las ecuaciones mostradas. Luego, α_j y β_j son ajustadas en la dirección del gradiente negativo, de tal forma que la ecuación de la función de criterio completa disminuye, y W_h y W_0 se estiman nuevamente hasta que el criterio se cambia por menos del valor preespecifico. El método utilizado es el Quasi- Gauss-Newton.

Note que este método de escalización tiene una influencia directa en los pesos de activación, y por lo tanto no es necesario para el usuario escalizar el conjunto de datos de entrada y salida. En efecto, el usuario no ve los resultados de la escalización interna y así tampoco tiene que preocuparse sobre los parámetros de escalización.

5.3.8 Estimación de los Pesos de Salida

Como se ha mencionado anteriormente el propósito es de dividir el problema de entrenamiento en dos subproblemas que puede cada uno ser resueltos óptimamente. El cálculo de W_0 será analizado a continuación. Los pesos W_h ya son conocidos, y por lo tanto V_b también es conocido. Entonces, suponga que la salida verdadera puede estar modelada por: $Y = V_b W_0 + e$ lo cual resulta en un problema de estimación de parámetros que contiene parámetros lineales. El vector e denota el error de modelamiento. Este error se asume de ser independiente del vector de entrada V_b , y tiene una varianza homogénea σ^2 y significa $\mu = 0$. El minimizar la suma de errores de modelamiento cuadrático pueden ser vistos como encontrar una proyección ortogonal del vector de error y del vector de entrada, o:

$$V_b^T [Y - V_b W_0] = 0$$

Este resultado es bien conocido en ecuaciones normales, y puede ser escrita de otra forma como:

$$\tilde{W}_0 = F V_b^T Y \quad \text{Con } F = [V_b^T V_b]^{-1}$$

La línea encima de W indica el factor de que la variable relacionada es la estimación de esta variable. La matriz simétrica $V_b^T V_b$ debe ser no singular, de otra manera la matriz $[V_b^T V_b]^{-1}$ no existirá. Esto implica que V_b debe tener un rango $N_h + 1$. Mas aun sobre el teorema de Gau ^{β} -Markov, se puede mostrar que, asumiendo una e , esta estimación es el mejor estimador lineal sin bias para W_0 . La varianza del error puede ser estimada únicamente por el siguiente estimador sin bias :

$$S^2 = \sigma^2 = \frac{1}{r} [Y - V_b W_0]^T [Y - V_b W_0]$$

donde r es un entero que expresa los grados de libertad del modelo, o el número de puntos de datos (N_e) menos el número de regresores ($N_h + 1$). Mas formalmente,

$r = \dim(Y) - \dim(\langle V_b \rangle)$, donde $\langle V_b \rangle$ es el espacio de envergadura de los vectores de V_b . La varianza de la estimación de los pesos de salida particulares se pueden calcular con: $\text{cov}(W_0) = S^2 F$.

Como se ha mencionado anteriormente, la estimación cuadrática ordinaria, da un

estimado de un bias y tiene la propiedad de varianza mínima, por ejemplo, no contiene la varianza mínima de todos los estimadores lineales no bias. Sin embargo, no existe un límite superior en la varianza del estimador y la presencia de multicolinealidad puede producir largas varianzas, es decir, algunas columnas de regresores son casi linealmente dependientes, lo cual resulta en una matriz

casi singular $V_b^T V_b$. Así para preservar la falta de un bias puede resultar una gran varianza. La presencia de multicolinealidad sugiere que la red debe contener menos neuronas de activación. No existe suficiente información en los datos del regresor para garantizar el modelamiento con neuronas N_h la solución es decrementar el número de neuronas de activación, en términos de, por ejemplo, análisis de principio de componentes. Otra solución es el uso de los llamados estimadores Ridge, resultante de la estimación de bias de los parámetros [Myers, 1986].

La estimación bias se utiliza para obtener una reducción substancial en la varianza, con un incremento acompañado en la estabilidad de los coeficientes de regresión. La base para tal problema de regresión por bias es la siguiente función de criterio, el cual también es llamado el problema de regresión cuadrática regularizada:

$$J(W_h, W_0) = \|e\|^2 + \lambda \|W_0\|^2$$

Así, no solo es pesado el modelo de error, pero también la magnitud de los pesos se obtienen. El estimador de regresión ridge resultante es [Myers, 1986]:

$$\hat{W}_{rds}^o = [V_b^T V_b + \lambda I]^{-1} V_b^T Y$$

(el sufijo rds denota: ridge least squares). Otra solución para el problema de la multicolinealidad es el uso del análisis de principio de componentes.

En vez de usar un criterio ordinario cuadrático, es posible utilizar un criterio que no solo tenga en cuenta los errores en las salidas, pero también para errores en las entradas. Un criterio útil para este propósito es el criterio total cuadrático [Golub y Van Loan, 1980; Van Huffel y Vandewalle, 1991]:

$$\hat{W}_{tls}^o = [V_b^T V_b - \tilde{\sigma}_{N_h + N_o + 1}^2 I]^{-1} V_b^T Y$$

El sufijo tls significa "total least squares". en esta ecuación $\sigma_{2N_h + N_o + 1}^2$ es el menor valor singular de la matriz $[V_b; Y]$. Los valores singulares pueden ser calculados utilizando la descomposición de valor singular dada por:

$$[V_b; Y] = \Sigma \Pi^T$$

donde la matriz Σ contiene los vectores singulares de la izquierda y Π contiene los valores singulares de la derecha. La matriz Σ es una matriz diagonal donde los elementos diagonales σ_i son los valores singulares ordenados de la matriz $[V_b; Y]$. La relación entre el OLS y el TLS estimado está dado:

$$\hat{W}_{0tls} = [I - \sigma^2 N_h + N_0 + 1 (V_b^T V_b)^{-1}]^{-1} \hat{W}_0.$$

también se puede demostrar que se cumple lo siguiente:

$$\|\hat{W}_{0tls}\|_F \geq \|\hat{W}_0\|_F$$

donde $\|\cdot\|_F$ denota la norma Frobenius. De esto se puede concluir que para aplicaciones de redes neuronales el estimador TLS no se espera que sea muy importante. mas aun el estimador TLS es un estimador bias. Debido al factor de que un término extra de bias es adicionado a las neuronas, un problema mezclado OLS-TLS aún sigue remanente.

La red RAWN ha sido probada en varios problemas de modelamiento prácticos. Aunque la aproximación es más que todo, una forma heurística de entrenar redes neuronales estas pruebas demuestran que se pueden obtener resultados razonables de una manera muy rápida. Estas pruebas también han demostrado en algunos casos que la aproximación TLS no se desempeñó con suficiencia. La aproximación de Ridge Least Squares dio buenos resultados pero la sintonización del λ no fue muy correcta. Para todos los problemas cuadráticos lineales el método OLS es muy utilizado para resolver este tipo de problemas.

En resumen, el algoritmo RAWN apunta a la minimización del tiempo de entrenamiento de redes neuronales de realimentación con una sola capa oculta. Esencialmente, el algoritmo está dividido en 2 partes: (1) estimación de los pesos de activación; (2) estimación de los pesos de salida. Ambos problemas de estimación pueden ser resueltos óptimamente aplicando algoritmos existentes, desarrollados para problemas lineales. Aunque no se haya probado, el principal objetivo es que la combinación de las dos soluciones resultará en una solución subóptima del problema de entrenamiento total. Haciendo esto, un enorme decremento en los tiempos resultantes de cómputo, con capacidades de modelamiento comparables a aquellas de las redes entrenada con métodos de optimización iterativa de tipo gradiente. Solo cuando 2 opciones especiales en la aproximación son utilizadas, es decir, la partición de datos por Fuzzy Clustering, descrita anteriormente, y la escalización iterativa, más de una iteración debe ser realizada, resultando en un proceso de entrenamiento más lento, todas las otras opciones son libres de iteración. Otra ventaja del algoritmo es que no es necesario escalizar los conjuntos de datos de entrada-salida. Las técnicas basadas en gradientes necesitan escalización de el conjunto de datos entrada-salida (esto se aplica para Backpropagation, por ejemplo), o están fuertemente influenciadas por la escalización (como en el caso del entrenamiento con Levenberg Marquardt).

Intuitivamente, sin embargo, se espera que existan situaciones donde la red RAWN necesitará más neuronas que una red entrenada con algoritmos iterativos.

Esta idea también está soportada por las pruebas que han sido realizadas. Una solución para este tipo de problema puede ser el de la reoptimización de los pesos. Un candidato potencial para esta reoptimización es la combinación frontal RAWN y de las técnicas Levenberg- Marquardt. RAWN entonces será utilizada como un suministrador de las matrices de peso iniciales, que serán utilizadas en un esquema de entrenamiento iterativo posteriormente.

6. GENÉTICA Y CLONACIÓN

Una población de cromosomas (los padres potenciales de una nueva población) se mantiene a lo largo de todo el proceso evolutivo. A cada uno de ellos se le adjudica un valor de fitness (aptitud) que está relacionado con el valor de la función objetivo por optimizar.

Dos cromosomas son seleccionados para ser los padres de una nueva solución. En los algoritmos originales (Holland) uno de ellos era elegido de acuerdo a su fitness, mientras que el otro lo era aleatoriamente. La operación de sobrecruzamiento daba dos configuraciones binarias "hijos" y se calculaban sus valores de fitness, estas reemplazaban dos soluciones de la población que eran elegidas al azar.

6.1 COMPONENTES A INCLUIR

- ✓ Una representación, en términos de "cromosomas", de las configuraciones de nuestro problema.
- ✓ Una manera de crear las configuraciones de la población inicial.
- ✓ Una función de evaluación que permite ordenar los cromosomas de acuerdo con la función objetivo.
- ✓ Operadores "genéticos" que permiten alterar la composición de los nuevos cromosomas generados por los padres durante la reproducción.
- ✓ Valores de los parámetros que el algoritmo genético usa (tamaño población, probabilidades asociadas con la aplicación de los operadores genéticos).

6.2 POBLACIÓN INICIAL

Al enfrentarse a un nuevo problema se puede aprender mucho inicializando esta población de manera aleatoria.

Es un buen test para saber como funciona la implementación del AG debido a que características de la solución deben ser consecuencia de este proceso y no de los métodos usados para generar la población inicial.

6.3 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FITNESS

Muchos Algoritmos Genéticos usan un cierto proceso de normalización. La normalización debe hacer hincapié en la importancia de las mejoras, sin desechar todo el material genético relevante presente en la población.

Si la normalización está influenciada fuertemente por el mejor individuo, es probable que la búsqueda se concentre en aquella región del espacio de configuraciones cercanas a él. Si no hay cierta presión hacia las mejores soluciones podemos tener una búsqueda demasiado lenta.

Debemos tener en cuenta las restricciones del problema. Se puede imponer penalizaciones a los individuos que las violen (reduciendo su fitness), o crear decodificadores que eviten generar individuos no factibles.

Es mejor la penalización ya que puede ocurrir que mejores individuos factibles requieran la producción de otros individuos no factibles como pasos intermedios.

Los valores de penalización hacen imposible que individuos no factibles se diversifiquen y se reproduzcan.

Una vez evaluado el fitness de un individuo, se compara con el del mejor individuo creado durante todo el proceso evolutivo. Si el fitness de este es superior al del mejor creado, este es reemplazado, garantizando así que al término de la simulación el mejor individuo encontrado estará en la memoria a pesar de no estar presente necesariamente en la población final.

6.4 SELECCIÓN

La selección puede representarse como una rueda que gira en la que cada individuo tiene una sección circular proporcional a su fitness.

Un paso de selección sería análogo a un giro de esa rueda, seleccionando el individuo correspondiente según el arco de círculo donde se detiene

6.5 OPERADORES GENÉTICOS DE SOBRECruzamiento

Es el procedimiento por el cual dos seres intercambian parte de su material genético para crear un nuevo organismo.

- ✓ One-point crossover
- ✓ Uniform crossover
- ✓ Partially-Matched crossover

6.6 ONE-POINT CROSSOVER

Elige aleatoriamente un punto de ruptura de tal manera que el material genético más allá de ese punto es intercambiado entre dos padres para crear dos hijos. No puede combinar características presentes en los dos cromosomas. Se llegó a desarrollar el two-point crossover, para incrementar las probabilidades de mejora.

6.7 UNIFORM CROSSOVER

Comenzando por el primer bit, es elegido al azar un padre para que contribuya con su primer bit al primer hijo, mientras que el segundo recibe el bit del segundo padre.

6.8 PARTIALLY-MATCHED CROSSOVER

Dados dos cromosomas padres, el operador copia un substring de uno de los padres directamente a las mismas posiciones en el hijo, las posiciones restantes se llenan con los valores que aún no han sido utilizados en el mismo orden en que se encuentran en uno de los padres.

6.9 MUTACIÓN

La mutación consiste en reemplazar con cierta probabilidad (llamada mutation rate, normalmente de pequeño valor) el valor de un bit

6.10 OTROS OPERADORES GENÉTICOS

6.10.1 *Clonación*

La clonación consiste en la duplicación de la estructura genética de un cromosoma para la generación siguiente. Esto hace que ese ejemplar sobreviva intacto para competir en la nueva generación. La clonación se puede producir en forma:

- ✓ Explícita: Cuando el software de GA prevé que ante ciertas circunstancias un cromosoma se duplique a sí mismo.
- ✓ Implícita: Cuando el programa no prohíbe que en el proceso de crossover un cromosoma sea seleccionado como pareja de sí mismo para generar descendencia.

Las figuras GA13 y GA14 muestran esquemas de los procesos de clonación implícita y explícita.

Figura GA 15 INVERSIÓN TOTAL

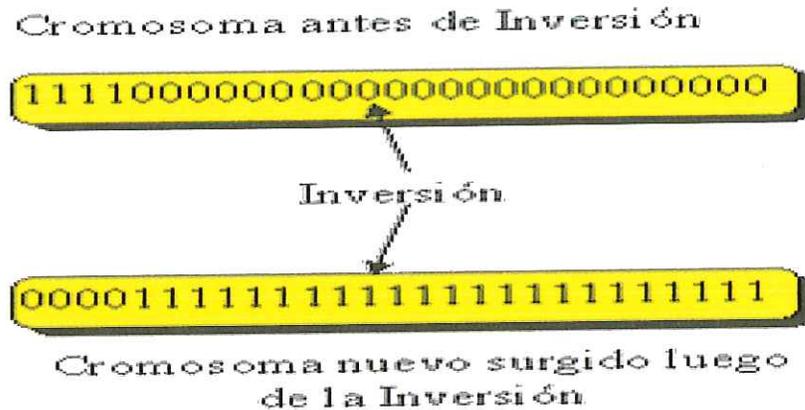
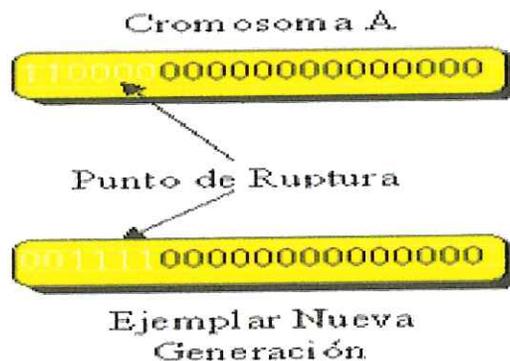


Figura GA 16 INVERSIÓN PARCIAL



6.10.3 Reversión

La reversión consiste en la operación que cambia el cromosoma por sí mismo ordenado de atrás para adelante. Esta operación no existe en la naturaleza, pero se basa en la presunción de que algunos cromosomas poco competitivos podrían revertir su estado en el orden contrario. Al igual que con la inversión, la reversión puede ser:

- ✓ Total: Un cromosoma se revierte totalmente. Ej.: Dado el cromosoma 00011, su reverso será 11000.
- ✓ Parcial: Un gen o parte de un gen cambian por su reverso.

Figura GA 17 REVERSIÓN TOTAL

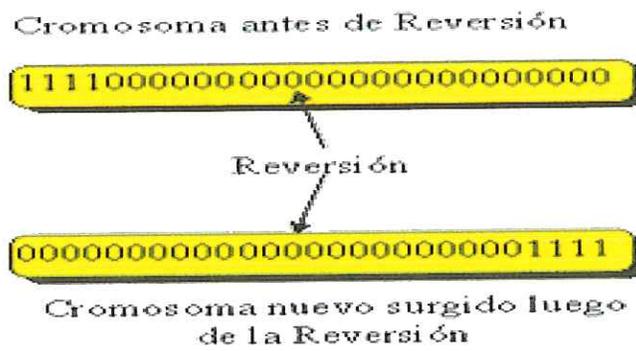
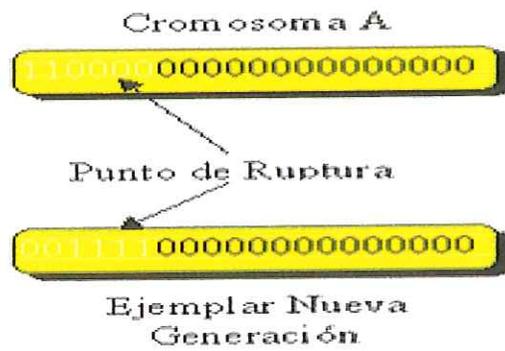


Figura GA 18 REVERSIÓN PARCIAL



7. DISEÑO DEL SENSOR VIRTUAL

7.1 VARIABLES A MONITOREAR

Debido al proceso llevado a cabo para la obtención del Combustóleo y los diferentes tipos de requerimientos para seleccionar el producto de mayor calidad, bien sea Combustóleo Liviano o Pesado, se optó por generar estadísticamente variables requeridas para inferir la medida de la viscosidad partiendo de los controles instalados en línea con el proceso y además de los productos necesarios para controlar el grado de viscosidad. Encontrando así que la cadena de bits generada por el sensor real en el momento de aplicar y calcular el índice de refracción, se ve afectado por:

- Slurry de Unidades Cracking : 20-25 ssf (Componente para mezclado de baja viscosidad).
- Ciclo de Unidades Cracking : 3-5 ssf. (Diluyente)

Estos últimos, son los encargados de bajar o subir el IV, por lo tanto las señales de control arrojadas por el sensor virtual deben ser sobre estos componentes.

El objetivo de la estrategia de control a implementar con la utilización del sensor virtual, es mantener el índice de Viscosidad o Refractividad del refinado dentro de las especificaciones. Para la torre de extracción, las variables manipuladas primarias son la temperatura del fenol, el nivel de interfase, la relación fenol-carga y la relación fenol-carga a la torre. Este control puede residir en el computador supervisorio.

➤ ***El Índice de Viscosidad puede ser inferido a partir de:***

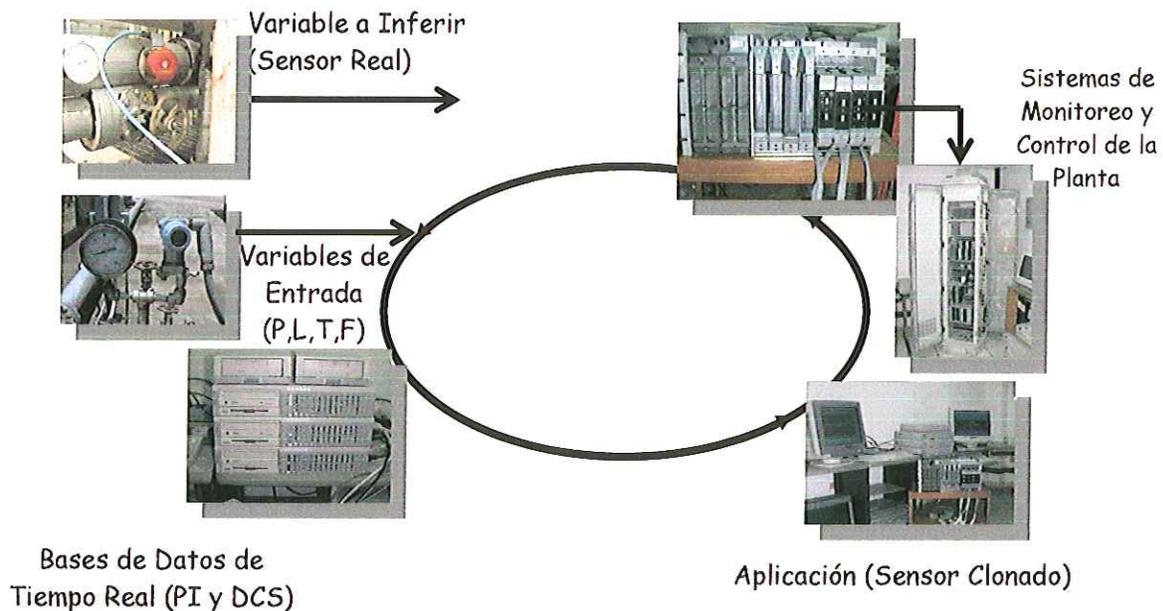
- Temperatura de cima de la torre de extracción
- Diferencia de temperatura entre la cima y el fondo
- Carga a la torre extractora
- Rata de fenol
- Calidad del fenol
- Presión de la torre
- Flujo de Combustóleo
- Nivel del producto
- Densidad del flujo

Los datos reportados por el analizador en línea servirán para entrenar al sensor virtual y así tener una medida del Índice de refracción e Índice de viscosidad con mayor disponibilidad y confiabilidad, pudiéndose implementar el control requerido.

Todas estas variables son medibles siempre y cuando su controlador sea debidamente instalado y calibrado, además se pueden resumir en 4 variables fundamentales:

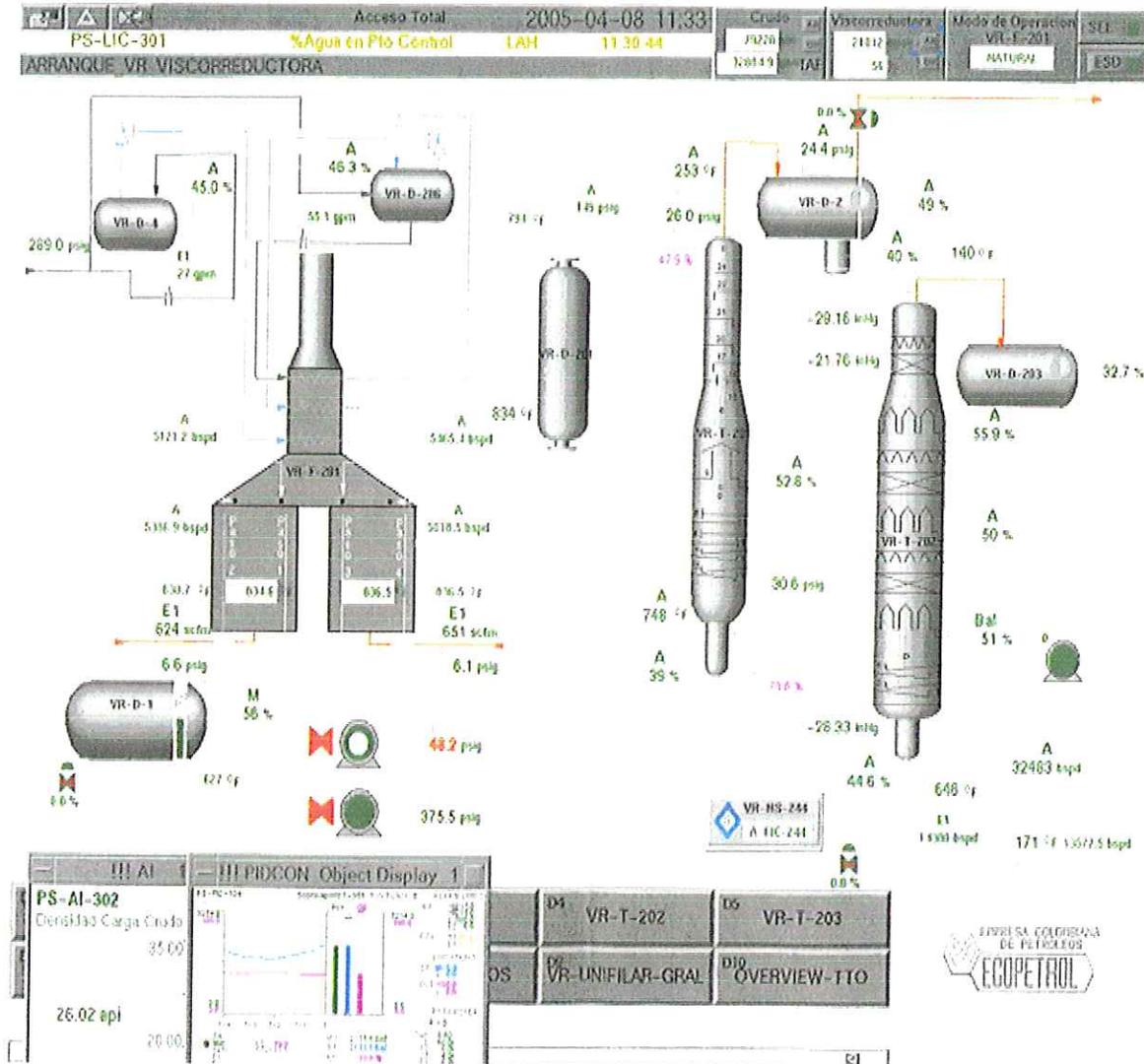
TEMPERATURA	T
PRESION	P
FLUJO	F
NIVEL	L
DENSIDAD	D

7.2 DIAGRAMAS ESTRUCTURALES DE LOS COMPONENTES DEL PROCESO



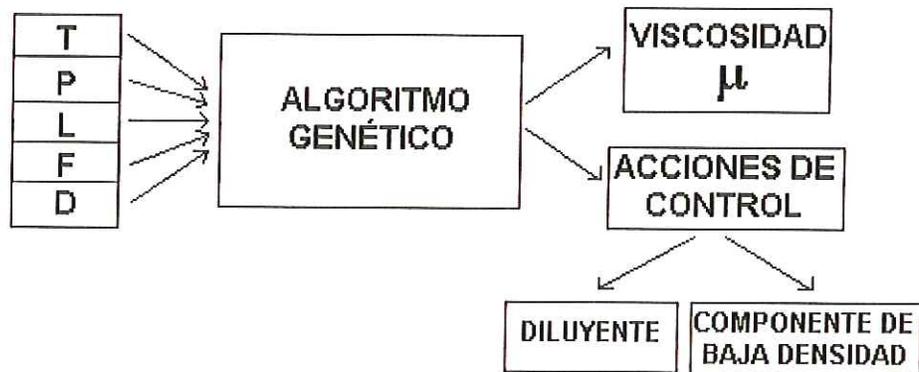
Como se observa en este diagrama, la relación existente entre el sensor en línea y el sensor virtual es directamente proporcional, esto se debe a que de acuerdo a las variables depositadas dentro del índice de refracción (IR) arrojado por el sensor en línea, el sistema de monitoreo y control de planta con su modelo de adquisición de datos genera una pauta para la selección del método de Algoritmo Genético adecuado para inferir el índice de viscosidad del producto, dando así como resultado señales de control inmediatas y confiables, con las cuales se logrará un valor óptimo de calidad del Combustóleo.

PLANTA VISCORREDUCTORA DE CARTAGENA



Por medio de este diagrama se visualiza e identifica las señales de control, dependiendo de la ubicación de los controladores en la planta. Estas órdenes serán enviadas a las respectivas válvulas para mantener el grado de diluyente y el valor de componente de baja densidad deseado para obtener el Combustóleo Liviano y Pesado.

7.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SENSOR



7.4 MODELO DE MEDICIÓN

De acuerdo al principio de funcionamiento del sensor de viscosidad, donde por medio de una fuente luminosa refractada sobre el Combustóleo se obtiene una cadena de bits secuencial denominada índice de Refracción, el algoritmo genético implementa en su lógica de programación las variables de entrada dando como resultado el índice de viscosidad por medio de una relación lineal, la cual se verá afectada según el método de clonación seleccionado.

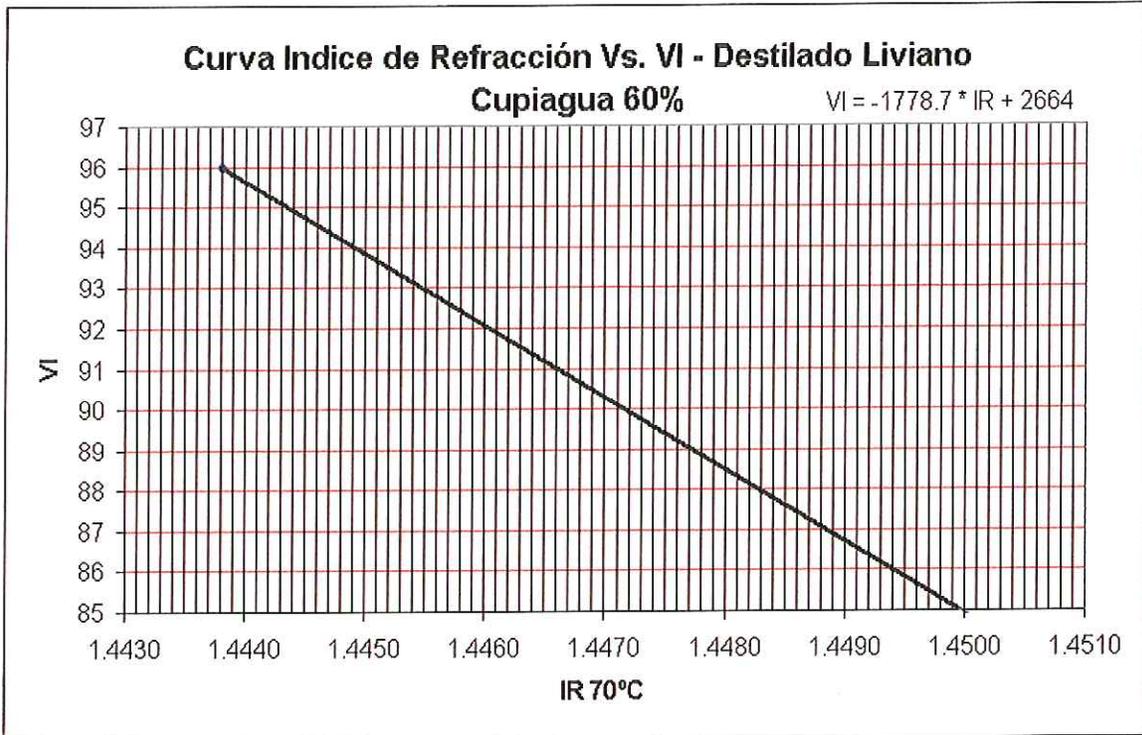
La relación IV Vs IR se define así:

$$IV = m * IR + b$$

Conversión de IR a IV

PRODUCTO	m	b
Destilado Medio	-1990.3	2994.9
Destilado Liviano	-1914.1	2865.0

Figura 1 Curva IR Vs. VI



8. SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD

8.1 PROGRAMA EN MATLAB

```
clear all;
clc;

disp('BIENVENIDOS AL PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA VISCOSIDAD');
fprintf('\n\n');
disp('DISEÑO DE UN SENSOR BASADO EN ALGORITMOS GENETICOS Y
      CLONACION ARTIFICIAL');
disp('PARA LA MEDICION DE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTOLEO ');
fprintf('\n\n');
disp('ERIKA ALEXANDRA JIMENEZ GOMEZ');
disp('JORGE ARMANDO OCHOA RINCON');
fprintf('\n\n');
l=input('SI DESEA CONTINUAR INGRESE 1: ');

while (l==1)
    clear all;
    clc;
    disp('PARA INFERIR EL VALOR DE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTOLEO,
          EXISTEN 2 METODOS MATEMATICOS');
    fprintf('\n');
    disp('1. METODO EXPERIMENTAL (SENSOR REAL)');
    disp('2. METODO TEORICO (SENSOR VIRTUAL)');
    disp('3. METODO EXPERIMENTAL Vs METODO TEORICO');
    fprintf('\n');
    M=input('QUE METODO DESEAS UTILIZAR: ');

    if M==1
        clear all;
        clc;
        x=0;
        while (x==0)
            clear all;
            clc;
            disp('----- METODO EXPERIMENTAL -----');
            disp('----- SENSOR REAL -----');
            fprintf('\n');
            disp('CALCULO DEL INDICE DE VISCOSIDAD PARTIENDO DEL INDICE
                  DE REFRACCION ARROJADO POR EL SENSOR REAL');
            fprintf('\n');
```

```

IR=input('INDICE DE REFRACCION: ');
fprintf('\n');
disp('1. DESTILADO MEDIO');
disp('2. DESTILADO LIVIANO');
OP=input('\nOPCION DESEADA: ');
if (OP>=1 & OP<=2)
    if OP==1
        IV=((IR*(-1990.3))+2994.1);
        x=1;
        fprintf('\n');
        fprintf('EL VALOR SE IV= %f,IV);
    else
        IV2=((IR*(-1914.1))+2865);
        x=1;
        fprintf('\n');
        fprintf('EL VALOR DE IV= %f,IV2);
    end
else
    clear all;
    clc;
    disp('ERROR EN LA OPCION SELECCIONADA');
    x=0;
end
end
else
if M==2
    clear all;
    clc;
    disp('----- METODO TEORICO -----');
    disp('----- SENSOR VIRTUAL -----');
    fprintf('\n');
    disp('CALCULO DEL INDICE DE VISCOSIDAD PARTIENDO DE LA
        PRESION, TEMPERATURA Y NIVEL');
    fprintf('\n');
    T=input('TEMPERATURA (C°): ');
    P=input('PRESION (Bar): ');
    L=input('NIVEL (CM): ');
    IV3=(7.7*(28^(1/2))*(P^(2/3))*(T^(1/6)))/L;
    fprintf('\n');
    fprintf('EL VALOR DEL INDICE DE VISCOSIDAD (IV)= %f,IV3);
else
    clear all;
    clc;
    disp('----- METODO EXPERIMENTAL Vs METODO TEORICO -----');
    fprintf('\n');

```

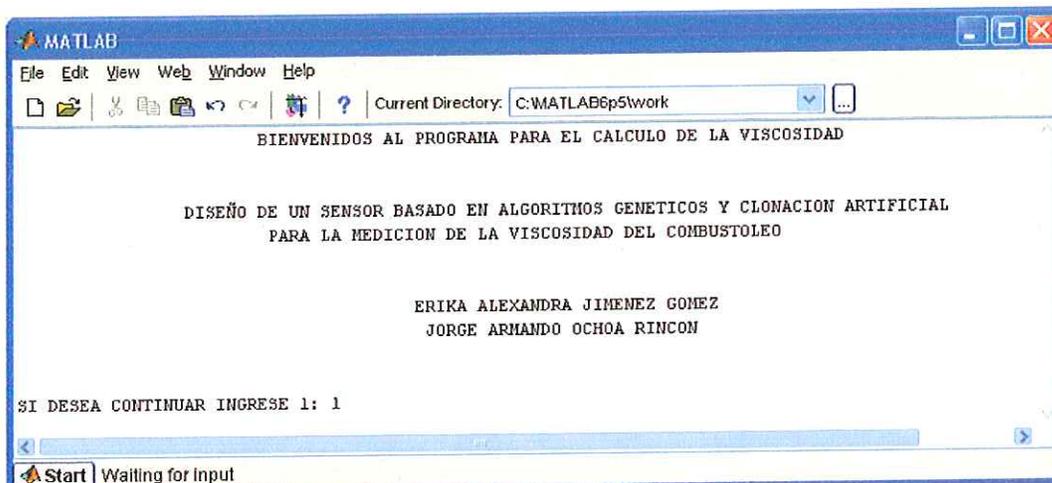
```

IR2=input('INGRESE EL INDICE DE REFRACCION: ');
T2=input ('INGRESE LA TEMPERATURA DE TRABAJO: ');
P2=input ('INGRESE LA PRESION DE TRABAJO: ');
L2=input('INGRESE EL NIVEL: ');
VI=((IR2*(-1914.1))+2865);
VI2=(7.7*(28^(1/2))*(P2^(2/3))*(T2^(1/6)))/L2;
a=rand;
b=a*10;
E=((VI+b)-VI)/(VI+b)*100;
EM=E/2;
fprintf('\n');
fprintf('EL PORCENTAJE DE ERROR EXISTENTE ENTRE EL INDICE DE
        VISCOSIDAD ARROJADO POR EL SENSOR REAL Y EL');
fprintf('\n');
fprintf('ARROJADO POR EL SENSOR VIRTUAL, ES : %f',E);
fprintf('\n');
fprintf('EL PORCENTAJE DE ERROR MEDIO, ES: %f',EM);
fprintf('\n');
end

end
fprintf('\n \n');
I=input('SI DESEA CONTINUAR INGRESE 1: ');
end
clear all;
clc;
disp('GRACIAS POR UTILIZAR NUESTRO PROGRAMA Y ESPERAMOS ALLA
      NOTADO LA DIFERENCIA ENTRE EL');
disp('          SENSOR REAL Y EL VIRTUAL          ');

```

8.2 INTERFACE



```
MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work

PARA INFERIR EL VALOR DE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTOLEO, EXISTEN 2 METODOS MATEMATICOS

1. METODO EXPERIMENTAL (SENSOR REAL)
2. METODO TEORICO (SENSOR VIRTUAL)
3. METODO EXPERIMENTAL Vs METODO TEORICO

QUE METODO DESEAS UTILIZAR: 1

Start | Waiting for input
```

```
MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work

----- METODO EXPERIMENTAL -----
----- SENSOR REAL -----

CALCULO DEL INDICE DE VISCOSIDAD PARTIENDO DEL INDICE DE REFRACCION ARROJADO POR EL SENSOR REAL

INDICE DE REFRACCION: 1.4

1. DESTILADO MEDIO
2. DESTILADO LIVIANO

OPCION DESEADA: 2

EL VALOR DE IV= 185.260000

SI DESEA CONTINUAR INGRESE 1: 1

Start | Waiting for input
```

```
MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work

----- METODO TEORICO -----
----- SENSOR VIRTUAL -----

CALCULO DEL INDICE DE VISCOSIDAD PARTIENDO DE LA PRESION, TEMPERATURA Y NIVEL

TEMPERATURA (C°): 80
PRESION (Bar): 65
NIVEL (CM): 30

EL VALOR DEL INDICE DE VISCOSIDAD (IV)= 45.576299

SI DESEA CONTINUAR INGRESE 1: 1

Start | Waiting for input
```

MATLAB

File Edit View Web Window Help

Current Directory: C:\MATLAB6p5\work

----- METODO EXPERIMENTAL Vs METODO TEORICO -----

INGRESE EL INDICE DE REFRACCION: 1.4
INGRESE LA TEMPERATURA DE TRABAJO: 80
INGRESE LA PRESION DE TRABAJO: 65
INGRESE EL NIVEL: 35

EL PORCENTAJE DE ERROR EXISTENTE ENTRE EL INDICE DE VISCOSIDAD ARROJADO POR EL SENSOR REAL Y EL ARROJADO POR EL SENSOR VIRTUAL, ES : 0.942485
EL PORCENTAJE DE ERROR MEDIO, ES: 0.471243

SI DESEA CONTINUAR INGRESE 1: 1|

Start Waiting for Input

MATLAB

File Edit View Web Window Help

Current Directory: C:\MATLAB6p5\work

GRACIAS POR UTILIZAR NUESTRO PROGRAMA Y ESPERAMOS ALLA NOTADO LA DIFERENCIA ENTRE EL SENSOR REAL Y EL VIRTUAL

>> |

Start

9. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA

Cuando se consideran muchas variables, para fines de discriminación debemos resolver la duda de si realmente son necesarias todas para una predicción eficaz o determinar, cuales son las variables que dan una mejor predicción.

Se han propuesto procedimientos de selección de las variables que pueden dar lugar a cierta guía a los investigadores que estén deseando seleccionar un subconjunto de las variables medidas para usarlas con fines de discriminación. La mayoría de los procedimientos existentes de selección de variables son un tanto semejantes a los procedimientos correspondientes que se usan para los problemas de regresión múltiple.

[Dallas E. J] describe el procedimiento de Selección Hacia delante, Eliminación Hacia Atrás y Por Pasos que combina los dos primeros.

Finalmente se describen las variables recomendadas por la experiencia operativa y el diseño del fabricante.

9.1 POR REGRESIÓN MÚLTIPLE

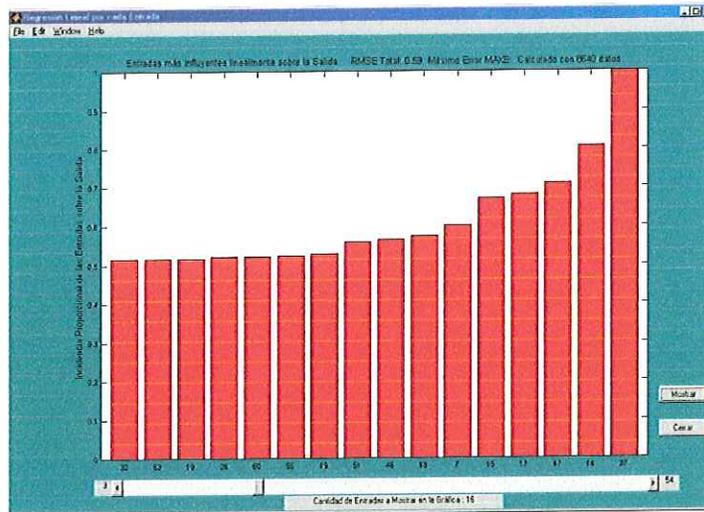
Utilizamos la regresión aplicando el procedimiento de eliminación hacia atrás que se inicia con la inclusión de todas las variables candidatas posibles como discriminadoras, después de lo cual se elimina la variable aparentemente menos útil para la discriminación. La variable seleccionada a eliminarse se identifica al realizar una regresión múltiple para cada variable usando todas las demás variables como covariables. Si todas las variables son estadísticamente significativas en un nivel elegido de significación, el procedimiento se detiene; pero si algunas de las variables no son estadísticamente significativas, entonces el procedimiento elimina la variable que sea menos significativa.

Si se elimina una variable, entonces el procedimiento de eliminación hacia atrás busca una segunda variable para quitar. La variable que debe eliminarse a continuación se identifica al realizar una Regresión Múltiple con las variables restantes. Si todas las variables restantes son estadísticamente significativas, el procedimiento se detiene, si algunas de las variables restantes no lo son, entonces el procedimiento busca una tercera, etc.

En cada paso se usa la función regress de Matlab, utilizando todas las variables restantes como covariables, para seleccionar la siguiente variable que se va a eliminar. El procedimiento de eliminación hacia atrás se detiene cuando todas las variables restantes son estadísticamente significativas.

Utilizando la regresión se clasifica ordenadamente la influencia de las variables de entrada sobre la salida utilizando el procedimiento de Eliminación hacia Atrás, anteriormente descrito.

Figura 24 Resultado ordenado de las importancia de las variables de entrada para predecir la salida por regresión, eliminando las de menor importancia (una corrida de ejemplo).



Utilizando este método y realizando estadística de las ocurrencias para los diferentes casos analizados, se pueden encontrar las variables de mayor influencia sobre la salida.

Se sugiere utilizar el siguiente programa realizado también en Matlab, para tales efectos (función Prioriza.m que se encuentra en la carpeta de la aplicación en el CD)

```

Cantidad=6; %Cantidad de Casos x1, x2, x3 ....
% El número de valores en x1, x2,...xn es igual a la cantidad de valores en pesos
% En la comparación utilizar un solo método Ej. solo Regress
x1=[57,34,48,40,54,9,43,46,15,36,10,18,47,17,52,64]; % Regress Sep 29 DAO
x2=[10,40,34,44,57,9,41,48,18,52,50,19,35,14,37,30]; % Regress Sep 28 DAO
x3=[14,47,33,56,39,15,10,57,34,36,43,31,64,51,24,29]; % Regress Ago 8 Med-
Liv
x4=[45,36,6,41,37,49,30,52,56,13,19,9,27,23,35,53]; % Regress Ago 14 Med
x5=[12,56,15,18,14,6,40,50,19,53,29,45,51,60,26,52]; % Regress Ago 18 Liv
x6=[11,37,19,5,46,40,45,18,25,56,10,43,8,24,50,54]; % Regress Sep 26 Med-
DAO
Peso=[16,15,14,13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1];
[mx npeso]=size(Peso);
[mx nx1]=size(x1);
Variable=x1;
Total=Peso;
Repeticion=x1;

```

```

Repeticion(1:nx1) = 1;
for k=2:Cantidad
eval(strcat('x2=x',num2str(k),','));
[mx nx2]=size(x2);
[mx nx1]=size(Variable);
for i=1:nx2
Indica=0;
for j=1:nx1
if x2(i)==Variable(j)
Total(j)=Total(j)+(npeso-i+1);
Repeticion(j)=Repeticion(j)+1;
Indica=1;
end
end
if Indica==0
Variable=[Variable x2(i)];
Total=[Total (nx2-i+1)];
Repeticion=[Repeticion 1];
end
end
end
end
clc;
Orden=[Variable' Total' Repeticion'];
Orden=SORTROWS(Orden,[3 2])

```

Las variables seleccionadas por regresión fueron:

**Tabla 3 Las 10 Variables de Mayor Influencia por Regresión
(case27-sep-2004.mat)**

VARIABLE #	TAG
V63	R_AFC_F
V32	FRC7005
V56	FC
V33	FRC7006
V48	PIC7010
V55	RRC
V45	PI7003
V60	BALANCE
V26	FR7004
V43	PI7001

9.2 POR CORRELACIÓN Y DISPERSIÓN

El coeficiente de correlación proporciona una medida de la asociación lineal entre dos variables. Esto es muy importante para comprender por que parece que la palabra correlación se usa de manera equivocada en forma general; aparentemente decimos que las variables están correlacionadas cuando creemos que están relacionadas y que las cosas no están correlacionadas cuando creemos que no están relacionadas.

No estar correlacionadas es equivalente a ser independientes, cuando dos variables tienen una distribución normal conjunta, pero esto no se cumple en general. En la **Figura 26**, se muestra una grafica de dispersión de una variable aleatoria proveniente de una población de dos variables (también conocida como bivariada). Se puede ver que cuando las parejas de variables no están correlacionadas, no se puede concluir con seguridad que las dos variables no están relacionadas.

Nunca se debe calcular un coeficiente de correlación entre dos variables sin también situar las dos variables, una contra la otra, en una gráfica. Si es importante determinar la correlación entre dos variables, entonces es de igual importancia trazar una gráfica de dispersión entre ellas. Por lo común, la gráfica de dispersión revelara, si en realidad, las dos variables están relacionadas entre si y cuándo están relacionadas entre si, la propia grafica mostrará a menudo como podrían estar relacionadas.

Figura 25 Resultado ordenado de las importancia de las variables de entrada para predecir la salida por correlación

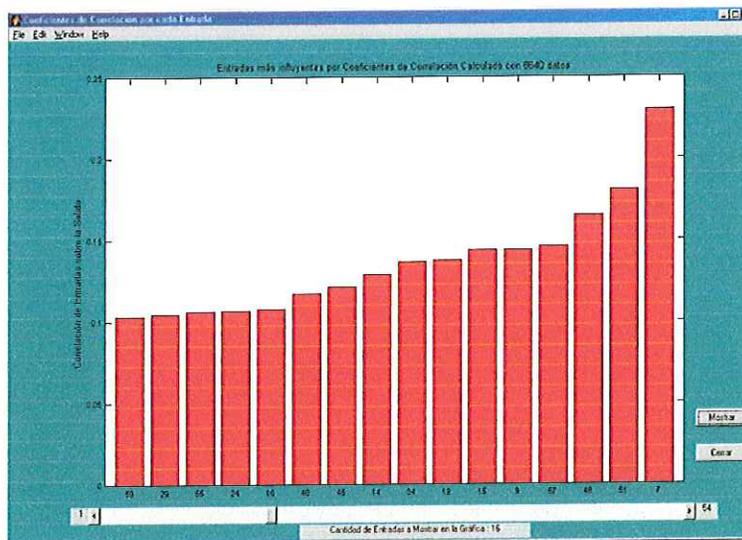
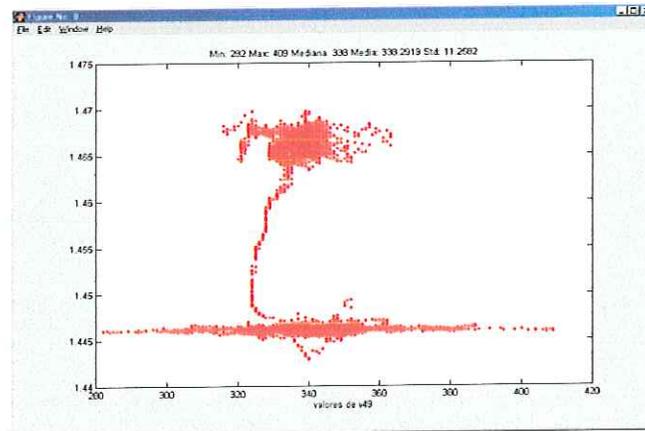


Figura 26 Grafica de Dispersión de la variable 57. Una alta correlación con alta dispersión no debe ser tomada en cuenta para la predicción.



Utilizando este método y realizando estadística de las ocurrencias para los diferentes casos analizados, se encontró que las variables que mayor influencia tienen por correlación y dispersión son:

Tabla 4 Las 10 Variables de Mayor Influencia por Correlación

VARIABLE #	TAG
V6	TI71B_36
V18	TI71A_01
V14	TI71B_34
V10	TI71A_06
V32	FRC7005
V63	R_AFC_F
V17	TI71B_37
V15	TI71B_35
V44	PI7002
V7	TI71A_24

Para llevar todo esto a la práctica se utilizó la función `corrcoef` que suministra el Matlab. Se clasifica ordenadamente la influencia que arroja este análisis para determinar cuales variables afectan más a la salida. Los resultados que entrega la función varían entre -1 y 1 , siendo estos resultados extremos los de mayor influencia para la salida.

9.3 POR EL EXPERTO

VARIABLES SELECCIONADAS POR EL EXPERTO SEGÚN DISEÑO ORIGINAL DE LA PLANTA DE FENOL:

Tabla 5 Variables Seleccionadas por el Experto

TAG	V	SERVICIO	CAPT.	MUESTRA
TI71B_37	V17	TEMPERATURA CIMA T753A	TR	20 s
FR7001	V24	FLUJO REFINADO	TR	20 s
FR7002	V25	FLUJO REFINADO SOLUCION H751	TR	20 s
FRC7003	V30	FLUJO EXTRACTO SOLUCION	TR	20 s
FRC7006	V33	FLUJO FENOL	TR	20 s
LR7002	V39	NIVEL FENOL D751	TR	20 s
LRC7005	V41	NIVEL T753B	TR	20 s
LR_7003		NIVEL D752	MAN	1 h
MIC7003	V42	% VÁLVULA CHORRO LATERAL	TR	20 s
PRC7002	V50	PRESION T753A	TR	20 s
PRC7003	V51	PRESION T753B	TR	20 s
DELTA_705	V59	DIFERENCIA TEMP CIMA-FONDO T755	TR	20 s
IR_7001	V61	CALIDAD DEL REFINADO	TR	20 s
FRC7001	V28	FLUJO CARGA T755	TR	20 s
TI71B_36	V16	TEMPERATURA DE CIMA T755	TR	20 s
TI7001-30		TEMPERATURA CIMA T753B	MAN	1 h
FRC7005	V32	FLUJO AGUA FENÓLICA CIMA	TR	20 s
		PUNTO DE CHISPA DE LA CARGA	LAB	1 día
		PUNTO DE EBULLICIÓN INICIAL	LAB	1 día
		GRAVEDAD API DE LA CARGA	LAB	1 día
		% FENOL EN EL REFINADO SOLUCION	LAB	1 día
		TIPO DE CARGA	MAN	Al Cambiar
		COLOR AGUA	MAN	1 h
		COLOR FENOL	MAN	1 h
		% ACEITE EN AGUA FENOLICA	MAN	6 por día
		% FENOL EN AGUA FENOLICA	MAN	
		% ACEITE EN FENOL	MAN	6 por día

Algunas variables son tomadas del archivo histórico del sistema de monitoreo y control de la planta (TR) con una frecuencia de 20 segundos, otras deben ser tomadas manualmente (MAN) con periodos de 1 hora típicamente y otras requieren el resultado del laboratorio (LAB) que se ejecutan 2 ó 3 veces por día. Como se puede observar esto requiere una alta disponibilidad de los diferentes equipos desde la instrumentación bien calibrada, comunicaciones, bases de datos, hasta la rutina operativa de tomar los datos manuales y las muestras para análisis en laboratorio. Esto hace de este modelo una tarea un poco ardua de llevar a cabo pero justificable para obtener mejores resultados.

10. PREPARACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA

Cuando se tiene conocimiento del formato en que se encuentran los datos, podemos empezar a recolectarlos y en nuestro caso contamos con una gran facilidad ya que se tiene una arquitectura de red de datos tipo ethernet que interconecta todos los sistemas de monitoreo y control a esta red y permite bajar datos en forma remota desde sitios que cuentan con la debida autorización para hacerlo.

Para la etapa de entrenamiento y validación no es estrictamente necesario contar con esta facilidad ya que el programa se desarrollo con las opciones para importar datos de la hoja de calculo Microsoft Excel y bien podría utilizarse la vía del diskette con los datos del proceso, pero para la puesta en marcha del proyecto obviamente lo practico del sensor virtual es poder contar con una interconexión entre la plataforma donde se encuentra el monitoreo y control del proceso y la maquina donde se ejecute el algoritmo del sensor virtual entrenado a menos que dicha aplicación resida en la misma maquina.

Para el caso, las muestras son tomadas vía red de datos entre maquinas de la misma familia de Microsoft , Windows NT server para el sistema de Monitoreo y Control llamado Factory Link donde reside la información en un archivo de historia (2 días con periodo de muestreo de 20 segundos, 8640 datos) en formato de base de datos (*.cdb) y Windows 95 instalado remotamente para la captura de la información de la planta y posterior alimentación a la red neuronal para el entrenamiento y validación fuera de línea. En esta ultima maquina se encuentra la aplicación del Sensor Virtual pero dadas las características del lenguaje en que se desarrollo, permite migrarlo a plataformas de Windows o Unix si se quiere tenerlo localmente.

Figura 27 Factory Link (Monitoreo y Control de la Planta)



Mostraremos aquí algunos asuntos relacionados con el tamaño y alcance del entrenamiento y se discutirá sobre técnicas válidas para controlar la calidad de la colección de datos. La calidad de datos se define en términos de la conveniencia para el entrenamiento de una red neuronal sobre una tarea dada y la validación de datos, es el proceso para garantizar la conveniencia del entrenamiento de datos.

10.1 COLECCIÓN DE DATOS

Los factores que determinan cuantos datos necesitan ser recolectados, son los relacionados con la razón que se necesita para optimizar el tamaño de la red o extender el conjunto de datos para mejorar la capacidad generalizada de la red. Muchos métodos son finalmente empleados dependiendo del costo y viabilidad de los datos, el tiempo de entrenamiento de la red, y el nivel de ruido. Se requiere habilidad para su generalización y simplicidad de la red, para cada aplicación en particular.

El tamaño de la red entrenada está un poco restringido por el tamaño del conjunto de entrenamiento. La regla más simple fue la de asegurar que el conjunto de entrenamiento sea más pequeño o igual a $(1 / \text{mínimo error de destino}) \times \text{número de pesos}$. Un error mínimo de 0.1 requiere un conjunto de entrenamiento 10 veces más grande que el número de pesos en la red neuronal. Las siguientes consideraciones son afectadas también por el tamaño de la red y las dos pueden ser negociadas una con respecto a la otra hasta cierto punto. El intercambio es importante cuando la colección de datos es costosa o existen datos que están esparcidos.

Se conceptúa que el tamaño del conjunto de entrenamiento está determinado por la dimensionalidad intrínseca, la resolución requerida, y la probabilidad de distribución, la "complejidad" la cual está determinada por lo bien que el sistema empiece a ser modelado con la interpolación entre ejemplos y el nivel de ruido del sistema que será modelado.

La dimensión intrínseca de un sistema está determinada por un número de restricciones las cuales existen entre las variables de entrada. Las restricciones entre las entradas limitan el número de combinaciones del patrón de entrada posibles. Aunque el tamaño de la entrada o distancia crece espontáneamente con la suma de nuevas variables, las restricciones entre estas variables reduce el crecimiento del tamaño. Las variables continuas pueden ser restringidas por una y otras leyes de la naturaleza.

Si el número de restricciones en un sistema es desconocido, entonces la dimensionalidad intrínseca es calculada simplemente como el número de entradas por unidad menos el número de restricciones. Un riguroso análisis basado sobre la covarianza o mutua entropía cuenta entre las diferentes unidades de entradas dando una medida exacta del número, y grado, de las restricciones pero requieren

una gran cantidad de trabajo que puede no proveer un beneficio suficiente sobre el que se obtendría al tener un razonable entendimiento de la tarea, si la dimensión intrínseca no se conoce, o si las entradas son independientes, entonces la máxima dimensionalidad es igual al número de entradas por unidad.

Resumiendo, la capa de entrada más que contener pocas variables debería tener la dimensión intrínseca de los datos constantes pero reducirá el número de pesos en la red y reduce el número requerido de entrenamiento en el ejemplo en relación con el tamaño de la red. Si es posible identificar una pequeña dimensión intrínseca en un común de variables, entonces sería posible luego reducir el número de variables usadas para entrenar la red. Esto es deseable al reducir la complejidad del modelo y así beneficia su habilidad de generalización. El requerimiento indicado de puntos al construir un modelo sobre un espacio n dimensional es alrededor de 2^n datos. A menudo es posible tener éxito con mucho menos, sin embargo, la solución suele recaer sobre un subespacio o diversos espacios dentro de todo el espacio del sistema. La dimensionalidad intrínseca de una serie de tiempos esta determinada por la dimensión encajada.

La resolución de datos que serán modelados es decidida por el número de divisiones hechas a lo largo de cada dimensión. Por codificación binaria, la cuestión es trivial, como cada unidad solamente toma uno de dos valores. Para valores continuos, y valores probables calculados en lugar de clasificación binaria, la medida puede ser limitada solo por la exactitud del computador sobre el cual la red es implementada. Ciertas escalas naturalmente pueden caer sobre un número discreto de pasos: precipitado en centímetros, por ejemplo, si no estamos interesados en alguna gran ocurrencia, entonces podemos evitar la necesidad de grandes cantidades de datos pero limitando la escala apropiadamente y existe la necesidad de igualar la resolución entre las variables de entrada y de salida, así que no esperamos una mayor resolución de la que existe en la entrada.

Un sistema complejo es aquel que muestra gran variación entre puntos cercanos. Mientras la capacidad generalizada de una red neuronal esta basada en la construcción de una función sin problemas entre un conjunto de puntos de entrenamiento, algún comportamiento que caiga entre los puntos de datos lo suficientemente diferente desde una interpolación uniforme de estos puntos no será correctamente moldeado. En tales casos, el conjunto de datos puede ser probado a una escala lo suficientemente buena, esa interpolación uniforme es válida. Esto es análogo a la necesidad de probar la señal; para probar una señal a una frecuencia lo suficientemente alta para capturar la frecuencia requerida. La complejidad es absolutamente relativa a la resolución de pocos puntos continuos a lo largo de una escala que proporcione menos cambios para la conducta compleja entre puntos.

A mayor complejidad del sistema, mayor número de peso requerido para modelar el sistema. Teniendo una arquitectura de red igualada a la complejidad de los datos, el tamaño del conjunto de datos puede derivarse del tamaño de una sola red, la conversión también es verdadera.

Se necesita una **distribución uniforme** del conjunto de entrenamiento. Las consecuencias de estos requerimientos de colección de datos son dobles. En el primer caso, hay muchas formas para controlar el número de ejemplos para la colección relacionada en el sistema con cada número de estados. En este caso, debemos tener cuidado de recoger un conjunto balanceado de ejemplos extendidos a través del rango operativo del sistema. Esto puede ser tan sencillo como escoger los ejemplos con cuidado, o tan complejo como dirigir una planta a través de cada aspecto de su conjunto normal de operaciones. Seguidamente si no somos capaces de controlar la distribución de los ejemplos de la colección, pero somos capaces de medir la distribución, podemos recolectar suficientes datos para asegurar completamente la covarianza del rango de sistema operativo. Si conocemos que la probabilidad del sistema ingresándole un estado dado es P , entonces debemos coleccionar al menos $1/P$ puntos de datos para estar razonablemente seguros de coleccionar un ejemplo sencillo de s . El último punto, aunque trabajable en una dimensión, es considerablemente confuso para cualquier práctica propuesta cuando más de dos o tres variables de entrada son usadas. Con un número grande de variables, cada una con desigual distribución, es mejor seguir el heurístico que menciona que:

A medida que la varianza en la distribución del conjunto de entrenamiento crece, así mismo crece el número de ejemplos de entrenamiento requeridos para estar seguros de cubrir el rango del sistema en operación.

10.2 RUIDO Y CALIDAD DE LOS DATOS

Tenemos visto que sumando ruido al conjunto entrenamiento incrementa la habilidad de la red para generalizarse al “embotar” el ruido presente en los datos de entrenamiento. La colección de datos extras tiene un efecto similar sobre el ruido a medida que los ejemplos adicionales reforzarán cualquier estructura en los datos e introducirá ruido que confundirá el efecto de cualquier ruido en el pequeño conjunto de entrenamiento. Ruido, en este caso, es definido como perturbaciones de los puntos de datos registrados para sus verdaderos valores debido a inexactitudes en los procesos de medida o de colección.

El ruido también puede estar presente en la forma de valores erróneos, desclasificaciones o en fuera de lugar. En este caso, puede verse que si el 20% de los puntos de datos coleccionados son ruido y no tienen efecto sobre la solución final de la red, entonces nuestro conjunto de entrenamiento es efectivamente el 20% más pequeño que la idea original. En tal caso los datos extras pueden ser coleccionados permitiéndole ruido y, donde sea posible, descartar los ejemplos erróneos.

El número de pesos en una red neuronal puede ser conservado bajo los efectos mínimos del ruido. En tales casos, podría aparecer que son requeridos menos datos de entrenamiento a medida que deban ser usados menos pesos. Como

hemos visto, éste no es el caso. Dada la incertidumbre que rodea la elección del tamaño de una red, es a menudo prudente elegir una red con más unidades ligeramente escondidas (y consecuentemente los pesos) de las necesarias e incrementar el tamaño del conjunto de entrenamiento de acuerdo a ello. En tales casos el intercambio puede ser decidido por la facilidad y el costo de la colección de datos. Si los datos están esparcidos y son costosos entonces deben ser obviamente preferidos los métodos basados en redes.

Estas consideraciones son resumidas diciendo que si un sistema de salida varía sobre una fina escala en un amplio rango, necesitamos muestrearlo bajo un gran número de puntos. Adicionando dimensiones incrementa el espacio del cual se muestrean los puntos exponencialmente, pero las restricciones entre dimensiones reducen esta explosión. Si los puntos mostrados no son esparcidos uniformemente por todo el espacio, necesitamos coleccionar más puntos para compensar, y si los puntos contienen ruido, nuestro número efectivo de puntos coleccionados caería.

10.3 DATOS DE ENTRENAMIENTO Y DATOS DE PRUEBA

Hecht Neilson correctamente sugiere que la primera cosa que debe hacerse una vez el conjunto de entrenamiento ha sido definido es construir el conjunto de prueba. Los resultados obtenidos del conjunto de la prueba deben definir si el proyecto ha sido un éxito o no, y también debe ser lo más exhaustivo y potencialmente destructivo posible. Todos los aspectos del funcionamiento normal deben ser tenidos en cuenta junto con las pruebas de respuesta de la red a entradas fuera del rango normal.

Sin embargo el objetivo definido en el plan de proyecto debe ser incluido por el conjunto de prueba y debe persistir a través del desarrollo del proyecto. Parecería prudente la construcción de un completo conjunto de entrenamientos covariando todos los aspectos de los sistemas para lo cual el conjunto de prueba será derivado.

Maren sugiere un método llamado "Shaping" el cual involucra un subconjunto tomado del conjunto total de entrenamiento y rápidamente entrenar una red a la figura general de éste subconjunto. Cuando la red está cerca a una solución, el resto de los datos de entrenamiento son usados para refinar el modelo. Este método aplica un pequeño conjunto de entrenamiento a una red diseñada para una grande y así, en lugar de construir un modelo simple rápido, fácilmente construiríamos un súper modelo el cual necesitaría ser cancelado por un conjunto total de entrenamiento. Como la mayoría de las fases de aprendizaje ocurren en los primeros ciclos de entrenamiento, este método nos beneficiaría poco.

10.4 PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL (FILTRAJE)

Si somos capaces de almacenar una ventana de valores previos de una fuente de entradas o una red de retardo en el tiempo entonces también podemos procesar datos en esa ventana para que la información sea explícita sobre el modelo en que está basado. Es un caso común que la información importante está contenida en los componentes de frecuencia de la señal. Hay dos métodos populares para extraer bandas de frecuencia de la señal de interés: utilizando un conjunto de filtros o usando transformada de Fourier.

Un filtro toma una señal y remueve un conjunto de frecuencias definidas. Los filtros pasa banda cortan todas las frecuencias que están fuera del rango dado, y los títulos corta banda cortan todas las frecuencias dentro del rango lado. Los filtros pocas veces tienen forma cuadrada; es decir que el punto de corte no es agudo, pero las pendientes caen rápidamente, alternando las frecuencias en el borde del área. Un banco de filtros es un conjunto de filtros pasa banda, cada uno sincronizado en una banda diferente y exacta.

La transformada de Fourier calcula la cantidad de potencia en cada ancho de banda de frecuencias en una señal. Ella ejecuta la función equivalente de un banco de filtros conteniendo un filtro sencillo para cada banda angosta de frecuencia en la señal. El ancho de banda describe la resolución espectral de una transformada. Una transformada de Fourier cuyas salidas consisten de valores de potencia para cada frecuencia entera tiene la resolución espectral de 1 Hz.

Una función de convolución ejecuta el peso promedio sobre un chorro de datos y también provee un método útil para extraer ciertas frecuencias. Los pesos de los promedios son tomados de una ventana moviéndose sobre la señal. La misma convulsión puede ser ejecutada tomando primero una transformada de Fourier de los datos en una ventana, luego multiplicando esta transformada por la transformada de la función de convulsión. Plataforma inversa del espectro resultante es igual a la señal de la convolución. La función de convolución usada en el dominio del tiempo es conocida como la función de respuesta al impulso y es equivalente a la función de multiplicación en el dominio de Fourier como la función de transferencia. La equivalencia entre la convulsión en un dominio y la multiplicación en otro es de particular uso cuando las dos necesitan ser combinadas.

Es claro que multiplicar las bandas de potencia en la transformada por una función de transferencia con 0 salidas fuera el rango pasa banda seleccionará solamente las bandas requeridas. Para seleccionar tal ancho de bandas de una señal en el dominio del tiempo debemos hacer la convolución usando la función de respuesta al impulso al igual que la transformada de Fourier de la función de transferencia. Obviamente, una vez más sabemos que la forma de la función de respuesta al impulso para los anchos de banda requeridos no necesitan llevar más ninguna transformación de Fourier.

Como la transformada de una onda cero pura es un pico sencillo (conocido como función delta), la función de respuesta al impulso requeridas para filtrar una señal y extraer una frecuencia es una onda cero de esa frecuencia. Haciendo la convolución de una señal con una onda cero de una frecuencia nada es consecuentemente equivalente a filtrar la señal a esa frecuencia. El resultado de tal operación de filtrar es una onda cero sencillo con frecuencia igual a aquella del filtro y una amplitud igual a aquella de la misma componente de frecuencias en la señal original. Una línea plana indica que de la señal no contiene componentes en la frecuencia de filtrar. La función de convolución deberá ser una onda cero que cubra exactamente el ciclo de cero a cero. Su tamaño dependerá de la rata de muestreo y la frecuencia. Llevar esta convulsión a una señal en que la potencia a la frecuencia la varilla con el tiempo produce una onda cero de frecuencia constante y amplitud variada (por ejemplo una señal de amplitud modulada).

10.5 DATOS FALSOS

En esta sección se trata el problema de que hacer con los valores aislados que bien pueden ser falsos. Los instrumentos que capturan datos ocasionalmente presentan saltos en la medida. El ruido se monta sobre la línea de comunicación. Los operadores cometen errores al entrar los datos. La respuesta a que tan serios son estos problemas, como podemos detectarlos y como podemos corregirlos, pueden ser encontradas en estadística apropiada y libros de análisis de datos. Aquí brevemente revisaremos aspectos del problema que es relevante para las redes neuronales.

Debemos tomar severas precauciones contra el rechazo de datos no adecuados a menos que tengamos una firme razón a priori para creer que nuestros datos pueden estar contaminados, debemos restringir nuestro deseo de hacer cosas severas. Hay dos principios para tener en cuenta cuando se encara el dilema del rechazo de datos.

Por definición de la tarea, estamos examinando los datos falsos de nuestra colección de datos. En cualquier muestra habrá datos falsos. Cerca del 90% de la distribución normal cae dentro del 1.5 de la desviación estándar de la media. Incluso de una colección ideal normalmente distribuida de 100 muestras se puede esperar que tengan al menos un punto con una desviación estándar de 2.5 alejado. En una grafica dispersa, este punto puede llamarnos la atención. Y esto no toma mucha partida de la normalidad para incrementar este efecto dramáticamente. De tal forma de que una regla del pulgar es que usualmente no se deben rechazar puntos a menos que realmente sean malos.

El otro principio importante de la eliminación de datos es que se debe muestrear completamente las posibilidades inherentes en la distribución de los datos. Si nuestro conjunto de entrenamiento no es representativo de los datos sobre los

cuales la red será probada, estaremos perdiendo nuestro tiempo. Aun si una muestra sospechosa es tan mala que no hay posibilidad de esperar un dato falso de la misma distribución como del resto de los datos, considere la posibilidad de que esta pertenezca a otra distribución, perfectamente valida. Quizás esta pasando mas en el experimento de lo que nosotros nos damos cuenta. Para ejecutar una eliminación de datos sin intervención manual de los valores observados es necesario meternos de lleno en el problema. A menos que podamos satisfacer nuestras propias dudas sobre la observación de valores erróneos debemos esforzarnos para encontrar una explicación de los valores, y quizás modificar nuestros procedimientos de recolección a tal punto de incluir sus particularidades.

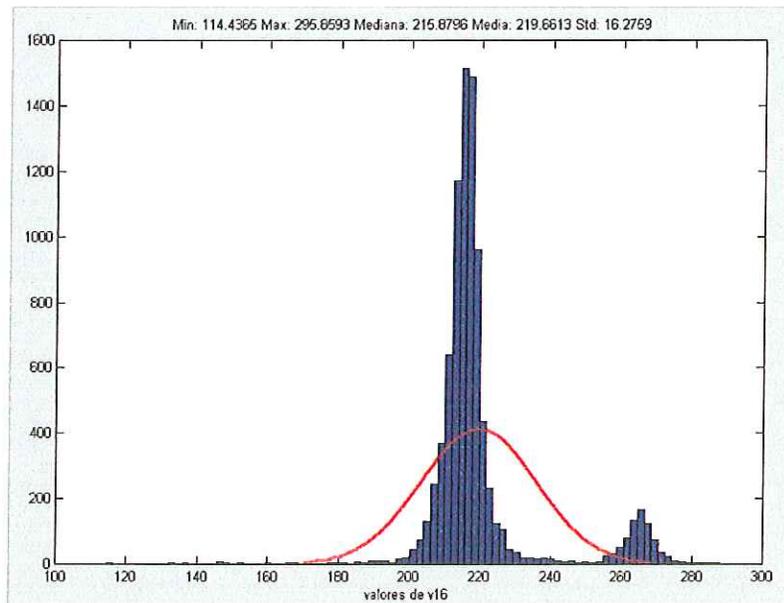
Otro argumento a favor de mantener cuestionables los datos falsos es innato a la robustez a la mayoría de los modelos de redes neuronales. Los investigadores acostumbrados a técnicas lineales tradicionales toman con precaución siempre los datos falsos. Las redes que tienen capas con funciones de activación sigmoide tienen normalizadores de datos construidos dentro de ellas. Por ejemplo, si una neurona tiene una función de activación logística, teniendo una entrada neta de 2.5, su salida será 0.92 como valor razonable. Si un punto de datos brutos maneja la red de entrada con hasta un millón, su salida solo se incrementara ligeramente a menos de 1.0, habiendo absorbido el choque bien. Naturalmente, permanecemos enfrentando el problema de preguntarnos por aprender una parte incorrecta de la información, asumiendo, por supuesto, que la información es incorrecta. Si el conjunto de entrenamiento es razonablemente grande, esto no seria un problema para las redes que aprenden minimizando el error medio a través del conjunto de entrenamiento, los datos falsos tendrán un impacto comparativamente pequeño sobre los pesos encontrados, siendo primero tratados por la función de achatamiento (squashing), inundado por la mayoría de los datos correctos.

Algunas redes tienen la habilidad implícita de procesar datos brutos sin que afecten el aprendizaje de los datos normales, las redes neuronales probabilísticas caen dentro de esta categoría. A menos que el parámetro de suavización sea inusualmente grande, los puntos de datos únicos serán separados del resto de los datos que no tienen una contribución esencial a las funciones potenciales que determinan la respuesta de la red, es decir a menos que puntos de muestras inusuales sean significativas y se encuentren valores relativos cuando la red sea usada. En este caso, los puntos alejados harán la contribución más valorable. Si la meta es la clasificación y se esperan datos inusuales este es el tipo de red que frecuentemente se escoge. Algunos métodos para tomar la decisión en el momento de descartar los datos falsos utilizan la media y la desviación estándar de las muestras, asumiendo que están normalmente distribuidas y se decide basado en las marcas Z. Estos marcadores de los puntos de una muestra se encuentran sustrayendo la población media y dividiendo por la desviación estándar:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Sin embargo en nuestra opinión la automatización del rechazo de posibles datos falsos no debe ser hecha. El método recomendado es graficar un histograma de la muestra y cuidadosamente revisar con criterio dado por la experiencia sobreponiéndose a las aplicaciones estadísticas. No es de sorprenderse encontrar muchas veces histogramas similares como el que se muestra en la siguiente figura:

Figura 28 Razón para evitar el rechazo automático de datos desviados



Cuando vemos histogramas como este, inmediatamente debemos pensar en que se requiere un nuevo procedimiento de muestreo para salir de dudas.

10.6 ESCALIZACIÓN

No siempre es necesario utilizar la escalización pero es casi siempre recomendado. Primero, debemos distinguir entre cuando la escalización debe hacerse a diferencia de cuando estamos disponibles para elegirla. Si una variable esta siendo usada para entrenar neuronas de salida y las neuronas de salida tienen una función de activación con rangos limitados, ciertamente debemos restringir los objetivos de las activaciones a valores que puedan ser confortablemente aprendidos. Algunos modelos de redes, tales como las de Kohonen tienen límites estrictos en sus valores de entrada. En estos casos no hay nada que hacer. Debemos escalizar.

Algunas veces, sin embargo, tenemos la opción de trabajar con datos brutos. Es posible diseñar redes multicapa retroalimentadas con la función identidad como función de activación de las neuronas de salida (por supuesto, si las neuronas de la capa oculta son lineales, el problema se reduce a una regresión lineal). Tales redes pueden tener salidas sin límites, de tal forma que no se necesita escalizaciones de las salidas teóricamente. Las redes retroalimentadas no tienen límites implícitos en sus entradas, así que no se necesitan escalizaciones para las variables de entrada. Sin embargo, la escalización para rangos uniformes es recomendada.

Una de las razones para la escalización uniforme es inicializar la importancia de las variables igualadas. Teóricamente es posible que una red aprenda la importancia relativa de las variables ajustando los pesos de entrada. Si una de las variables tiene una orden de magnitud de un 1.000.000, mientras que otra esta en el orden de 0.000001, la red deberá ser capaz de aprender a usar pequeños pesos de entrada para la primera variable y grandes pesos para la segunda, pero esto sería muy incierto. Se ha consultado muchos algoritmos de aprendizaje para superar tales rangos. De hecho muchos algoritmos de aprendizaje imponen límites fijos sobre sus pesos para prevenir caer en obsolescencia. Estos algoritmos simplemente no serán capaces de aprender de tales datos extremos. Nosotros podemos hacer que la vida de la red sea un poco más fácil dándoles datos escalizados de tal forma de que todos los pesos puedan permanecer pequeños dentro de rangos predecibles.

Esto se torna más importante cuando los datos están siendo aprendidos por la neurona de salida. La mayoría de los algoritmos de entrenamiento minimizan el error total de todas las salidas. Si las variables de la salida están desigualmente escalizadas, con grandes variaciones estas serán favorecidas y serán predominantes en la suma del error. Esto puede tener profundas consecuencias y es un problema que debe ser siempre considerado.

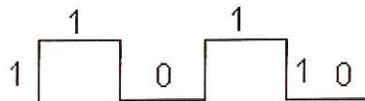
Otra razón para escalizar los datos es mejorar la interpretabilidad de los pesos de la red. Podemos desear ver los pesos encontrados por nuestra red, con la esperanza de que tengan algo de sentido sobre que usa la red para tomar sus decisiones. Bajo las mejores condiciones esto puede ser una tarea muy difícil.

11. DESARROLLO DEL PROBLEMA

11.1 ELECTRÓNICA DIGITAL

La electrónica digital es una especialidad de la electrónica que estudia la gestión, almacenamiento y tratamiento de la información. Su principal aplicación se encuentra en los campos de control de procesos industriales y en la informática aplicada.

La electrónica digital es aquella cuyo funcionamiento puede describirse a través de una señal discreta, que únicamente cuenta con dos valores posibles; cero lógico y uno lógico.



Considerando que la representación digital se da en base a dos valores, es necesario el poder describir sistemas considerando esta restricción. Esto se logra mediante variables (A, B, C, D, etc).

La variable se representa por medio de letras mayúsculas y para indicarnos el elemento al cual nos referimos. Ej.: P = puerta, F = foco.

LÓGICA TTL: Una representación mediante valores lógicos es la siguiente.

VARIABLE	1 LÓGICO	0 LÓGICO
Puerta	Puerta cerrada	Puerta abierta
Foco	Foco encendido	foco apagado

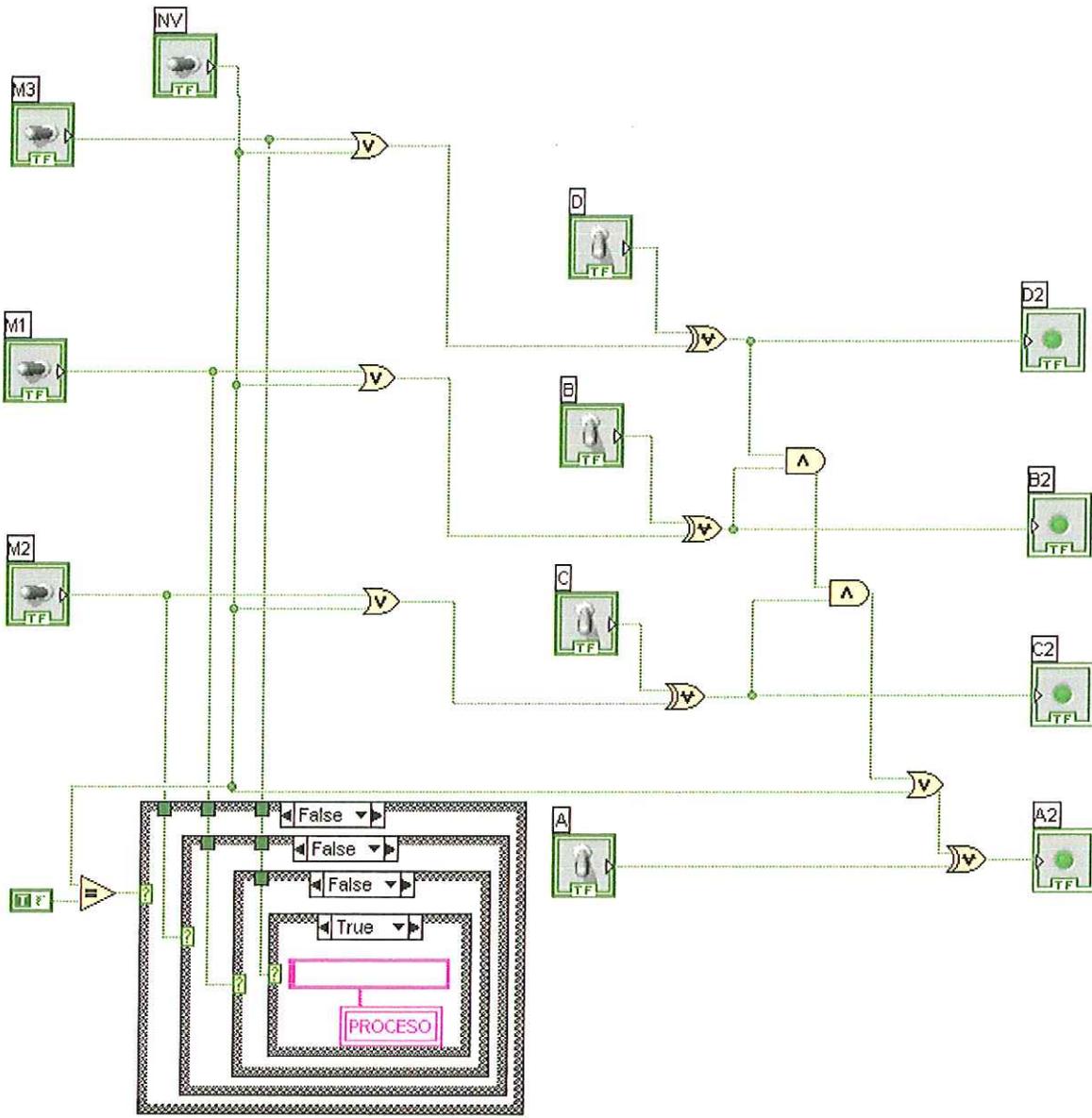
El valor de 1 lógico suele representarse por ALTO (H).

El valor de 0 lógico suele representarse por BAJO (L).

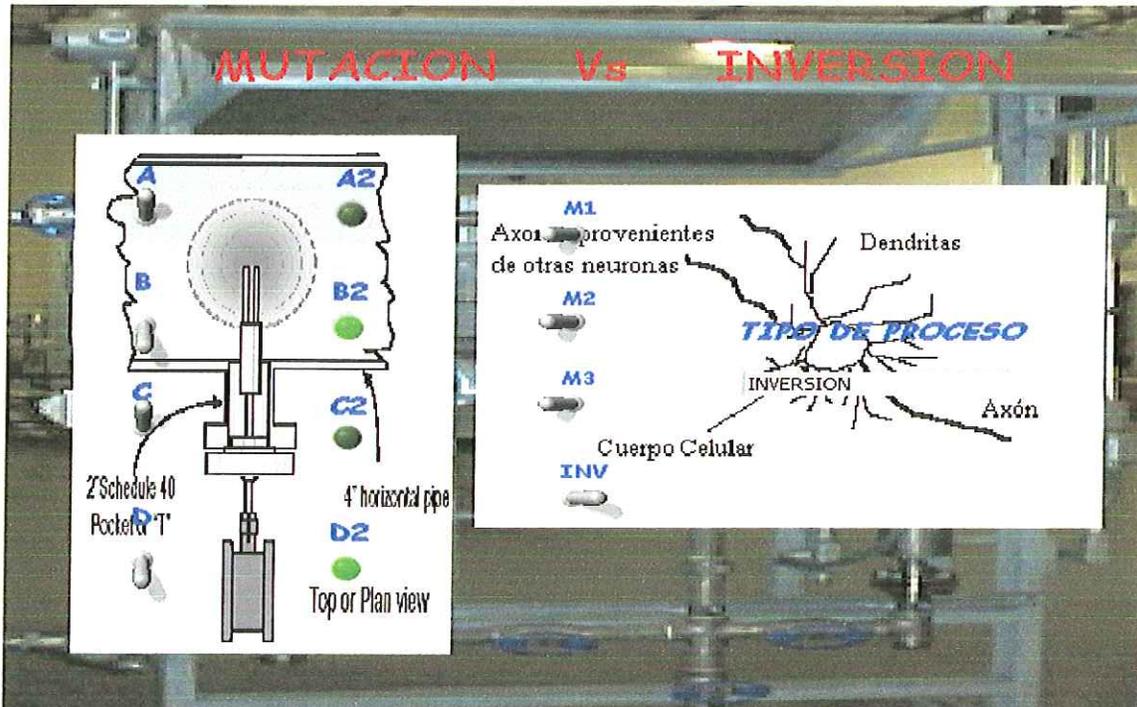
Cuando hablamos de CI, TTL el valor bajo, (L), suele conectarse a 0V (Gnd), el valor alto, Vcc, (H) suele conectarse a 5V.

De estos principios parten los diseños de los circuitos integrados, pasando por compuertas lógicas, contadores, temporizadores y llegando al gran desarrollo de la electrónica digital, el control por medio de **MICROCONTROLADORES**.

11.2 MUTACIÓN - INVERSIÓN CON ELECTRÓNICA DIGITAL



CICLOS DE PROGRAMACIÓN



El diseño de un circuito capaz de realizar la inversión y la mutación específica de cuatro entradas, debe tener como característica principal, la existencia de variables que identifiquen el proceso a seguir.

En este programa el usuario tiene la posibilidad de modificar el método y las entradas que se utilizarán, lo cual permite que la flexibilidad lo ayude a entender de una manera más didáctica la relación existente entre la electrónica digital y las diversas técnicas de clonación utilizadas para la mejoría del sensor de viscosidad.

A medida que se realice una mutación o la inversión, el software se lo indica. La lógica seguida en este diseño, se implementó partiendo de la comparación entre las entradas y las variables que influyen (M1, M2, M3 e INV). M1, M2 y M3 se refieren a la mutación de los genes B, C y D (entradas) respectivamente, e INV se refiere a la inversión total del conjunto de genes.

El único hardware necesario, son compuertas lógicas tales como AND, OR y XOR. Los ciclos que se observan en la parte inferior de la ventana de programación son utilizados para la indicación del proceso seguido.

12. PROGRAMACIÓN EN PLC

El programa consiste en el diseño de un sistema lógico capaz de desarrollar técnicas tales como la inversión y la clonación de bits seleccionados con anterioridad por el usuario.

Consta de 7 entradas y 4 salidas distribuidas de la siguiente forma:

Entradas:

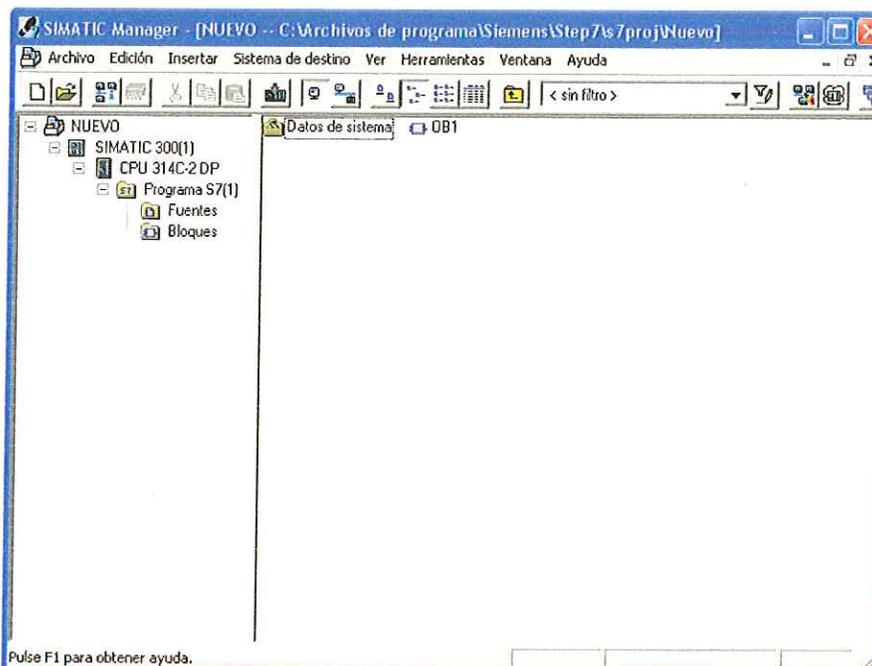
- 4 bits que indican una parte de la cadena, la cual puede ser modificada por el usuario.
- 1 bit que indica el proceso de inversión total.
- 1 bit que indica el proceso de clonación.
- 1 bit que realiza un reset parcial para desenclavar los switches.

Salidas:

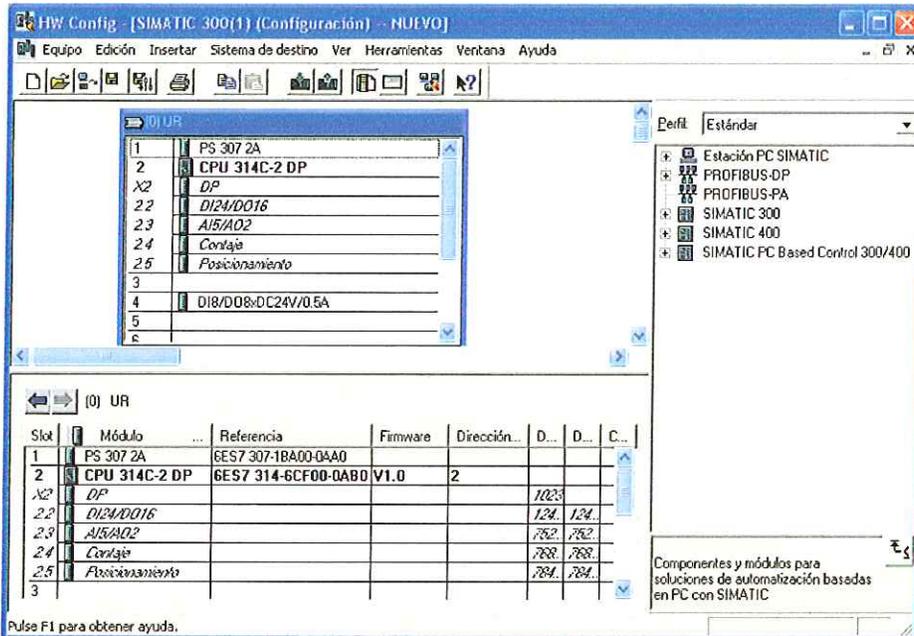
- 4 bits que relacionan las entradas.

12.1 SOFTWARE REQUERIDO

SIMATIC Manager – STEP7



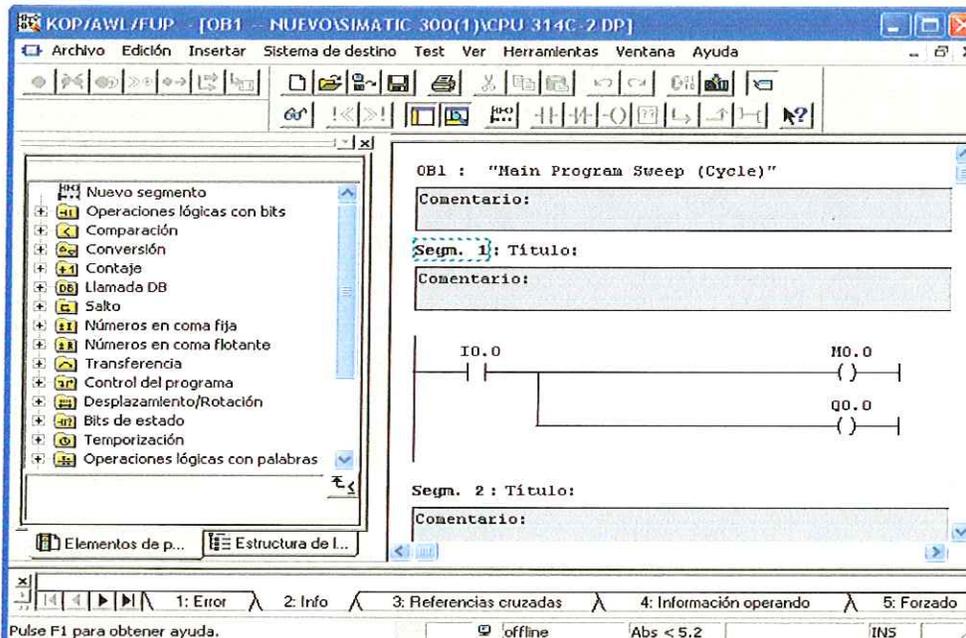
12.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PLC



Para acceder al programa se debe configurar las partes físicas del PLC: el bastidor, la fuente PS 307 2A, la CPU 314C-2 DP y las entradas – salidas del bloque digital D18/DO8 x DC24V/0.5A, luego se debe ingresar al menú donde aparece el OB1, configurar el lenguaje (KOP) y finalmente comenzar a programar.

Hay que tener en cuenta que el PLC utilizado es de referencia SIMATIC S7 – 300 de SIEMENS.

✓ VENTANA DE PROGRAMACIÓN



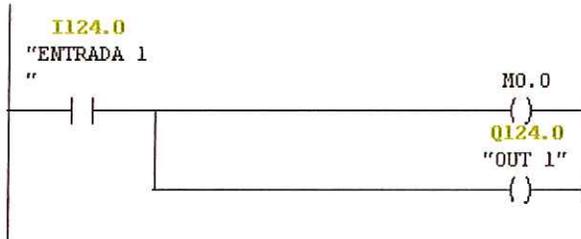
12.3 CÓDIGO

OBl : "Main Program Sweep (Cycle)"

Comentario:

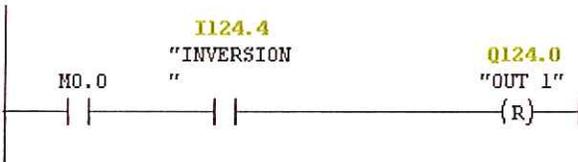
Segm. 1 : Título:

Comentario:



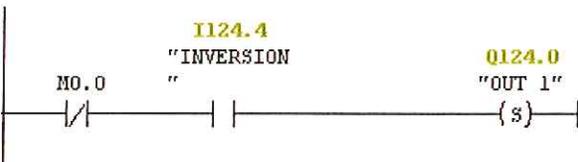
Segm. 2 : Título:

Comentario:



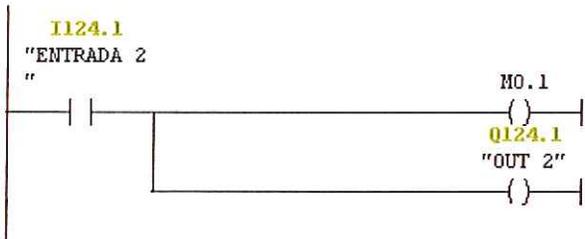
Segm. 3 : Título:

Comentario:



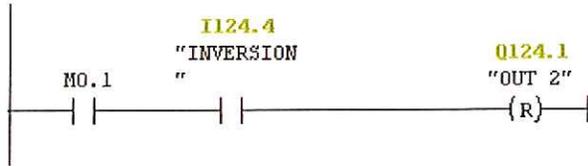
Segm. 4 : Título:

Comentario:



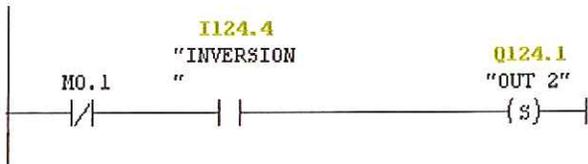
Segm. 5 : Titulo:

Comentario:



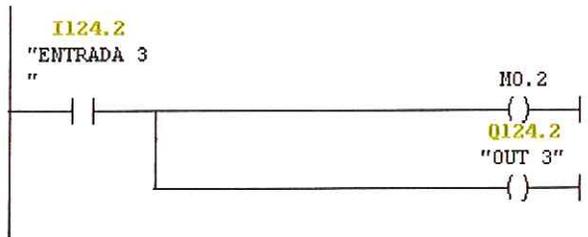
Segm. 6 : Titulo:

Comentario:



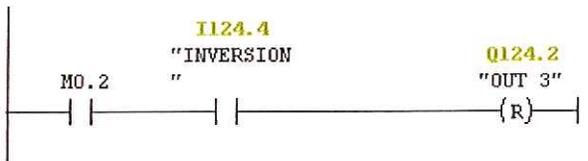
Segm. 7 : Titulo:

Comentario:



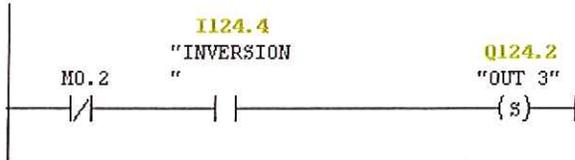
Segm. 8 : Titulo:

Comentario:



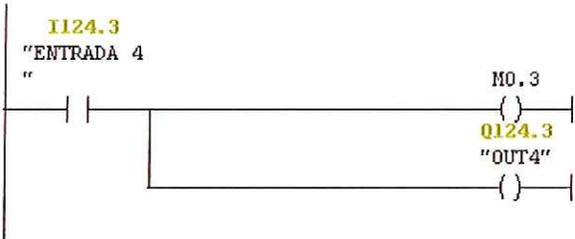
Segm. 9 : Título:

Comentario:



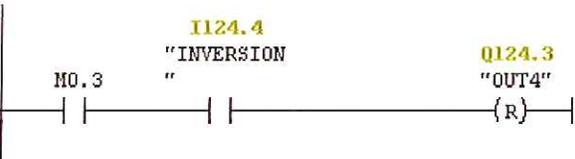
Segm. 10 : Título:

Comentario:



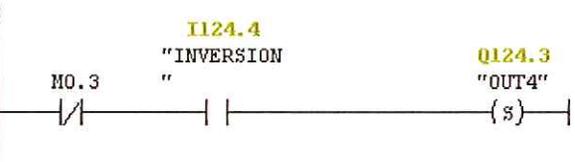
Segm. 11 : Título:

Comentario:



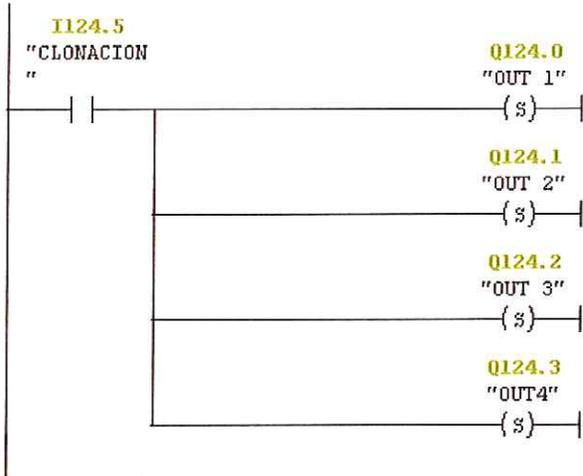
Segm. 12 : Título:

Comentario:



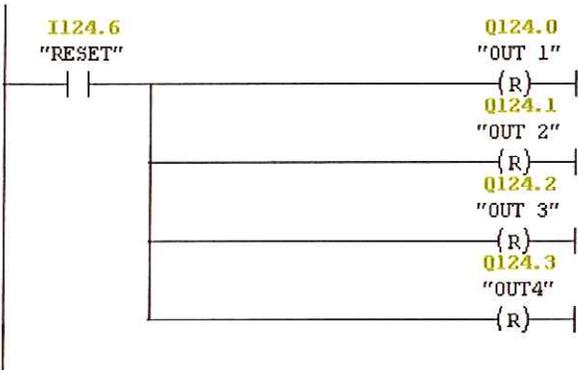
Segm. 13 : Título:

Comentario:



Segm. 14 : Título:

Comentario:



13. MICROCONTROLADORES

Este programa permite generar la inversión total, inversión parcial y mutación parcial a partir del ingreso de 4 bits, mostrando el resultado en a través de leds y pantalla de cristal líquido (LCD).

13.1 PROGRAMA PRINCIPAL

```
LIST P=16F877           ;Se indica el modo de procesador
INCLUDE <P16f877.INC>

RESUL      EQU      0X20
TEMPO1     EQU      0X21
LCD_VAR    EQU      0X22
OFFSET     EQU      0X23
TEMP       EQU      0X24
TEMP1      EQU      0X25

                ORG 0x00           ;vector de inicio
                GOTOINICIO

                #INCLUDE "LCD_CXX.ASM"

;*****tabla con los datos a sacar por el LCD*****
DATO        ADDWF   PCL,1         ; OFFSET=00
            RETLW   'I'
            RETLW   'N'
            RETLW   'V'
            RETLW   'E'
            RETLW   'R'
            RETLW   'S'
            RETLW   'I'
            RETLW   'O'
            RETLW   'N'
            RETLW   ' '
            RETLW   'T'
            RETLW   'O'
            RETLW   'T'
            RETLW   'A'
            RETLW   'L'
            RETLW   0x00
```

```
RETLW    'B'           ; OFFSET=10
RETLW    'I'
RETLW    'T'
RETLW    'S'
RETLW    0x00
```

,

```
RETLW    'I'           ; OFFSET=15
RETLW    'N'
RETLW    'V'
RETLW    'E'
RETLW    'R'
RETLW    'S'
RETLW    'I'
RETLW    'O'
RETLW    'N'
RETLW    ''
RETLW    'P'
RETLW    'A'
RETLW    'R'
RETLW    'C'
RETLW    'I'
RETLW    'A'
RETLW    'L'
RETLW    0x00
```

```
RETLW    'B'           ; OFFSET=27
RETLW    'I'
RETLW    'T'
RETLW    'S'
RETLW    0x00
```

,

```
RETLW    'M'           ; OFFSET=2C
RETLW    'U'
RETLW    'T'
RETLW    'A'
RETLW    'C'
RETLW    'I'
RETLW    'O'
RETLW    'N'
RETLW    0x00
```

```
RETLW    'B'           ; OFFSET=35
RETLW    'I'
```

```

RETLW    'T'
RETLW    'S'
RETLW    ''
RETLW    '2'
RETLW    ''
RETLW    'Y'
RETLW    ''
RETLW    '4'
RETLW    0x00

```

*****FUNCION PARA VISUALIZAR PRIMERAS FRASES *****

```

MENS      CLRf  RESUL      ;Inicializa contador de caracteres
MENS_1    MOVf  OFFSET,W    ;Coge el desplazamiento
          ADDWF RESUL,W    ;Calcula el car cter a coger
          CALL DATO        ;Coge el car cter
          IORLW  0          ;Actualiza flags
          BTFSC STATUS,2   ;Comprueba si es el £ltimo
          RETURN           ;Si es el £ltimo vuelve
          CALL LCD_DATO    ;Visualiza el car cter
          INCF  RESUL,F    ;Incrementa contador de caracteres
          GOTO  MENS_1

```

```

INICIO    BSF    STATUS,RP0      ;banco 0
          MOVLW B'10000111'
          MOVWF OPTION_REG
          MOVLW B'10000000'
          MOVWF TRISC
          MOVLW B'11111111'
          MOVWF TRISD
          MOVLW B'00000110'
          MOVWF ADCON1
          CLRf TRISE
          CLRf TRISB
          BCF   STATUS,RP0

```

```

          CALL UP_LCD
          CALL LCD_INI
          MOVLW B'00001100'
          CALL LCD_REG
CARGAR    BTFSC PORTC,7

```

GOTOUSUARIO
GOTOCARGAR

.*****
,

USUARIO MOVFPOR TD,0
 MOVWF TEMP
 ANDLW B'00001111'
 MOVWF PORTC
 MOVFTEMP,0
 ANDLW B'00001111'
 MOVWF TEMP1

.*****
,

CLONACION BTFSC PORTD,4
 GOTOINVERSION
 BTFSC PORTD,5
 GOTOINVERSIONPA
 BTFSC PORTD,6
 GOTOMUTACIONNO
 GOTOCOLONACION

.*****
,

INVERSION COMFTEMP1,1
 MOVFTEMP1,0
 ANDLW B'00001111'
 MOVWF TEMP1
 MOVFTEMP1,0
 MOVWF PORTC
 CALL INVERSLCD
 GOTOCARGAR

.*****
,

INVERSIONPA BTFSC TEMP1,0
 GOTOPONERCERO
 GOTOPONERUNO
SALTO CALL INVERSPALCD
 GOTOCARGAR

PONERCERO MOVFTEMP1,0
 XORLW B'00000101'
 MOVWF TEMP1
 MOVF TEMP1,0

```

MOVWF PORTC
GOTOSALTO

PONERUNO MOVF TEMP1,0
IORLW B'00001010'
MOVWF TEMP1
MOVF TEMP1,0
MOVWF PORTC
GOTOSALTO

.*****
,

MUTACIONNO BTFSS TEMP1,1
BSF TEMP1,1
BTFSS TEMP1,3
BSF TEMP1,3
MOVF TEMP1,0
MOVWF PORTC
CALL MUTACINOLCD
GOTOCARGAR

.*****
,

INVERSLCD ;CALL LCD_INI ;Inicia LCD
CALL BORRA_Y_HOME
CALL DISPLAY_ON_CUR_OFF
MOVLW B'00000110'
CALL LCD_REG

MOVLW 0X80
CALL LCD_REG
MOVLW 0X00
MOVWF OFFSET
CALL MENS

MOVLW 0XC6
CALL LCD_REG
MOVLW 0X10
MOVWF OFFSET
CALL MENS
RETURN

.*****
,

INVERSPALCD ;CALL LCD_INI ;Inicia LCD
CALL BORRA_Y_HOME
CALL DISPLAY_ON_CUR_OFF

```

```
MOVLW    B'00000110'  
CALL LCD_REG
```

```
MOVLW    0X80  
CALL LCD_REG  
MOVLW    0X15  
MOVWF    OFFSET  
CALL MENS
```

```
MOVLW    0XC6  
CALL LCD_REG  
MOVLW    0X27  
MOVWF    OFFSET  
CALL MENS  
RETURN
```

```
.*****  
;
```

```
MUTACINOLCD ;CALL    LCD_INI           ;Inicia LCD  
CALL BORRA_Y_HOME  
CALL DISPLAY_ON_CUR_OFF  
MOVLW    B'00000110'  
CALL LCD_REG
```

```
MOVLW    0X84  
CALL LCD_REG  
MOVLW    0X2C  
MOVWF    OFFSET  
CALL MENS
```

```
MOVLW    0XC3  
CALL LCD_REG  
MOVLW    0X35  
MOVWF    OFFSET  
CALL MENS  
RETURN
```

```
END
```

13.2 LIBRERÍA DE CONTROL DEL MODULO LCD

;LCD_CXX.ASM

; El conjunto de rutinas que se presentan a continuación permiten realizar
; las tareas básicas de control del modulo de visualización del LCD. Se
; emplean con los PIC 16cxx. En el programa principal se deber reservar
; memoria para el bloque de variables que utiliza el LCD del modo:
; LCD_VAR EQU dir_inicio_del_bloque

; BLOQUE DE ETIQUETAS

```
#DEFINE ENABLE    BSF PORTE,2    ;Activa E
#DEFINE DISABLE   BCF PORTE,2    ;Desactiva
#DEFINE LEER      BSF PORTE,1    ;Pone LCD en Modo RD
#DEFINE ESCRIBIR  BCF PORTE,1    ;Pone LCD en Modo WR
#DEFINE OFF_COMANDO BCF PORTE,0  ;Desactiva RS (modo comando)
#DEFINE ON_COMANDO BSF PORTE,0   ;Activa RS (modo datos)
CBLOCK           LCD_VAR
                 LCD_TEMP_2      ; Inicio de las variables. Ser la
                 LCD_TEMP_1      ; primera dirección libre
ENDC             ; disponible
```

; RUTINA UP_LCD: Con esta rutina se configura el PIC para que trabaje con el LCD.

```
UP_LCD          BSF    STATUS, RP0    ; Banco 1
                CLRF   PORTB        ; RB <0-7> salidas digitales
                CLRF   PORTE        ; RA <0-4> salidas digitales
                BCF    STATUS, RP0   ; Banco 0
                OFF_COMANDO        ; RS=0
                DISABLE           ; E=0
                RETURN
```

; RUTINA LCD_BUSY: Con esta rutina se chequea el estado del
; flag BUSY del modulo LCD, que indica, cuando este activado, que el
; modulo aun no ha terminado el comando anterior. La rutina espera a
; que se complete cualquier comando anterior antes de retornar al
; programa principal, para poder enviar un nuevo comando.

```
LCD_BUSY        LEER          ; Pone el LCD en Modo RD
                BSF    STATUS,RP0
                MOVLW   H'FF'
                MOVWF   PORTB      ; Puerta B como entrada
                BCF    STATUS,RP0   ; Selecciona el banco 0
```

```

                ENABLE                ; Activa el LCD
                NOP
L_BUSY          BTFSC                PORTB,7 ; Chequea bit de Busy
                GOTO                L_BUSY
                DISABLE              ; Desactiva LCD
                BSF                 STATUS,RP0
                CLRF                PORTB   ; Puerta B salida
                BCF                 STATUS,RP0
                ESCRIBIR             ; Pone LCD en modo WR
                RETURN

```

; RUTINA LCD_E: Se trata de una pequeña rutina que se encarga de generar
; un impulso de 1µs (para una frecuencia de funcionamiento de 4 Mhz)
; por la patita de salida de la Puerta A RA2, que se halla conectada
; a la señal E (Enable) del modulo LCD. Con esta rutina se pretende activar
; al modulo LCD.

```

LCD_E           ENABLE                ; Activa E
                NOP
                DISABLE              ; Desactiva E
                RETURN

```

; RUTINA LCD_DATO: Es una rutina que pasa el contenido cargado en el
; registro W, el cual contiene un carácter ASCII, a la PUERTA B, para
; visualizarlo por el LCD o escribirlo en la CGRAM.

```

LCD_DATO        OFF_COMANDO          ; Desactiva RS (modo comando)
                MOVWF              PORTB ; Valor ASCII a sacar por PORTB
                CALL               LCD_BUSY ; Espera a que se libere el LCD
                ON_COMANDO          ; Activa RS (modo dato)
                CALL               LCD_E   ; Genera pulso de E
                RETURN

```

; RUTINA LCD_REG: Rutina parecida a la anterior, pero el contenido de W
; ahora es el código de un comando para el LCD, que es necesario pasar
; tamba,n a la PUERTA B para su ejecución.

```

LCD_REG         OFF_COMANDO          ; Desactiva RS (modo comando)
                MOVWF              PORTB ; Código de comando
                CALL               LCD_BUSY ; LCD libre?.
                CALL               LCD_E   ; Si. Genera pulso de E.
                RETURN

```

; RUTINA LCD_INI: Esta rutina se encarga de realizar la secuencia de
; Inicialización del modulo LCD de acuerdo con los tiempos dados por

; El fabricante (15 ms). Se especifican los valores de DL, N y F,
 ; as como la configuración de un interfaz de 8 líneas con el bus
 ; de datos del PIC, y 2 líneas de 16 caracteres de 5 x 7 pixels.

```
LCD_INI      MOVLW    b'00111000'
              CALL     LCD_REG      ; Código de instrucción
              CALL     LCD_DELAY    ; Temporiza
              MOVLW    b'00111000'
              CALL     LCD_REG      ; Código de instrucción
              CALL     LCD_DELAY    ; Temporiza
              MOVLW    b'00111000'
              CALL     LCD_REG      ; Código de instrucción
              CALL     LCD_DELAY    ; Temporiza
              RETURN
```

; RUTINA BORRA_Y_HOME: Borra el display y retorna el cursor a la posición INICIAL.

```
BORRA_Y_HOME MOVLW    b'00000001'    ; Borra LCD y Home.
              CALL     LCD_REG
              RETURN
```

; RUTINA DISPLAY_ON_CUR_OFF: Control del display y cursor.
 ; Activa el display y desactiva es cursor

```
DISPLAY_ON_CUR_OFF MOVLW    b'00001100' ;LCD on, cursor off.
                   CALL     LCD_REG
                   RETURN
```

; RUTINA LCD_DELAY: Se trata de una rutina que implementa un retardo
 ; o temporización de 5 ms. Utiliza dos variables llamadas LCD_TEMP_1
 ; y LCD_TEMP_2, que se van decrementando hasta alcanzar dicho tiempo.

```
LCD_DELAY     CLRWDT
              MOVLW    10
              MOVWF    LCD_TEMP_1
              CLRF     LCD_TEMP_2
LCD_DELAY_1   DECFSZ   LCD_TEMP_2, F
              GOTO    LCD_DELAY_1
              DECFSZ   LCD_TEMP_1, F
              GOTO    LCD_DELAY_1
              RETURN
```


14. ALGORITMOS GENÉTICOS (MATLAB)

✓ El algoritmo principal se encarga de realizar el cruce y la mutación de una matriz aleatoria, consta de variables que identifican estas dos tasas y además las generaciones que intervienen en el proceso. Los ciclos se encargan de evaluar las tasas de cruce y mutación inicialmente predeterminadas en las diferentes generaciones, partiendo de una función "fu" en este caso $fu = x^2$.

```
clear all;  
clc;
```

```
% cruce=input('tasa de cruce: ');  
% mut=input('tasa de mutacion: ');  
% gen=input('generaciones: ');
```

```
cruce=.9;  
mut=.001;  
gen=6;
```

```
for i=1:4  
    for j=1:5  
        a=rand;  
        if a<0.5  
            a=0;  
        else  
            a=1;  
        end  
        mat(i,j)=a;  
    end  
end
```

```
gene=1;  
c=1;
```

```
while gene<=gen  
    for j=1:4  
        f=0;  
        b=4;  
        for i=1:5  
            v=mat(j,i);  
            f=f+v*2^b;  
            b=b-1;  
        end
```

```

    fun(j)=f;
end
for j=1:4
    fu(j)=fun(j)^2;
end
y(c)=mean(fun);
p=0;
for i=1:4
    p=fu(i)+p;
end
par=fu/p;
pp(1)=par(1);
for i=2:1:4
    pp(i)=par(i)+pp(i-1);
end

```

%matting pool

```

for o=1:4
    r=rand;
    i=1;
    k=1;
    while k==1 | i==4
        if r<=pp(i)
            for j=1:5
                mp(o,j)=mat(i,j);
                m=i;
                k=0;
            end
        end
        i=i+1;
    end
end
ra=[0.25 0.5 0.75 1];
k=1;
i=1;
ro=rand;
while k==1 | i==4
    if ro<=ra(i)
        k=0;
        m=i;
    end
    i=i+1;
    if k==0
        i=5;
    end
end

```

```

end
cruce=.7;
tc=rand;

if tc<cruce
  for i=1:5
    if m>=i
      mat(1,i)=mp(1,i);
      mat(2,i)=mp(2,i);
    else
      mat(1,i)=mp(2,i);
      mat(2,i)=mp(1,i);
    end
  end
end
else
  for i=1:5
    mat(1,i)=mp(1,i);
    mat(2,i)=mp(2,i);
  end
end
k=1;
i=1;
ro=rand;

while k==1 | i==4
  if ro<=ra(i)
    k=0;
    m=i;
  end
  i=i+1;
  if k==0
    i=5;
  end
end
tc=rand;
if tc<cruce
  for i=1:5
    if m>=i
      mat(3,i)=mp(3,i);
      mat(4,i)=mp(4,i);
    else
      mat(3,i)=mp(4,i);
      mat(4,i)=mp(3,i);
    end
  end
end
else

```

```

    for i=1:5
        mat(3,i)=mp(1,i);
        mat(4,i)=mp(2,i);
    end
end
for i=1:4
    for j=1:5
        r=rand;
        if r<mut
            if mat(i,j)==0
                mat(i,j)=1;
            else
                mat(i,j)=0;
            end
        end
    end
end
end
mat;
gene=gene+1;
c=c+1;
end
for j=1:4
    fa=0;
    b=4;
    for i=1:5
        va=mat(j,i);
        fa=fa+va*2^b;
        b=b-1;
    end
    funa(j)=fa;
end
end

```

El proceso a seguir en este método de algoritmos genéticos, consta de 10 pasos fundamentales:

- Identificar la función a evaluar.
- Establecer la tasa de cruce, mutación y la cantidad de generaciones.
- Generar aleatoriamente una matriz de las dimensiones deseadas (5 x 4 para este caso) que represente la población.
- Calcular el valor entero de cada una de las filas de la matriz población.
- Evaluar cada uno de los valores enteros en la función preestablecida.
- Calcular el porcentaje de participación de cada uno de los valores anteriores.
- Generar la matriz MATTING POOL.
- Dividir la matriz población por parejas de filas con el fin de realizar el cruce y mutación entre ellas.
- Generar aleatoriamente la posición en la que se realizará el cruce y la mutación.

➤ Obtener la matriz que representará la siguiente generación, con el cruce y la mutación ya incluida, para repetir el proceso hasta el límite de generaciones predefinido en el segundo paso.

✓ El siguiente código presenta la opción de modificar las tasas de cruce y mutación además de editar la cantidad de generaciones a evaluar sin dejar a un lado el principio explicado anteriormente.

```
clear all;
clc;
cruce=input('tasa de cruce: ');
mut=input('tasa de mutacion: ');
gen=input('generaciones: ');

for i=1:4
    for j=1:5
        a=rand;
        b=rand;
        if a<0.5
            a=0;
        else
            a=1;
        end
        if b<0.5
            b=0;
        else
            b=1;
        end
        mat(i,j)=a;
        mat2(i,j)=b;
    end
end
gene=1;
c=1;
mat
mat2
comparacion(1)=5;
comparacion(2)=7;
comparacion2(1)=5;
comparacion2(2)=7;
while gene<gen
    for j=1:4
        f=0;
        f2=0;
        b=1;
        for i=2:3
            v=mat(j,i);
```

```

        f=f+v*2^b;
        v2=mat2(j,i);
        f2=f2+v2*2^b;
        b=b-1;
    end
    b=-3;
    for i=4:5
        v=mat(j,i);
        f=f+(v*2^b)*.1;
        v2=mat2(j,i);
        f2=f2+(v2*2^b)*.1;
        b=b+1;
    end
    if mat(j,1)==0
        f=f*(-1);
    end
    if mat2(j,1)==0
        f2=f2*(-1);
    end
    x1(j)=f;
    x2(j)=f2;
end
for j=1:4
    fu(j)=50+(exp(0.5*cos(2*pi*x1(j))+0.5*cos(2*pi*x2(j)))+20*exp(-
    0.5*sqrt(0.1*x1(j).^2+0.1*x2(j).^2))-20-exp(1));
end
p=0;
for i=1:4
    p=fu(i)+p;
end
par=fu/p;
pp(1)=par(1);
for i=2:1:4
    pp(i)=par(i)+pp(i-1);
end
for o=1:4
    r=rand;
    k=1;
    i=1;
    while k==1 | i==4
        if r<=pp(i)
            for j=1:5
                mp(o,j)=mat(i,j);
                mp2(o,j)=mat2(i,j);
                k=0;
                m=i;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    i=i+1;
end
end
ra=[0.25 0.5 0.75 1];
k=1;
i=1;
ro=rand;
while k==1 | i==4
    if ro<=ra(i)
        m=i;
        k=0;
    end
    i=i+1;
    if k==0
        i=5;
    end
end
end
tc=rand;
mat=zeros;
mat2=zeros;
if tc<cruce
    for i=1:5
        if m>=i
            mat(1,i)=mp(1,i);
            mat(2,i)=mp(2,i);
            mat2(1,i)=mp2(1,i);
            mat2(2,i)=mp2(2,i);
        else
            mat(1,i)=mp(2,i);
            mat(2,i)=mp(1,i);
            mat2(1,i)=mp2(2,i);
            mat2(2,i)=mp2(1,i);
        end
    end
end
else
    for i=1:5
        mat(1,i)=mp(1,i);
        mat(2,i)=mp(2,i);
        mat2(1,i)=mp2(1,i);
        mat2(2,i)=mp2(2,i);
    end
end
end
k=1;
i=1;

```

```

ro=rand;
while k==1 | i==4
    if ro<=ra(i)
        k=0;
        m=i;
    end
    i=i+1;
    if k==0
        i=5;
    end
end
end
%-----Cruce----
tc=rand;
if tc<cruce
    for i=1:5
        if m>=i
            mat(3,i)=mp(3,i);
            mat(4,i)=mp(4,i);
            mat2(3,i)=mp2(3,i);
            mat2(4,i)=mp2(4,i);
        else
            mat(3,i)=mp(4,i);
            mat(4,i)=mp(3,i);
            mat2(3,i)=mp2(4,i);
            mat2(4,i)=mp2(3,i);
        end
    end
end
else
    for i=1:5
        mat(3,i)=mp(1,i);
        mat(4,i)=mp(2,i);
        mat2(3,i)=mp2(1,i);
        mat2(4,i)=mp2(2,i);
    end
end
end
mat;
mat2;
%-----Mutacion----
for i=1:4
    for j=1:5
        r=rand;
        if r<mut
            if mat(i,j)==0
                mat(i,j)=1; %MUTACION
            else
                mat(i,j)=0;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end
end
for i=1:4
    for j=1:5
        r=rand;
        if r<mut
            if mat2(i,j)==0
                mat2(i,j)=1;
            else
                mat2(i,j)=0;
            end
        end
    end
end
end
mat; %MATRICES CRUZADAS Y MUTADAS
mat2;
% AUMENTA LA GENERACION PARA EL PARO POR # DE GENERACIONES
gene=gene+1;
c=c+1;
matriz1(c)=mean(x1); %PROMEDIOS DE LAS MATRICES
matriz2(c)=mean(x2);
comparacion(c+1)=matriz1(c); %LO GUARDA EN COMPARACION PARA QUE
comparacion2(c+1)=matriz2(c); %SEA VERIFICADO PARA EL PARO
end
%-----
%CONVIERTE LAS MATRICES BINARIAS A VECTORES DECIMALES
for j=1:4
    f=0;
    f2=0;
    b=1;
    for i=2:3
        v=mat(j,i);
        f=f+v*2^b;
        v2=mat2(j,i);
        f2=f2+v2*2^b;
        b=b-1;
    end
    b=-3;
    for i=4:5
        v=mat(j,i);
        f=f+(v*2^b)*.1;
        v2=mat2(j,i);
        f2=f2+(v2*2^b)*.1;
        b=b+1;
    end
end

```

```

end
if mat(j,1)==0
    f=f*(-1);
end
if mat2(j,1)==0
    f2=f2*(-1);
end
x1(j)=f;
x2(j)=f2;
end
%-----
%-----fin del ciclo
end

d=length(matriz1);% TAMAÑO DEL VECTOR (PARA LAS GRAFICAS)
% GRAFICA FINAL
plot(x1,x2,'*');
grid on;
figure
% GRAFICAS QUE VARIAN SEGUN LAS GENERACIONES
matriz1
subplot(2,1,1);
plot(1:d,matriz1,'-');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(1:d,matriz2,'-');
grid on;
%MATRICES FINALES
mat
mat2
% LA GENERACION EN LA QUE PARO
GENERACIONESS=gene-1

```

Ejemplo del programa cruce – mutación de una matriz aleatoria:

```
MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work

tasa de cruce: .9
tasa de mutacion: .001
generaciones: 6

mat =

    0    0    1    0    1
    1    0    0    1    0
    1    0    1    1    0
    0    1    0    1    0

mat2 =

    1    0    1    1    0
    1    0    1    1    1
    1    0    0    1    1
    0    0    1    0    1

matriz1 =

    0   -0.5031   -1.2719   -1.0125   -1.0125   -1.0125

mat =

    0    0    1    1    0
    0    0    1    1    0
    0    0    1    1    0
    0    0    1    1    0

mat2 =

    1    0    1    0    1
    1    0    1    0    1
    1    0    1    0    1
    1    0    1    0    1

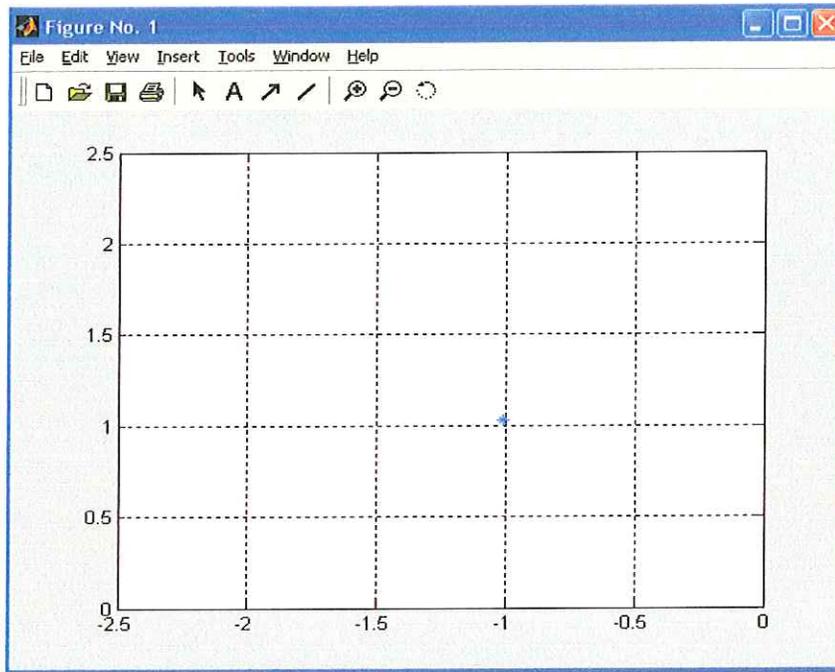
GENERACIONESS =

    5

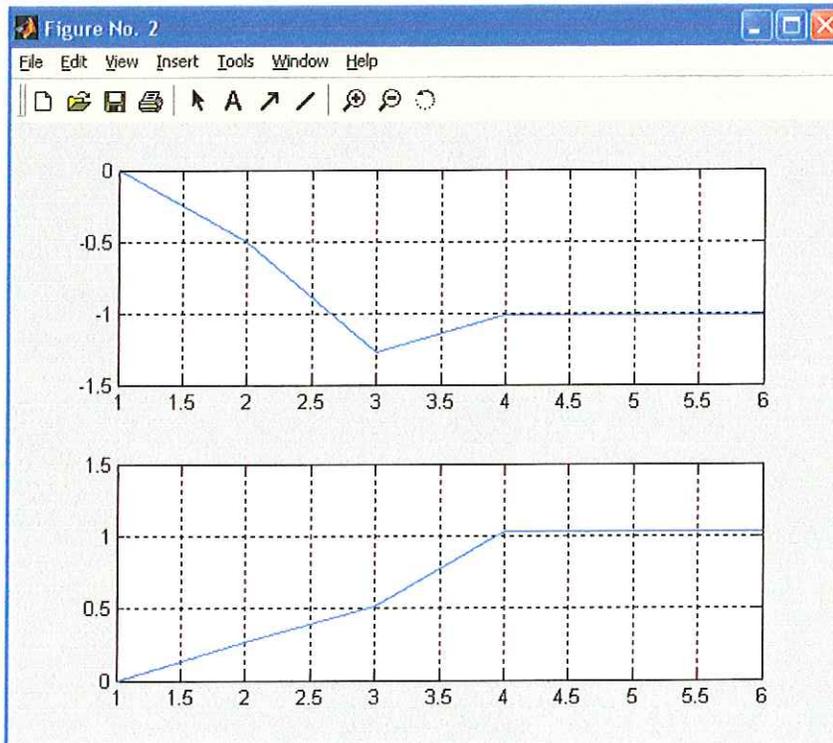
>> |
```

Con este programa logramos controlar el comportamiento de los bits de entrada (T, L, P, F) con ayuda de operadores genéticos (Cruce – Mutación), partiendo de una función a evaluar, tasa de cruce, tasa de mutación y una cantidad de generaciones predeterminadas. Esto permite inferir en la mejor decisión a aplicar sobre las variables que influyen en el proceso.

GRAFICA DE CRUCE ENTRE MATRIZ 1 Y 2



GRAFICA COMPARATIVA DE MATRIZ 1 Y MATRIZ 2



15. DATOS DE CAMPO

TIEMPO	FECHA	HORA	LRC_7008	TI71A_17	TI71A_02	TI71A_24	TI71A_03
651342940	21/08/200	16:35:40	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651342960	21/08/200	16:36:00	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651342980	21/08/200	16:36:20	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651343000	21/08/200	16:36:40	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651343020	21/08/200	16:37:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343040	21/08/200	16:37:20	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343060	21/08/200	16:37:40	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651343080	21/08/200	16:38:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343100	21/08/200	16:38:20	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343120	21/08/200	16:38:40	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343140	21/08/200	16:39:00	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343160	21/08/200	16:39:20	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	508,00000
651343180	21/08/200	16:39:40	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651343200	21/08/200	16:40:00	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651343220	21/08/200	16:40:20	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	507,00000
651343240	21/08/200	16:40:40	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651343260	21/08/200	16:41:00	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651343280	21/08/200	16:41:20	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651343300	21/08/200	16:41:40	0,00000	532,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651343320	21/08/200	16:42:00	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651343340	21/08/200	16:42:20	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343360	21/08/200	16:42:40	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343380	21/08/200	16:43:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343400	21/08/200	16:43:20	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	504,00000
651343420	21/08/200	16:43:40	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	504,00000
651343440	21/08/200	16:44:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	504,00000
651343460	21/08/200	16:44:20	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	504,00000
651343480	21/08/200	16:44:40	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	504,00000
651343500	21/08/200	16:45:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	504,00000
651343520	21/08/200	16:45:20	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343540	21/08/200	16:45:40	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343560	21/08/200	16:46:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343580	21/08/200	16:46:20	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343600	21/08/200	16:46:40	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343620	21/08/200	16:47:00	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343640	21/08/200	16:47:20	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343660	21/08/200	16:47:40	0,00000	534,00000	241,00000	163,00000	505,00000
651343680	21/08/200	16:48:00	0,00000	534,00000	240,00000	163,00000	505,00000
651343700	21/08/200	16:48:20	0,00000	533,00000	240,00000	163,00000	506,00000
651343720	21/08/200	16:48:40	0,00000	533,00000	241,00000	163,00000	506,00000
651343740	21/08/200	16:49:00	0,00000	533,00000	241,00000	163,00000	506,00000

TIEMPO	FECHA	HORA	TI71A_04	TI71A_06	TI71A_08	TI71B_26	TI71B_29
651342940	21/08/200	16:35:40	174,00000	321,00000	538,00000	455,00000	472,00000
651342960	21/08/200	16:36:00	174,00000	321,00000	538,00000	455,00000	472,00000
651342980	21/08/200	16:36:20	174,00000	320,00000	538,00000	455,00000	472,00000
651343000	21/08/200	16:36:40	174,00000	320,00000	538,00000	455,00000	472,00000
651343020	21/08/200	16:37:00	174,00000	320,00000	538,00000	455,00000	472,00000
651343040	21/08/200	16:37:20	174,00000	320,00000	538,00000	455,00000	472,00000
651343060	21/08/200	16:37:40	174,00000	320,00000	537,00000	455,00000	472,00000
651343080	21/08/200	16:38:00	174,00000	320,00000	537,00000	455,00000	472,00000
651343100	21/08/200	16:38:20	174,00000	320,00000	537,00000	455,00000	472,00000
651343120	21/08/200	16:38:40	174,00000	320,00000	536,00000	455,00000	472,00000
651343140	21/08/200	16:39:00	174,00000	320,00000	536,00000	454,00000	472,00000
651343160	21/08/200	16:39:20	173,00000	320,00000	536,00000	454,00000	472,00000
651343180	21/08/200	16:39:40	173,00000	320,00000	536,00000	454,00000	472,00000
651343200	21/08/200	16:40:00	173,00000	321,00000	536,00000	454,00000	472,00000
651343220	21/08/200	16:40:20	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343240	21/08/200	16:40:40	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343260	21/08/200	16:41:00	174,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343280	21/08/200	16:41:20	174,00000	320,00000	538,00000	454,00000	472,00000
651343300	21/08/200	16:41:40	174,00000	320,00000	538,00000	454,00000	472,00000
651343320	21/08/200	16:42:00	174,00000	320,00000	538,00000	454,00000	472,00000
651343340	21/08/200	16:42:20	174,00000	320,00000	538,00000	453,00000	472,00000
651343360	21/08/200	16:42:40	173,00000	320,00000	538,00000	453,00000	472,00000
651343380	21/08/200	16:43:00	173,00000	320,00000	538,00000	453,00000	472,00000
651343400	21/08/200	16:43:20	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343420	21/08/200	16:43:40	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343440	21/08/200	16:44:00	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343460	21/08/200	16:44:20	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343480	21/08/200	16:44:40	173,00000	320,00000	537,00000	453,00000	472,00000
651343500	21/08/200	16:45:00	174,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343520	21/08/200	16:45:20	174,00000	320,00000	536,00000	454,00000	472,00000
651343540	21/08/200	16:45:40	174,00000	320,00000	536,00000	454,00000	472,00000
651343560	21/08/200	16:46:00	174,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343580	21/08/200	16:46:20	174,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343600	21/08/200	16:46:40	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	472,00000
651343620	21/08/200	16:47:00	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343640	21/08/200	16:47:20	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343660	21/08/200	16:47:40	173,00000	320,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343680	21/08/200	16:48:00	174,00000	320,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343700	21/08/200	16:48:20	174,00000	320,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343720	21/08/200	16:48:40	174,00000	320,00000	537,00000	455,00000	471,00000
651343740	21/08/200	16:49:00	174,00000	320,00000	537,00000	455,00000	471,00000
651343760	21/08/200	16:49:20	174,00000	320,00000	537,00000	455,00000	471,00000
651343780	21/08/200	16:49:40	174,00000	321,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343800	21/08/200	16:50:00	174,00000	321,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343820	21/08/200	16:50:20	174,00000	321,00000	537,00000	454,00000	471,00000
651343840	21/08/200	16:50:40	174,00000	321,00000	538,00000	454,00000	471,00000
651343860	21/08/200	16:51:00	174,00000	321,00000	538,00000	455,00000	471,00000

TIEMPO	FECHA	HORA	TI706_15	TI_FR7001	TI_FRC7001	TI_FR7004	FI7005
651342940	21/08/200	16:35:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,06381
651342960	21/08/200	16:36:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,87961
651342980	21/08/200	16:36:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	213,52579
651343000	21/08/200	16:36:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,03222
651343020	21/08/200	16:37:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,85937
651343040	21/08/200	16:37:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	265,31908
651343060	21/08/200	16:37:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,93049
651343080	21/08/200	16:38:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,57404
651343100	21/08/200	16:38:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,85937
651343120	21/08/200	16:38:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,87961
651343140	21/08/200	16:39:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	265,47209
651343160	21/08/200	16:39:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,01272
651343180	21/08/200	16:39:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,64163
651343200	21/08/200	16:40:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,31908
651343220	21/08/200	16:40:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	265,47209
651343240	21/08/200	16:40:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,03222
651343260	21/08/200	16:41:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,44992
651343280	21/08/200	16:41:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	213,37138
651343300	21/08/200	16:41:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,37009
651343320	21/08/200	16:42:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,33714
651343340	21/08/200	16:42:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,01272
651343360	21/08/200	16:42:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	218,35903
651343380	21/08/200	16:43:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,54018
651343400	21/08/200	16:43:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,52307
651343420	21/08/200	16:43:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,91050
651343440	21/08/200	16:44:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,55236
651343460	21/08/200	16:44:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	265,98136
651343480	21/08/200	16:44:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,01272
651343500	21/08/200	16:45:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,55236
651343520	21/08/200	16:45:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	213,98835
651343540	21/08/200	16:45:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,98136
651343560	21/08/200	16:46:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,55236
651343580	21/08/200	16:46:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,31908
651343600	21/08/200	16:46:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,03222
651343620	21/08/200	16:47:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,91050
651343640	21/08/200	16:47:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,21701
651343660	21/08/200	16:47:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	213,83428
651343680	21/08/200	16:48:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,54018
651343700	21/08/200	16:48:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,47209
651343720	21/08/200	16:48:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,14232
651343740	21/08/200	16:49:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,77780
651343760	21/08/200	16:49:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,42110
651343780	21/08/200	16:49:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,67595
651343800	21/08/200	16:50:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	218,05694
651343820	21/08/200	16:50:20	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	215,87961
651343840	21/08/200	16:50:40	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	216,69233
651343860	21/08/200	16:51:00	181,00000	180,00000	180,00000	317,00000	214,91050

TIEMPO	FECHA	HORA	FR7001	FR7002	FR7004	FR7009	FRC7001
651342940	21/08/200	16:35:40	89,34545	90,92260	8,11899	4,02325	120,34632
651342960	21/08/200	16:36:00	96,80691	90,51553	18,42160	4,02021	119,47613
651342980	21/08/200	16:36:20	92,89544	91,32786	48,43750	4,01718	120,31742
651343000	21/08/200	16:36:40	92,86701	91,03858	35,66473	4,01109	121,32500
651343020	21/08/200	16:37:00	92,88122	90,48638	24,20615	4,02021	120,11489
651343040	21/08/200	16:37:20	92,11041	90,63202	39,03124	4,02021	120,23066
651343060	21/08/200	16:37:40	92,62500	90,92260	38,78023	4,02628	119,73785
651343080	21/08/200	16:38:00	94,38998	90,66112	24,85308	4,02325	120,37522
651343100	21/08/200	16:38:20	90,49076	90,51553	36,71044	4,02628	119,91202
651343120	21/08/200	16:38:40	90,97098	90,25287	8,83883	4,02021	119,53434
651343140	21/08/200	16:39:00	95,93007	90,71929	45,04230	4,01718	119,41789
651343160	21/08/200	16:39:20	90,91290	90,95161	44,16654	4,02325	120,02799
651343180	21/08/200	16:39:40	92,38236	91,18333	24,25652	4,01718	119,94102
651343200	21/08/200	16:40:00	93,08002	91,15440	37,53254	4,02325	120,43300
651343220	21/08/200	16:40:20	94,37599	91,03858	38,90594	4,02628	121,38232
651343240	21/08/200	16:40:40	89,30111	91,24117	38,87455	4,02628	120,43300
651343260	21/08/200	16:41:00	90,73846	90,80648	10,36445	4,02021	120,51961
651343280	21/08/200	16:41:20	95,07292	90,77743	44,63393	4,02325	120,43300
651343300	21/08/200	16:41:40	90,38857	91,15440	31,75375	4,02628	120,43300
651343320	21/08/200	16:42:00	92,51089	91,00960	39,74405	4,02325	120,14384
651343340	21/08/200	16:42:20	92,59649	91,09651	41,04352	4,02628	120,83665
651343360	21/08/200	16:42:40	87,08545	91,29898	20,49200	4,02325	120,08593
651343380	21/08/200	16:43:00	95,41947	91,21226	45,66137	4,01718	120,57732
651343400	21/08/200	16:43:20	94,32002	91,03858	44,16654	4,02325	120,80787
651343420	21/08/200	16:43:40	92,09608	91,24117	43,52621	4,02021	120,11489
651343440	21/08/200	16:44:00	92,46807	91,06755	42,90478	4,02628	119,88301
651343460	21/08/200	16:44:20	93,03746	91,09651	34,01803	4,02325	120,49075
651343480	21/08/200	16:44:40	86,53793	91,00960	40,01953	4,02021	120,05696
651343500	21/08/200	16:45:00	95,76477	90,92260	20,13140	4,02628	121,06671
651343520	21/08/200	16:45:20	93,32085	90,86456	36,27558	4,02325	120,40411
651343540	21/08/200	16:45:40	87,64461	90,98061	22,80394	4,01109	119,53434
651343560	21/08/200	16:46:00	90,94195	90,83553	0,00000	4,01109	120,80787
651343580	21/08/200	16:46:20	96,27354	90,71929	44,93376	4,01414	120,02799
651343600	21/08/200	16:46:40	93,44810	91,09651	48,53820	4,02021	120,72146
651343620	21/08/200	16:47:00	91,67938	91,06755	38,20944	4,01414	120,57732
651343640	21/08/200	16:47:20	92,15340	91,09651	31,13259	4,01414	120,31742
651343660	21/08/200	16:47:40	94,10981	90,80648	35,93750	4,02021	120,37522
651343680	21/08/200	16:48:00	93,49047	91,00960	38,65412	4,01414	120,08593
651343700	21/08/200	16:48:20	93,33500	90,83553	36,17449	4,01414	121,41097
651343720	21/08/200	16:48:40	91,21737	90,77743	33,80204	4,02021	119,62160
651343740	21/08/200	16:49:00	93,02327	90,86456	34,19698	4,02021	120,37522
651343760	21/08/200	16:49:20	93,22176	90,63202	35,11282	4,02325	120,66382
651343780	21/08/200	16:49:40	94,29202	90,86456	35,59621	4,02021	120,40411
651343800	21/08/200	16:50:00	92,41094	91,00960	39,15614	4,02325	119,99900
651343820	21/08/200	16:50:20	92,90965	91,12546	26,56250	4,02325	120,69265
651343840	21/08/200	16:50:40	92,45379	90,86456	39,34274	4,02021	120,05696
651343860	21/08/200	16:51:00	91,08701	90,63202	5,63367	4,02325	120,25959

TIEMPO	FECHA	HORA	FRC7002	FRC7003	FRC7004	FRC7005	FRC7006
651342940	21/08/200	16:35:40	40,17320	218,60951	3,50725	1,99038	182,63212
651342960	21/08/200	16:36:00	40,17320	218,20949	3,52580	1,98769	184,01050
651342980	21/08/200	16:36:20	40,17320	219,10851	3,55070	2,04424	184,54706
651343000	21/08/200	16:36:40	40,17320	216,70285	3,53874	2,02234	184,12987
651343020	21/08/200	16:37:00	40,08653	220,10310	3,53781	2,03638	182,21055
651343040	21/08/200	16:37:20	40,08653	217,50769	3,50725	2,02762	184,07019
651343060	21/08/200	16:37:40	40,17320	219,20817	3,53781	2,03551	182,87259
651343080	21/08/200	16:38:00	40,17320	218,60951	3,51654	2,04163	183,47237
651343100	21/08/200	16:38:20	40,17320	217,60809	3,54886	2,03988	183,65192
651343120	21/08/200	16:38:40	40,25969	218,30957	3,52210	2,02058	183,17272
651343140	21/08/200	16:39:00	40,25969	219,90454	3,51189	2,02938	182,87259
651343160	21/08/200	16:39:20	40,17320	218,10937	3,52210	2,02762	182,93265
651343180	21/08/200	16:39:40	40,17320	217,10564	3,50166	2,01440	182,93265
651343200	21/08/200	16:40:00	40,25969	217,10564	3,49420	1,99931	182,21055
651343220	21/08/200	16:40:20	40,17320	217,40725	3,50725	2,00642	184,07019
651343240	21/08/200	16:40:40	40,25969	218,50958	3,49700	1,99842	183,29264
651343260	21/08/200	16:41:00	40,17320	216,40026	3,49606	1,99485	183,71173
651343280	21/08/200	16:41:20	40,17320	219,30779	3,49233	2,02498	183,23269
651343300	21/08/200	16:41:40	40,17320	217,00502	3,50725	1,98500	181,24326
651343320	21/08/200	16:42:00	40,17320	219,60637	3,49980	1,99753	182,93265
651343340	21/08/200	16:42:20	40,17320	217,70844	3,49326	1,97150	183,23269
651343360	21/08/200	16:42:40	40,17320	218,80925	3,48578	1,97511	181,90882
651343380	21/08/200	16:43:00	40,17320	218,00921	3,53505	1,97781	182,21055
651343400	21/08/200	16:43:20	40,17320	218,40959	3,58363	2,01528	183,65192
651343420	21/08/200	16:43:40	40,17320	217,00502	3,58818	2,00198	184,12987
651343440	21/08/200	16:44:00	40,17320	219,30779	3,55070	2,00198	184,01050
651343460	21/08/200	16:44:20	40,17320	218,10937	3,54610	1,99038	183,11273
651343480	21/08/200	16:44:40	40,08653	217,00502	3,53781	1,98680	184,30878
651343500	21/08/200	16:45:00	40,17320	216,19830	3,52950	1,98231	183,77152
651343520	21/08/200	16:45:20	40,08653	218,00921	3,55713	2,01086	183,41248
651343540	21/08/200	16:45:40	40,08653	216,19830	3,49793	1,98141	183,53224
651343560	21/08/200	16:46:00	40,08653	215,59129	3,49140	1,97511	183,23269
651343580	21/08/200	16:46:20	40,17320	218,70940	3,50539	1,99842	183,59209
651343600	21/08/200	16:46:40	40,17320	214,47396	3,50445	1,94969	181,84842
651343620	21/08/200	16:47:00	40,25969	219,40736	3,54426	2,03901	183,47237
651343640	21/08/200	16:47:20	40,25969	215,59129	3,53135	2,01263	184,12987
651343660	21/08/200	16:47:40	40,34599	218,00921	3,52765	2,00376	182,69227
651343680	21/08/200	16:48:00	40,34599	217,80874	3,50539	2,00198	184,01050
651343700	21/08/200	16:48:20	40,25969	218,20949	3,53320	2,01440	182,75239
651343720	21/08/200	16:48:40	40,25969	218,90905	3,52117	2,02410	184,90390
651343740	21/08/200	16:49:00	40,25969	218,30957	3,50445	2,00642	182,75239
651343760	21/08/200	16:49:20	40,25969	218,70940	3,54334	2,02234	182,75239
651343780	21/08/200	16:49:40	40,25969	218,60951	3,49326	1,99396	183,11273
651343800	21/08/200	16:50:00	40,25969	217,00502	3,47547	1,98321	182,75239
651343820	21/08/200	16:50:20	40,25969	215,48995	3,48391	1,99485	183,29264
651343840	21/08/200	16:50:40	40,34599	217,90900	3,50539	2,00376	182,87259
651343860	21/08/200	16:51:00	40,34599	217,40725	3,49700	2,00109	183,17272

TIEMPO	FECHA	HORA	FRC7002	FRC7003	FRC7004	FRC7005	FRC7006
651342940	21/08/200	16:35:40	40,17320	218,60951	3,50725	1,99038	182,63212
651342960	21/08/200	16:36:00	40,17320	218,20949	3,52580	1,98769	184,01050
651342980	21/08/200	16:36:20	40,17320	219,10851	3,55070	2,04424	184,54706
651343000	21/08/200	16:36:40	40,17320	216,70285	3,53874	2,02234	184,12987
651343020	21/08/200	16:37:00	40,08653	220,10310	3,53781	2,03638	182,21055
651343040	21/08/200	16:37:20	40,08653	217,50769	3,50725	2,02762	184,07019
651343060	21/08/200	16:37:40	40,17320	219,20817	3,53781	2,03551	182,87259
651343080	21/08/200	16:38:00	40,17320	218,60951	3,51654	2,04163	183,47237
651343100	21/08/200	16:38:20	40,17320	217,60809	3,54886	2,03988	183,65192
651343120	21/08/200	16:38:40	40,25969	218,30957	3,52210	2,02058	183,17272
651343140	21/08/200	16:39:00	40,25969	219,90454	3,51189	2,02938	182,87259
651343160	21/08/200	16:39:20	40,17320	218,10937	3,52210	2,02762	182,93265
651343180	21/08/200	16:39:40	40,17320	217,10564	3,50166	2,01440	182,93265
651343200	21/08/200	16:40:00	40,25969	217,10564	3,49420	1,99931	182,21055
651343220	21/08/200	16:40:20	40,17320	217,40725	3,50725	2,00642	184,07019
651343240	21/08/200	16:40:40	40,25969	218,50958	3,49700	1,99842	183,29264
651343260	21/08/200	16:41:00	40,17320	216,40026	3,49606	1,99485	183,71173
651343280	21/08/200	16:41:20	40,17320	219,30779	3,49233	2,02498	183,23269
651343300	21/08/200	16:41:40	40,17320	217,00502	3,50725	1,98500	181,24326
651343320	21/08/200	16:42:00	40,17320	219,60637	3,49980	1,99753	182,93265
651343340	21/08/200	16:42:20	40,17320	217,70844	3,49326	1,97150	183,23269
651343360	21/08/200	16:42:40	40,17320	218,80925	3,48578	1,97511	181,90882
651343380	21/08/200	16:43:00	40,17320	218,00921	3,53505	1,97781	182,21055
651343400	21/08/200	16:43:20	40,17320	218,40959	3,58363	2,01528	183,65192
651343420	21/08/200	16:43:40	40,17320	217,00502	3,58818	2,00198	184,12987
651343440	21/08/200	16:44:00	40,17320	219,30779	3,55070	2,00198	184,01050
651343460	21/08/200	16:44:20	40,17320	218,10937	3,54610	1,99038	183,11273
651343480	21/08/200	16:44:40	40,08653	217,00502	3,53781	1,98680	184,30878
651343500	21/08/200	16:45:00	40,17320	216,19830	3,52950	1,98231	183,77152
651343520	21/08/200	16:45:20	40,08653	218,00921	3,55713	2,01086	183,41248
651343540	21/08/200	16:45:40	40,08653	216,19830	3,49793	1,98141	183,53224
651343560	21/08/200	16:46:00	40,08653	215,59129	3,49140	1,97511	183,23269
651343580	21/08/200	16:46:20	40,17320	218,70940	3,50539	1,99842	183,59209
651343600	21/08/200	16:46:40	40,17320	214,47396	3,50445	1,94969	181,84842
651343620	21/08/200	16:47:00	40,25969	219,40736	3,54426	2,03901	183,47237
651343640	21/08/200	16:47:20	40,25969	215,59129	3,53135	2,01263	184,12987
651343660	21/08/200	16:47:40	40,34599	218,00921	3,52765	2,00376	182,69227
651343680	21/08/200	16:48:00	40,34599	217,80874	3,50539	2,00198	184,01050
651343700	21/08/200	16:48:20	40,25969	218,20949	3,53320	2,01440	182,75239
651343720	21/08/200	16:48:40	40,25969	218,90905	3,52117	2,02410	184,90390
651343740	21/08/200	16:49:00	40,25969	218,30957	3,50445	2,00642	182,75239
651343760	21/08/200	16:49:20	40,25969	218,70940	3,54334	2,02234	182,75239
651343780	21/08/200	16:49:40	40,25969	218,60951	3,49326	1,99396	183,11273
651343800	21/08/200	16:50:00	40,25969	217,00502	3,47547	1,98321	182,75239
651343820	21/08/200	16:50:20	40,25969	215,48995	3,48391	1,99485	183,29264
651343840	21/08/200	16:50:40	40,34599	217,90900	3,50539	2,00376	182,87259
651343860	21/08/200	16:51:00	40,34599	217,40725	3,49700	2,00109	183,17272

TIEMPO	FECHA	HORA	FRC7010	LIC7001	LIC7002	LIC7003	LIC7007
651342940	21/08/200	16:35:40	47,05694	50,56152	21,21582	22,11914	29,05273
651342960	21/08/200	16:36:00	47,21233	50,80566	21,28906	23,75488	31,10352
651342980	21/08/200	16:36:20	47,31564	50,17090	21,21582	23,21777	29,71191
651343000	21/08/200	16:36:40	47,08287	50,51270	21,36230	22,33887	28,78418
651343020	21/08/200	16:37:00	46,82289	50,75684	21,19141	22,94922	30,02930
651343040	21/08/200	16:37:20	46,58766	50,53711	21,16699	22,70508	29,83398
651343060	21/08/200	16:37:40	46,11361	50,51270	21,11816	23,33984	29,15039
651343080	21/08/200	16:38:00	45,92793	50,68359	21,16699	22,85156	29,22363
651343100	21/08/200	16:38:20	45,98106	50,51270	21,14258	22,19238	28,00293
651343120	21/08/200	16:38:40	46,32490	50,39063	21,14258	23,09570	30,27344
651343140	21/08/200	16:39:00	47,13470	50,48828	21,11816	23,21777	29,93164
651343160	21/08/200	16:39:20	47,41872	50,70801	21,02051	22,41211	28,71094
651343180	21/08/200	16:39:40	47,67546	50,56152	20,92285	23,02246	29,71191
651343200	21/08/200	16:40:00	47,72664	50,48828	20,82520	22,97363	29,68750
651343220	21/08/200	16:40:20	47,44446	50,90332	20,94727	23,33984	29,39453
651343240	21/08/200	16:40:40	46,95306	50,53711	20,89844	21,85059	27,95410
651343260	21/08/200	16:41:00	46,64004	50,36621	20,92285	22,90039	30,15137
651343280	21/08/200	16:41:20	46,45646	50,68359	20,94727	22,99805	29,88281
651343300	21/08/200	16:41:40	46,32490	50,41504	21,21582	22,80273	29,76074
651343320	21/08/200	16:42:00	46,19295	50,70801	21,26465	22,63184	29,85840
651343340	21/08/200	16:42:20	46,14007	50,68359	21,31348	21,80176	28,19824
651343360	21/08/200	16:42:40	46,21937	50,36621	21,28906	22,29004	29,00391
651343380	21/08/200	16:43:00	46,06063	50,73242	21,28906	23,19336	30,17578
651343400	21/08/200	16:43:20	46,03412	50,48828	21,21582	23,21777	29,76074
651343420	21/08/200	16:43:40	46,21937	50,56152	21,28906	22,46094	29,29688
651343440	21/08/200	16:44:00	46,64004	50,53711	21,43555	22,11914	28,14941
651343460	21/08/200	16:44:20	46,84895	50,92773	21,70410	22,87598	29,93164
651343480	21/08/200	16:44:40	46,84895	50,63477	21,65527	21,82617	28,29590
651343500	21/08/200	16:45:00	46,84895	50,46387	21,92383	23,70605	29,76074
651343520	21/08/200	16:45:20	47,08287	50,53711	21,94824	22,50977	30,12695
651343540	21/08/200	16:45:40	48,28605	50,36621	22,24121	21,36230	28,17383
651343560	21/08/200	16:46:00	48,66379	50,73242	22,60742	22,14355	30,59082
651343580	21/08/200	16:46:20	48,71393	50,56152	22,53418	22,68066	30,73730
651343600	21/08/200	16:46:40	48,66379	50,24414	22,58301	22,77832	30,20020
651343620	21/08/200	16:47:00	48,28605	50,58594	22,33887	22,53418	28,93066
651343640	21/08/200	16:47:20	48,13413	50,75684	22,33887	22,77832	29,78516
651343660	21/08/200	16:47:40	48,08338	50,63477	22,43652	22,85156	29,63867
651343680	21/08/200	16:48:00	47,82884	50,51270	22,29004	22,58301	29,07715
651343700	21/08/200	16:48:20	47,41872	50,61035	22,24121	23,19336	29,41895
651343720	21/08/200	16:48:40	47,52158	50,61035	22,04590	22,77832	28,83301
651343740	21/08/200	16:49:00	47,77777	50,56152	22,19238	22,99805	29,61426
651343760	21/08/200	16:49:20	48,15948	50,21973	21,99707	23,48633	29,58984
651343780	21/08/200	16:49:40	48,53820	50,39063	22,09473	23,31543	29,39453
651343800	21/08/200	16:50:00	48,53820	50,63477	21,82617	22,75391	29,12598
651343820	21/08/200	16:50:20	48,48788	50,58594	21,80176	22,65625	29,83398
651343840	21/08/200	16:50:40	48,36184	50,53711	21,63086	21,92383	28,07617
651343860	21/08/200	16:51:00	47,87985	50,58594	21,55762	22,80273	30,15137

TIEMPO	FECHA	HORA	LR7002	LR7004	LRC7005	MIC7003	PI7001
651342940	21/08/200	16:35:40	45,62988	35,27832	24,56055	0,00000	1,27441
651342960	21/08/200	16:36:00	45,62988	35,30273	24,51172	0,00000	1,28711
651342980	21/08/200	16:36:20	45,60547	35,20508	24,46289	0,00000	1,29980
651343000	21/08/200	16:36:40	45,65430	35,20508	24,38965	0,00000	1,29004
651343020	21/08/200	16:37:00	45,62988	35,20508	24,41406	0,00000	1,29395
651343040	21/08/200	16:37:20	45,65430	35,15625	24,87793	0,00000	1,29785
651343060	21/08/200	16:37:40	45,65430	35,10742	25,17090	0,00000	1,29688
651343080	21/08/200	16:38:00	45,60547	35,08301	25,19531	0,00000	1,29395
651343100	21/08/200	16:38:20	45,62988	35,08301	25,19531	0,00000	1,26758
651343120	21/08/200	16:38:40	45,60547	35,05859	25,31738	0,00000	1,25977
651343140	21/08/200	16:39:00	45,60547	35,03418	25,36621	0,00000	1,26953
651343160	21/08/200	16:39:20	45,60547	35,03418	25,29297	0,00000	1,26563
651343180	21/08/200	16:39:40	45,62988	35,00977	25,31738	0,00000	1,26563
651343200	21/08/200	16:40:00	45,65430	35,00977	25,31738	0,00000	1,26953
651343220	21/08/200	16:40:20	45,65430	35,00977	25,43945	0,00000	1,25977
651343240	21/08/200	16:40:40	45,67871	34,98535	25,43945	0,00000	1,25195
651343260	21/08/200	16:41:00	45,65430	35,00977	25,43945	0,00000	1,24902
651343280	21/08/200	16:41:20	45,62988	35,03418	25,21973	0,00000	1,25293
651343300	21/08/200	16:41:40	45,62988	35,03418	25,04883	0,00000	1,24121
651343320	21/08/200	16:42:00	45,65430	34,98535	24,95117	0,00000	1,25391
651343340	21/08/200	16:42:20	45,65430	34,93652	24,80469	0,00000	1,25293
651343360	21/08/200	16:42:40	45,65430	34,91211	25,00000	0,00000	1,24023
651343380	21/08/200	16:43:00	45,62988	34,88770	24,75586	0,00000	1,25879
651343400	21/08/200	16:43:20	45,65430	34,86328	24,73145	0,00000	1,27148
651343420	21/08/200	16:43:40	45,65430	34,83887	24,65820	0,00000	1,25977
651343440	21/08/200	16:44:00	45,65430	34,83887	24,73145	0,00000	1,25977
651343460	21/08/200	16:44:20	45,65430	34,83887	24,65820	0,00000	1,25391
651343480	21/08/200	16:44:40	45,67871	34,79004	24,56055	0,00000	1,25195
651343500	21/08/200	16:45:00	45,70313	34,81445	24,68262	0,00000	1,24316
651343520	21/08/200	16:45:20	45,70313	34,83887	24,63379	0,00000	1,25391
651343540	21/08/200	16:45:40	45,67871	34,88770	24,80469	0,00000	1,23242
651343560	21/08/200	16:46:00	45,67871	34,86328	24,82910	0,00000	1,24414
651343580	21/08/200	16:46:20	45,67871	34,86328	24,90234	0,00000	1,25684
651343600	21/08/200	16:46:40	45,67871	34,86328	25,02441	0,00000	1,26563
651343620	21/08/200	16:47:00	45,72754	34,79004	25,34180	0,00000	1,29199
651343640	21/08/200	16:47:20	45,75195	34,74121	25,26855	0,00000	1,27832
651343660	21/08/200	16:47:40	45,75195	34,66797	25,31738	0,00000	1,28516
651343680	21/08/200	16:48:00	45,75195	34,66797	25,39063	0,00000	1,27148
651343700	21/08/200	16:48:20	45,75195	34,54590	25,51270	0,00000	1,28711
651343720	21/08/200	16:48:40	45,75195	34,47266	25,46387	0,00000	1,27734
651343740	21/08/200	16:49:00	45,75195	34,42383	25,26855	0,00000	1,28418
651343760	21/08/200	16:49:20	45,75195	34,42383	25,21973	0,00000	1,28613
651343780	21/08/200	16:49:40	45,75195	34,37500	25,43945	0,00000	1,27441
651343800	21/08/200	16:50:00	45,77637	34,35059	25,34180	0,00000	1,27246
651343820	21/08/200	16:50:20	45,75195	34,32617	25,43945	0,00000	1,28125
651343840	21/08/200	16:50:40	45,77637	34,30176	25,31738	0,00000	1,27734
651343860	21/08/200	16:51:00	45,75195	34,22852	25,12207	0,00000	1,27051

TIEMPO	FECHA	HORA	PI7002	PI7003	PI7004	PIC7009	PIC7010
651342940	21/08/200	16:35:40	5,95703	-20,96191	-26,57227	24,62402	11,41846
651342960	21/08/200	16:36:00	5,97656	-21,04248	-26,82129	24,62402	11,44775
651342980	21/08/200	16:36:20	6,01074	-21,16699	-26,93115	24,57275	11,11816
651343000	21/08/200	16:36:40	6,00098	-21,12305	-26,78467	24,55078	11,08154
651343020	21/08/200	16:37:00	6,00586	-21,12305	-26,88721	24,53613	11,05957
651343040	21/08/200	16:37:20	6,15723	-21,20361	-26,95313	24,51416	11,05225
651343060	21/08/200	16:37:40	6,17676	-21,14502	-26,89453	24,47754	11,08154
651343080	21/08/200	16:38:00	6,21094	-21,19629	-26,98975	24,42627	11,29395
651343100	21/08/200	16:38:20	6,28418	-21,05713	-26,68213	24,42627	11,44775
651343120	21/08/200	16:38:40	6,12305	-21,00586	-26,66016	24,40430	11,57227
651343140	21/08/200	16:39:00	5,82520	-21,18164	-26,90918	24,40430	11,70410
651343160	21/08/200	16:39:20	5,88379	-21,15234	-26,81396	24,40430	11,65283
651343180	21/08/200	16:39:40	5,92773	-21,17432	-26,90918	24,38965	11,77734
651343200	21/08/200	16:40:00	5,98633	-21,21094	-26,96777	24,39697	11,79932
651343220	21/08/200	16:40:20	6,10840	-21,20361	-26,96777	24,39697	11,77734
651343240	21/08/200	16:40:40	6,19141	-21,10840	-26,71875	24,39697	11,68945
651343260	21/08/200	16:41:00	6,25000	-21,05713	-26,76270	24,39697	11,68213
651343280	21/08/200	16:41:20	6,21094	-21,13770	-26,89453	24,40430	11,51367
651343300	21/08/200	16:41:40	5,88379	-21,12305	-26,82861	24,41162	11,36719
651343320	21/08/200	16:42:00	5,88379	-21,18164	-26,93848	24,44824	11,24268
651343340	21/08/200	16:42:20	6,05957	-21,21094	-26,83594	24,45557	11,22803
651343360	21/08/200	16:42:40	6,10840	-20,99121	-26,61621	24,46289	11,23535
651343380	21/08/200	16:43:00	6,11816	-21,10840	-26,87256	24,46289	11,24268
651343400	21/08/200	16:43:20	6,26953	-21,16699	-26,95313	24,46289	11,25000
651343420	21/08/200	16:43:40	6,25977	-21,17432	-26,93848	24,47754	11,26465
651343440	21/08/200	16:44:00	6,13281	-21,22559	-26,96045	24,49951	11,27930
651343460	21/08/200	16:44:20	5,88379	-21,21826	-26,97510	24,55078	11,30127
651343480	21/08/200	16:44:40	5,97168	-21,17432	-26,79932	24,58008	11,39648
651343500	21/08/200	16:45:00	6,18164	-21,09375	-26,84326	24,58008	11,39648
651343520	21/08/200	16:45:20	6,18652	-21,17432	-26,95313	24,58008	11,39648
651343540	21/08/200	16:45:40	5,96680	-20,94727	-26,53564	24,55811	11,44775
651343560	21/08/200	16:46:00	5,77148	-20,92529	-26,55029	24,54346	11,54297
651343580	21/08/200	16:46:20	5,68848	-21,10107	-26,85059	24,54346	11,52100
651343600	21/08/200	16:46:40	5,81055	-21,13037	-26,86523	24,47021	11,52100
651343620	21/08/200	16:47:00	6,05957	-21,21826	-26,91650	24,49951	11,74072
651343640	21/08/200	16:47:20	6,07910	-21,16699	-26,96045	24,52881	11,44775
651343660	21/08/200	16:47:40	6,05469	-21,23291	-27,01904	24,52881	11,37451
651343680	21/08/200	16:48:00	5,97656	-21,15234	-26,90186	24,54346	11,36719
651343700	21/08/200	16:48:20	6,06445	-21,25488	-27,02637	24,52881	11,35986
651343720	21/08/200	16:48:40	6,11328	-21,15967	-26,88721	24,48486	11,50635
651343740	21/08/200	16:49:00	6,11328	-21,21094	-27,00439	24,46289	11,58691
651343760	21/08/200	16:49:20	5,95703	-21,25488	-27,01904	24,45557	11,56494
651343780	21/08/200	16:49:40	5,76172	-21,27686	-27,04102	24,42627	11,55762
651343800	21/08/200	16:50:00	5,86914	-21,16699	-26,88721	24,44092	11,47705
651343820	21/08/200	16:50:20	5,97168	-21,23291	-26,98242	24,45557	11,34521
651343840	21/08/200	16:50:40	6,03516	-21,24756	-26,87988	24,46289	11,33057
651343860	21/08/200	16:51:00	5,99609	-21,02051	-26,68213	24,47021	11,16211

TIEMPO	FECHA	HORA	PRC7001	PRC7002	PRC7003	FRC7007A	LRC7006
651342940	21/08/200	16:35:40	89,40430	13,03711	18,75000	86,93683	49,43848
651342960	21/08/200	16:36:00	89,30664	12,94922	18,77441	88,45770	49,26758
651342980	21/08/200	16:36:20	88,76953	12,94189	18,81104	89,31515	48,77930
651343000	21/08/200	16:36:40	88,96484	13,05908	18,77441	86,27682	48,36426
651343020	21/08/200	16:37:00	88,96484	13,01514	18,73779	87,73677	48,70605
651343040	21/08/200	16:37:20	88,96484	13,09204	18,75000	88,45770	48,46191
651343060	21/08/200	16:37:40	88,91602	13,11768	18,70117	88,67284	48,73047
651343080	21/08/200	16:38:00	88,81836	13,00781	18,64014	87,37407	49,04785
651343100	21/08/200	16:38:20	88,91602	12,89795	18,64014	88,09797	49,82910
651343120	21/08/200	16:38:40	89,06250	12,84668	18,65234	88,81598	49,92676
651343140	21/08/200	16:39:00	89,01367	12,80273	18,76221	87,73677	49,65820
651343160	21/08/200	16:39:20	89,01367	12,85400	18,73779	86,86374	49,75586
651343180	21/08/200	16:39:40	89,06250	12,90527	18,75000	88,09797	49,60938
651343200	21/08/200	16:40:00	89,30664	13,01880	18,76221	88,09797	48,80371
651343220	21/08/200	16:40:20	89,20898	13,15796	18,82324	87,30135	47,21680
651343240	21/08/200	16:40:40	89,16016	13,11401	18,81104	88,81598	47,24121
651343260	21/08/200	16:41:00	89,30664	12,98584	18,82324	88,81598	47,94922
651343280	21/08/200	16:41:20	88,91602	12,83569	18,93311	88,74444	48,16895
651343300	21/08/200	16:41:40	89,30664	12,93823	18,82324	87,59187	49,09668
651343320	21/08/200	16:42:00	89,16016	13,03345	18,83545	89,24401	49,46289
651343340	21/08/200	16:42:20	89,40430	13,11035	18,76221	87,22856	49,46289
651343360	21/08/200	16:42:40	89,69727	13,20557	18,67676	88,67284	49,24316
651343380	21/08/200	16:43:00	89,11133	13,31909	18,60352	89,10156	48,90137
651343400	21/08/200	16:43:20	88,86719	13,07373	18,65234	88,38588	48,82813
651343420	21/08/200	16:43:40	88,96484	12,91626	18,68896	89,17282	48,19336
651343440	21/08/200	16:44:00	89,01367	12,72949	18,75000	89,03025	48,14453
651343460	21/08/200	16:44:20	89,20898	13,06641	18,73779	88,81598	48,73047
651343480	21/08/200	16:44:40	89,11133	13,12500	18,70117	88,52948	48,90137
651343500	21/08/200	16:45:00	89,20898	12,95654	18,65234	88,52948	48,77930
651343520	21/08/200	16:45:20	88,72070	12,79175	18,67676	86,64411	49,09668
651343540	21/08/200	16:45:40	89,35547	12,59399	18,83545	88,17004	49,16992
651343560	21/08/200	16:46:00	89,40430	12,71118	18,87207	88,81598	49,14551
651343580	21/08/200	16:46:20	89,20898	12,86499	18,93311	88,17004	48,87695
651343600	21/08/200	16:46:40	89,40430	13,06641	18,82324	87,80913	48,65723
651343620	21/08/200	16:47:00	88,62305	12,97119	18,81104	88,88746	48,65723
651343640	21/08/200	16:47:20	88,86719	12,86499	18,85986	89,10156	49,36523
651343660	21/08/200	16:47:40	89,11133	12,87598	18,94531	89,17282	49,58496
651343680	21/08/200	16:48:00	89,11133	12,93823	18,89648	88,24204	49,95117
651343700	21/08/200	16:48:20	88,86719	12,91626	18,85986	86,93683	49,82910
651343720	21/08/200	16:48:40	88,81836	12,81738	18,78662	89,74080	50,46387
651343740	21/08/200	16:49:00	88,96484	12,79907	18,84766	87,59187	50,63477
651343760	21/08/200	16:49:20	88,96484	12,69287	18,95752	88,02585	50,56152
651343780	21/08/200	16:49:40	89,35547	12,85767	18,87207	89,52823	50,36621
651343800	21/08/200	16:50:00	89,25781	13,00781	18,90869	87,66435	49,75586
651343820	21/08/200	16:50:20	89,30664	13,04077	18,85986	88,02585	49,21875
651343840	21/08/200	16:50:40	89,25781	13,05908	18,89648	87,59187	49,24316
651343860	21/08/200	16:51:00	89,25781	13,01514	18,90869	89,03025	48,82813

TIEMPO	FECHA	HORA	FRC7007B	RRC	FC	TR7003_6	TR7003_5
651342940	21/08/200	16:35:40	90,44577	74,24028	1,51755	324,00000	239,00000
651342960	21/08/200	16:36:00	90,51596	81,02615	1,54014	324,00000	239,00000
651342980	21/08/200	16:36:20	90,51596	77,20864	1,53383	324,00000	239,00000
651343000	21/08/200	16:36:40	90,16444	76,54400	1,51766	324,00000	239,00000
651343020	21/08/200	16:37:00	91,14528	77,32699	1,51697	324,00000	239,00000
651343040	21/08/200	16:37:20	88,17004	76,61142	1,53098	324,00000	239,00000
651343060	21/08/200	16:37:40	90,02345	77,35649	1,52727	323,00000	239,00000
651343080	21/08/200	16:38:00	87,80913	78,41313	1,52417	323,00000	239,00000
651343100	21/08/200	16:38:20	87,80913	75,46430	1,53156	323,00000	239,00000
651343120	21/08/200	16:38:40	88,52948	76,10447	1,53239	324,00000	239,00000
651343140	21/08/200	16:39:00	89,17282	80,33140	1,53137	324,00000	239,00000
651343160	21/08/200	16:39:20	89,38623	75,74309	1,52408	325,00000	239,00000
651343180	21/08/200	16:39:40	89,81155	77,02316	1,52519	325,00000	239,00000
651343200	21/08/200	16:40:00	90,86612	77,28781	1,51296	325,00000	239,00000
651343220	21/08/200	16:40:20	91,28454	77,75102	1,51645	324,00000	239,00000
651343240	21/08/200	16:40:40	90,79620	74,15003	1,52195	324,00000	239,00000
651343260	21/08/200	16:41:00	90,02345	75,28938	1,52433	324,00000	239,00000
651343280	21/08/200	16:41:20	88,67284	78,94258	1,52145	324,00000	239,00000
651343300	21/08/200	16:41:40	88,24204	75,05299	1,50493	323,00000	239,00000
651343320	21/08/200	16:42:00	89,52823	77,00011	1,52261	323,00000	239,00000
651343340	21/08/200	16:42:20	89,88224	76,62947	1,51637	323,00000	239,00000
651343360	21/08/200	16:42:40	88,95889	72,51928	1,51482	323,00000	239,00000
651343380	21/08/200	16:43:00	91,28454	79,13551	1,51115	323,00000	239,00000
651343400	21/08/200	16:43:20	91,28454	78,07440	1,52020	323,00000	239,00000
651343420	21/08/200	16:43:40	89,67000	76,67332	1,53295	324,00000	239,00000
651343440	21/08/200	16:44:00	89,74080	77,13192	1,53492	324,00000	239,00000
651343460	21/08/200	16:44:20	92,04670	77,21544	1,51972	324,00000	239,00000
651343480	21/08/200	16:44:40	88,24204	72,08072	1,53518	324,00000	239,00000
651343500	21/08/200	16:45:00	91,42359	79,10083	1,51794	324,00000	239,00000
651343520	21/08/200	16:45:20	91,97767	77,50636	1,52331	324,00000	239,00000
651343540	21/08/200	16:45:40	90,23486	73,32170	1,53539	326,00000	239,00000
651343560	21/08/200	16:46:00	89,31515	75,27817	1,51673	326,00000	239,00000
651343580	21/08/200	16:46:20	90,51596	80,20924	1,52958	326,00000	239,00000
651343600	21/08/200	16:46:40	91,49303	77,40802	1,50635	326,00000	239,00000
651343620	21/08/200	16:47:00	89,59914	76,03369	1,52162	325,00000	239,00000
651343640	21/08/200	16:47:20	89,10156	76,59191	1,53037	325,00000	239,00000
651343660	21/08/200	16:47:40	88,81598	78,18038	1,51769	325,00000	239,00000
651343680	21/08/200	16:48:00	90,51596	77,85298	1,53232	325,00000	239,00000
651343700	21/08/200	16:48:20	89,67000	76,87526	1,50524	324,00000	239,00000
651343720	21/08/200	16:48:40	90,16444	76,25493	1,54574	325,00000	239,00000
651343740	21/08/200	16:49:00	91,07557	77,27775	1,51819	325,00000	239,00000
651343760	21/08/200	16:49:20	88,81598	77,25742	1,51456	325,00000	239,00000
651343780	21/08/200	16:49:40	89,17282	78,31295	1,52082	326,00000	239,00000
651343800	21/08/200	16:50:00	89,95287	77,00975	1,52295	326,00000	239,00000
651343820	21/08/200	16:50:20	90,44577	76,98037	1,51867	325,00000	239,00000
651343840	21/08/200	16:50:40	89,88224	77,00827	1,52322	325,00000	239,00000
651343860	21/08/200	16:51:00	90,44577	75,74200	1,52314	325,00000	239,00000

TIEMPO	FECHA	HORA	DELTA_705	BALANCE	IR_7001	NIV_INTER	R_AFC_F
651342940	21/08/200	16:35:40	7,00000	-19,01337	1,45083	4,00000	1,08983
651342960	21/08/200	16:36:00	7,00000	-3,55520	1,45083	4,00000	1,08021
651342980	21/08/200	16:36:20	7,00000	17,46673	1,45083	4,00000	1,10771
651343000	21/08/200	16:36:40	7,00000	5,94002	1,45083	4,00000	1,09832
651343020	21/08/200	16:37:00	7,00000	-2,52052	1,45083	4,00000	1,11760
651343040	21/08/200	16:37:20	7,00000	9,07505	1,45083	4,00000	1,10155
651343060	21/08/200	16:37:40	7,00000	9,74410	1,45083	4,00000	1,11308
651343080	21/08/200	16:38:00	7,00000	-0,94052	1,45083	4,00000	1,11277
651343100	21/08/200	16:38:20	7,00000	6,07878	1,45083	4,00000	1,11073
651343120	21/08/200	16:38:40	7,00000	-16,50114	1,45083	4,00000	1,10310
651343140	21/08/200	16:39:00	7,00000	18,04962	1,45083	4,00000	1,10972
651343160	21/08/200	16:39:20	7,00000	12,53996	1,45083	4,00000	1,10840
651343180	21/08/200	16:39:40	7,00000	-2,75314	1,45083	4,00000	1,10117
651343200	21/08/200	16:40:00	7,00000	8,45247	1,45083	4,00000	1,09725
651343220	21/08/200	16:40:20	7,00000	9,80341	1,45083	4,00000	1,09003
651343240	21/08/200	16:40:40	7,00000	6,42902	1,45083	4,00000	1,09029
651343260	21/08/200	16:41:00	6,00000	-16,11082	1,45083	4,00000	1,08586
651343280	21/08/200	16:41:20	6,00000	16,00379	1,45083	4,00000	1,10514
651343300	21/08/200	16:41:40	6,00000	1,41932	1,45083	4,00000	1,09521
651343320	21/08/200	16:42:00	6,00000	10,08050	1,45083	4,00000	1,09195
651343340	21/08/200	16:42:20	6,00000	10,59559	1,45083	4,00000	1,07595
651343360	21/08/200	16:42:40	6,00000	-10,41628	1,45083	4,00000	1,08577
651343380	21/08/200	16:43:00	6,00000	17,00446	1,45083	4,00000	1,08545
651343400	21/08/200	16:43:20	6,00000	14,63373	1,45083	4,00000	1,09734
651343420	21/08/200	16:43:40	6,00000	12,91047	1,45083	4,00000	1,08726
651343440	21/08/200	16:44:00	6,00000	12,92080	1,45083	4,00000	1,08797
651343460	21/08/200	16:44:20	6,00000	5,44834	1,45083	4,00000	1,08697
651343480	21/08/200	16:44:40	6,00000	5,41451	1,45083	4,00000	1,07797
651343500	21/08/200	16:45:00	6,00000	-4,27082	1,45083	4,00000	1,07868
651343520	21/08/200	16:45:20	6,00000	7,63456	1,45083	4,00000	1,09636
651343540	21/08/200	16:45:40	6,00000	-7,60099	1,45083	4,00000	1,07960
651343560	21/08/200	16:46:00	6,00000	-24,72183	1,45083	4,00000	1,07792
651343580	21/08/200	16:46:20	6,00000	17,64531	1,45083	4,00000	1,08851
651343600	21/08/200	16:46:40	6,00000	17,61480	1,45083	4,00000	1,07215
651343620	21/08/200	16:47:00	7,00000	7,72243	1,45083	4,00000	1,11134
651343640	21/08/200	16:47:20	7,00000	2,46729	1,45083	4,00000	1,09305
651343660	21/08/200	16:47:40	7,00000	8,03495	1,45083	4,00000	1,09679
651343680	21/08/200	16:48:00	7,00000	10,04169	1,45083	4,00000	1,08797
651343700	21/08/200	16:48:20	7,00000	6,67033	1,45083	4,00000	1,10226
651343720	21/08/200	16:48:40	6,00000	4,51241	1,45083	4,00000	1,09468
651343740	21/08/200	16:49:00	6,00000	5,68641	1,45083	4,00000	1,09789
651343760	21/08/200	16:49:20	6,00000	6,35713	1,45083	4,00000	1,10660
651343780	21/08/200	16:49:40	6,00000	7,87690	1,45083	4,00000	1,08892
651343800	21/08/200	16:50:00	6,00000	9,64014	1,45083	4,00000	1,08519
651343820	21/08/200	16:50:20	6,00000	-1,01124	1,45083	4,00000	1,08834
651343840	21/08/200	16:50:40	6,00000	9,77834	1,45083	4,00000	1,09571
651343860	21/08/200	16:51:00	6,00000	-19,57341	1,45083	4,00000	1,09246

TIEMPO	FECHA	HORA	R_AFF_F	IIEFEN	ENERE	ENESTAN	FU
651342940	21/08/200	16:35:40	1,92039	0,00000	392,65800	0,00000	82,99747
651342960	21/08/200	16:36:00	1,91609	0,00000	392,65800	0,00000	82,39733
651342980	21/08/200	16:36:20	1,92401	0,00000	392,65800	0,00000	82,97753
651343000	21/08/200	16:36:40	1,92187	0,00000	392,65800	0,00000	83,67241
651343020	21/08/200	16:37:00	1,94161	0,00000	392,65800	0,00000	82,83785
651343040	21/08/200	16:37:20	1,90539	0,00000	392,65800	0,00000	82,91770
651343060	21/08/200	16:37:40	1,93458	0,00000	392,65800	0,00000	82,57783
651343080	21/08/200	16:38:00	1,91666	0,00000	392,65800	0,00000	83,01739
651343100	21/08/200	16:38:20	1,93239	0,00000	392,65800	0,00000	82,69794
651343120	21/08/200	16:38:40	1,92283	0,00000	392,65800	0,00000	82,43748
651343140	21/08/200	16:39:00	1,92041	0,00000	392,65800	0,00000	82,35717
651343160	21/08/200	16:39:20	1,92535	0,00000	392,65800	0,00000	82,77792
651343180	21/08/200	16:39:40	1,91418	0,00000	392,65800	0,00000	82,71794
651343200	21/08/200	16:40:00	1,91767	0,00000	392,65800	0,00000	83,05724
651343220	21/08/200	16:40:20	1,90539	0,00000	392,65800	0,00000	83,71195
651343240	21/08/200	16:40:40	1,90788	0,00000	392,65800	0,00000	83,05724
651343260	21/08/200	16:41:00	1,90302	0,00000	392,65800	0,00000	83,11697
651343280	21/08/200	16:41:20	1,90595	0,00000	392,65800	0,00000	83,05724
651343300	21/08/200	16:41:40	1,93510	0,00000	392,65800	0,00000	83,05724
651343320	21/08/200	16:42:00	1,91316	0,00000	392,65800	0,00000	82,85782
651343340	21/08/200	16:42:20	1,90646	0,00000	392,65800	0,00000	83,33562
651343360	21/08/200	16:42:40	1,91623	0,00000	392,65800	0,00000	82,81788
651343380	21/08/200	16:43:00	1,94009	0,00000	392,65800	0,00000	83,15677
651343400	21/08/200	16:43:20	1,95132	0,00000	392,65800	0,00000	83,31577
651343420	21/08/200	16:43:40	1,94872	0,00000	392,65800	0,00000	82,83785
651343440	21/08/200	16:44:00	1,92962	0,00000	392,65800	0,00000	82,67794
651343460	21/08/200	16:44:20	1,93657	0,00000	392,65800	0,00000	83,09707
651343480	21/08/200	16:44:40	1,91950	0,00000	392,65800	0,00000	82,79790
651343500	21/08/200	16:45:00	1,92059	0,00000	392,65800	0,00000	83,49428
651343520	21/08/200	16:45:20	1,93941	0,00000	392,65800	0,00000	83,03732
651343540	21/08/200	16:45:40	1,90589	0,00000	392,65800	0,00000	82,43748
651343560	21/08/200	16:46:00	1,90544	0,00000	392,65800	0,00000	83,31577
651343580	21/08/200	16:46:20	1,90933	0,00000	392,65800	0,00000	82,77792
651343600	21/08/200	16:46:40	1,92713	0,00000	392,65800	0,00000	83,25618
651343620	21/08/200	16:47:00	1,93177	0,00000	392,65800	0,00000	83,15677
651343640	21/08/200	16:47:20	1,91786	0,00000	392,65800	0,00000	82,97753
651343660	21/08/200	16:47:40	1,93093	0,00000	392,65800	0,00000	83,01739
651343680	21/08/200	16:48:00	1,90499	0,00000	392,65800	0,00000	82,81788
651343700	21/08/200	16:48:20	1,93333	0,00000	392,65800	0,00000	83,73171
651343720	21/08/200	16:48:40	1,90433	0,00000	392,65800	0,00000	82,49766
651343740	21/08/200	16:49:00	1,91760	0,00000	392,65800	0,00000	83,01739
651343760	21/08/200	16:49:20	1,93888	0,00000	392,65800	0,00000	83,21643
651343780	21/08/200	16:49:40	1,90771	0,00000	392,65800	0,00000	83,03732
651343800	21/08/200	16:50:00	1,90174	0,00000	392,65800	0,00000	82,75793
651343820	21/08/200	16:50:20	1,90074	0,00000	392,65800	0,00000	83,23631
651343840	21/08/200	16:50:40	1,91685	0,00000	392,65800	0,00000	82,79790
651343860	21/08/200	16:51:00	1,90913	0,00000	392,65800	0,00000	82,93765

TIEMPO	FECHA	HORA	SERV	VI
651342940	21/08/200	16:35:40	0,00000	87,97161
651342960	21/08/200	16:36:00	0,00000	87,97161
651342980	21/08/200	16:36:20	0,00000	87,97161
651343000	21/08/200	16:36:40	0,00000	87,97161
651343020	21/08/200	16:37:00	0,00000	87,96119
651343040	21/08/200	16:37:20	0,00000	87,96119
651343060	21/08/200	16:37:40	0,00000	87,97161
651343080	21/08/200	16:38:00	0,00000	87,96119
651343100	21/08/200	16:38:20	0,00000	87,97161
651343120	21/08/200	16:38:40	0,00000	87,96119
651343140	21/08/200	16:39:00	0,00000	87,96119
651343160	21/08/200	16:39:20	0,00000	87,97161
651343180	21/08/200	16:39:40	0,00000	87,97161
651343200	21/08/200	16:40:00	0,00000	87,96119
651343220	21/08/200	16:40:20	0,00000	87,96119
651343240	21/08/200	16:40:40	0,00000	87,96119
651343260	21/08/200	16:41:00	0,00000	87,97161
651343280	21/08/200	16:41:20	0,00000	87,96119
651343300	21/08/200	16:41:40	0,00000	87,96119
651343320	21/08/200	16:42:00	0,00000	87,97161
651343340	21/08/200	16:42:20	0,00000	87,96119
651343360	21/08/200	16:42:40	0,00000	87,96119
651343380	21/08/200	16:43:00	0,00000	87,96119
651343400	21/08/200	16:43:20	0,00000	87,96119
651343420	21/08/200	16:43:40	0,00000	87,96119
651343440	21/08/200	16:44:00	0,00000	87,96119
651343460	21/08/200	16:44:20	0,00000	87,97161
651343480	21/08/200	16:44:40	0,00000	87,97161
651343500	21/08/200	16:45:00	0,00000	87,97161
651343520	21/08/200	16:45:20	0,00000	87,96119
651343540	21/08/200	16:45:40	0,00000	87,96119
651343560	21/08/200	16:46:00	0,00000	87,96119
651343580	21/08/200	16:46:20	0,00000	87,96119
651343600	21/08/200	16:46:40	0,00000	87,97161
651343620	21/08/200	16:47:00	0,00000	87,97161
651343640	21/08/200	16:47:20	0,00000	87,96119
651343660	21/08/200	16:47:40	0,00000	87,97161
651343680	21/08/200	16:48:00	0,00000	87,97161
651343700	21/08/200	16:48:20	0,00000	87,96119
651343720	21/08/200	16:48:40	0,00000	87,97161
651343740	21/08/200	16:49:00	0,00000	87,97161
651343760	21/08/200	16:49:20	0,00000	87,96119
651343780	21/08/200	16:49:40	0,00000	87,96119
651343800	21/08/200	16:50:00	0,00000	87,96119
651343820	21/08/200	16:50:20	0,00000	87,97161
651343840	21/08/200	16:50:40	0,00000	87,96119
651343860	21/08/200	16:51:00	0,00000	87,97161
651343880	21/08/200	16:51:20	0,00000	87,96119

CONCLUSIONES

Partiendo de la necesidad de adquirir nuevos métodos y técnicas que permitan reemplazar el funcionamiento de un sensor real instalado, se logró diseñar un sensor virtual capaz de inferir por medio de comportamientos lógicos y algoritmos genéticos, que proceso debe realizar sobre las señales de entrada tomadas por el sensor de viscosidad, para este caso en específico la Temperatura, Presión, Flujo y Nivel, para lograr así, mejorar la calidad de su información y a su vez generar señales de control al proceso con mayor eficacia.

Como herramientas de aplicación, se tomó la identificación de variables a monitorear, el diseño de los diagramas estructurales de los componentes del proceso, el desarrollo de un modelo funcional y matemático con el cual se logra por medio de las variables de entrada obtener la relación Índice de Refracción Vs Índice de Viscosidad y además la simulación de los operadores genéticos necesarios para controlar la viscosidad óptima en el proceso de transporte de Combustóleo.

La identificación de las variables a inspeccionar se logró mediante un análisis detallado del proceso con datos de campo, en los cuáles se observó la importancia e influencia que tenían sobre la viscosidad del Combustóleo sin dejar atrás la relación existente entre la corrección de densidad adquirida por el sensor "Estándar Líquid Density Transducer" y la P, L, T y F.

El diseño de los diagramas estructurales de los componentes del proceso, se basó en la búsqueda de mejoras en la transmisión de datos, por esta razón, la unión entre la adquisición de datos, el estudio de laboratorio y la aplicación de algoritmos genéticos sobre la cadena de bits arrojada por el sensor en línea, debe ser en un lazo cerrado y además estudiada detalladamente con el fin de que la red DELTA V implementada en la planta Viscosreductora y la sección Casa Bombas 9, no afecte las acciones de predicción y control resultantes de la lógica de programación utilizada. El diagrama está compuesto por Bases de Datos de Tiempo Real (PI y DCS), por las Variables a Inferir (Sensor Real), las Variables de Entrada (P,L,T,F), los Sistemas de Monitoreo y Control de la Planta y la Aplicación (Sensor Clonado).

El modelo de medición que se diseñó, define paso a paso mediante ecuaciones, como calcular el índice de viscosidad del Combustóleo partiendo del principio fundamental del sensor real, que es el de generar una cadena de bits con ayuda de rayos refractados sobre la superficie. Además se anexó un método estadístico con el cual se lleva a cabo el estudio de los datos de campo.

Finalmente y como parte fundamental de nuestra tesis de grado, se simuló por medio de microcontroladores, PLC, LabView y MatLab, la aplicación que tiene la Clonación Artificial y los Algoritmos Genéticos sobre los procesos industriales. Con ayuda del PLC, la lógica de programación del PIC 16F877 y la programación de compuertas lógicas en LABVIEW, se visualiza la Inversión tanto total como parcial y la Mutación positiva y negativa, de 4 entradas modificables, las cuales representan las variables de entrada del proceso anteriormente mencionadas.

Y en MATLAB se diseñó un ambiente gráfico que evalúa una función predeterminada, aplicando sobre ella el Cruce y Mutación de matrices aleatorias, las cuales indican la población existente a la salida del sensor real, dando solución a la recolección, estudio y generación de datos óptimos del proceso y sirviendo como interfase de control para la programación del PLC y LabView.

RECOMENDACIONES

Para la futura implementación del sensor virtual en la planta de Viscosreducción de la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL, de Barrancabermeja, sugerimos la instalación del sistema de algoritmos genéticos por medio de dispositivos lógicos programables de campo, FPGAs.

Verificar el sistema de adquisición de datos y la red de campo utilizada.

Identificar y estudiar detalladamente la cadena lógica arrojada por el sensor de viscosidad en línea, con el fin de obtener mayor información acerca del proceso y de esta manera lograr un control mucho más preciso tanto del componente de baja viscosidad como el diluyente.

BIBLIOGRAFÍA

[MUÑOZ 98] MUÑOZ, A.F., Aplicación de los algoritmos genéticos en la identificación y control de bioprocesos por clonación artificial. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic V 19 No. 2 58-76, 1998

[MUÑOZ 98] MUÑOZ, A.F., Tecnología de clonación artificial on-line de sensores y controladores. Oficina Internacional de Invenciones, Patentes y Marcas, República de Cuba. Registros No. 7-789735, 2000

[MUÑOZ 98] MUÑOZ, A.F., Equipo de control genético de la composición en medios continuos on-line. Oficina Internacional de Invenciones, Patentes y Marcas, República de Cuba. Registros No. 7-789734, 2001.

[ADAM 94] ADAMI, C., Learning and complexity in genetic autoadaptive systems. California Institute of Technology, 1994.

[ADEL 95] ADELI, H., Machine Learning: Neural Networks, Genetic Algorithms, and Fuzzy Systems. John Wiley and Sons, Inc, 1995.

[AGUI 99] AGUILAR José y Pablo Miranda, Resolution of the Left Ventricle 3D Reconstruction Problem using Approaches based on Genetic Algorithms for MultiObjectives Problems. En: Proceeding of the 1999 Conference on Evolutionary Computation, pags. 913-920, Washington, USA, 1999.

[AIZA 97] AIZAWA, A., In Foundations of Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann, 1997.

[ANDR 94] ANDRE, D., Evolution of mapmaking: Learning, planning, and memory using genetic programming. In Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, Volume 1. Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1994.

[BOND 88] BOND A.H., Gasser L. (eds.) Readings in Distributed Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann. 1988.

[BRAD 97] BRADSHAW, J. (ed.). Software Agents. AAI Press/ The MIT Press. 1997.

[CHAK 91] CHAKRABORTY, U. K., & Dastidar, D. G., Artificial genetic search in the nqueens problem. Proceedings of the International AMSE Conference on Signals, Data & Systems, 1991.

[CHAK 93] CHAKRABORTY, U. K., & Dastidar, D. G., Using reliability analysis to estimate the number of generations to convergence in genetic algorithms. Information Processing Letters, 1993.

[CHAK 95] CHAK, C. K., & Feng, G., Accelerated genetic algorithms: Combined with local search techniques for fast and accurate global search. In 1995 IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Volume 1. IEEE Service Center, 1995.

[DAVI 91] DAVIS, L., Handbook of Genetic Algorithms. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

[DORI 93] DORIGO, M., & Maniezzo, V., Parallel Genetic Algorithms: Theory and Applications. Amsterdam, IOS Press, 1993.

[DORS 94] DORSEY, R. E., Johnson, J. D., & Mayer, W. J. The genetic adaptive neural network training (GANNT) algorithm for generic feedforward artificial neural systems (Technical Report). University, MS: The University of Mississippi, 1994.

[FOX 91] FOX, B. R., & McMahon, M. B., Foundations of Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann, 1991.

[FURU 97] FURUHASHI, T., Matsushita, S., & Tsutsui, H. (1997). Evolutionary fuzzy modeling using fuzzy neural networks and genetic algorithm. In Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation, IEEE, 1997.

[GOLD 89] GOLDBERG, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning. Reading: Addison-Wesley, 1989.

[GOLD 97] GOLDBERG, D. E., Zakrzewski, K., Chang, C., Gallego, P., Sutton, B., Miller, B. L., & Cant'u- Paz, E. (1997). Genetic algorithms: A bibliography (IlligAL Report No. 97002). Urbana: University of Illinois, Illinois Genetic Algorithms Laboratory.

[HEIT 00] HEITKOETTER, J. and D. Beasley, The Hitch-Hiker's Guide to Evolutionary Computation: A List of Frequently Asked Questions (FAQ). USENET: comp.ai.genetic. Disponible en <http://www.cs.bham.ac.uk/Mirrors/ftp.de.uu.net/EC/clife/www/>, 2000.

[HOFF 91] HOFFMEISTER, F., & Back, T., Genetic algorithms and evolution strategies---Similarities and differences. SpringerVerlag, 1991.

[HOLL 87] HOLLAND, J. H. (1987). Genetic algorithms and classifier systems: Foundations and future directions. Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms. Erlbaum Associates, 1987

[HOLL 92] HOLLAND, J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Second edition. Cambridge: MIT Press, 1992

[KARR 92] KARR, C. L.. *Artificial Intelligence in RealTime Control*. Pergamon Press. 1992.

[MITC 02] MITCHELL, M. *An Introduction To Genetic Algorithms*. Eight edition. Cambridge: MIT Press, 2002.

[PARK 95] PARK, Y. J., Cho, H. S., & Cha, D. H., Genetic algorithm based optimization of fuzzy logic controller using characteristic parameters. In 1995 IEEE International Conference on Evolutionary Computation, IEEE Service Center, 1995.

ANEXO A DESCRIPCIÓN DE LOS ANALIZADORES DE DENSIDAD.

PRINCIPIO BÁSICO

El analizador de densidad “Estándar Liquid Density Transducer” de la marca SOLARTRON, basa su principio de medición en un elemento vibrante, donde el elemento es electromagnéticamente excitado a su frecuencia resonante natural por la excitación de unas boinas instaladas fuera del ensamblaje del tubo. La frecuencia resonante del elemento vibrante dependerá de la densidad del fluido que lo rodea. Esta frecuencia resonante es mantenida eléctricamente y cualquier cambio es detectado y utilizado para derivar el cambio en densidad del fluido.



El analizador consiste en un tubo de 1” de diámetro interno que se mantiene en resonancia por un sistema electrónico retroalimentado el cual está diseñado para sostener las oscilaciones del elemento vibrante. La señal de salida, que es en forma de frecuencia, puede ser fácilmente transmitida y luego procesada sin pérdidas de precisión por un microtransmisor.

La densidad del líquido es determinada desde la frecuencia resonante de la vibración del tubo que contiene el líquido y la temperatura del líquido es determinada desde un termómetro de resistencia de platino de 100 Ω (PRT).

La relación entre frecuencia/densidad está dada por:

$$\rho = K_0 + K_1 T + K_2 T^2$$

donde

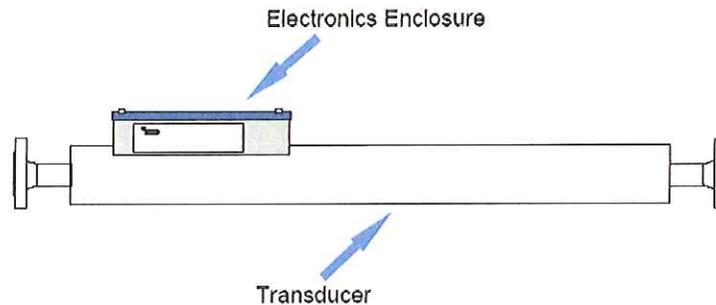
ρ = Densidad del líquido

T = periodo de tiempo a la salida del transductor

K_0, K_1, K_2 = Constantes para cada transductor

DESCRIPCION DEL EQUIPO

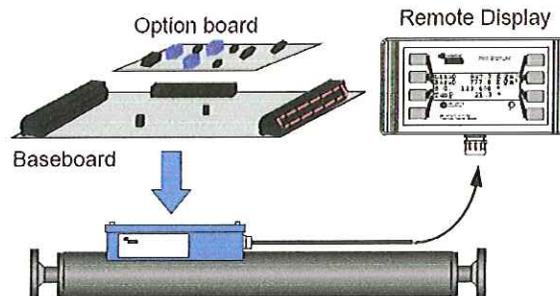
Los equipos consisten en un transductor mecánico y una unidad electrónica la cual es montada dentro del compartimiento del transductor electrónico. Juntos, la electrónica y el transductor, proveen un sistema de medición en línea continuo de densidad del líquido y temperatura.



DESCRIPCION UNIDADES ELECTRONICAS AVANZADAS

En contraste con el transductor estándar (los cuales requieren un computador de flujo / convertidor de señales para su operación), las Unidades Electrónicas Avanzadas proveen un sistema de medición completo.

Un panel de base avanzado más el transductor provee un sistema completo para la medición de la densidad del líquido y la temperatura. Un display remoto o uno de los paneles opcionales pueden ser requeridos si las salidas necesitan ser configuradas en el campo o si una funcionalidad adicional es requerida.



TARJETA BASE

La Base Board puede ser considerada el corazón del sistema. Junto con el transductor de densidad del líquido este provee un sistema completo para la medición de la densidad del líquido y la temperatura. La tarjeta base realiza un rango de cálculos útiles y provee las siguientes salidas:

Dos salidas completamente configurables de 4-20mA.

Una salida de pulso: bien sea una señal de alarma de estado, o la frecuencia del tubo transductor.

Un enlace de comunicaciones digitales RS485 utilizando un protocolo MODBUS RTU.

TARJETAS OPCIONALES

Las tarjetas opcionales encajan directamente dentro del tablero base. Dos tarjetas opcionales están disponibles:

1. Board de Switch: Provee un bajo costo de configuración del sistema avanzado
2. Board HART: Provee una salida adicional de 4 -20 mA y comunicación HART.

Solamente un tablero puede ser adaptado al tiempo.

DISPLAY REMOTO

La unidad de display remoto 7965 es significativamente conveniente para mostrar los datos calculados y para configurar o analizar la instalación del sistema. Este se comunica con la tarjeta base (Base Borrada) vía comunicación digital RS485. Un display remoto puede comunicarse con un número de transductores si ellos están conectados juntos en el mismo enlace RS485.

CALIBRACION Y FUNCIONAMIENTO

General

Los transductores de densidad líquida 7845 son calibrados en fábrica y son suministrados con sus propias evaluaciones y certificados de calibración. Este certificado especifica las constantes de varias calibraciones las cuales permiten al usuario convertir las señales de salida de tiempo periódico desde el transductor a un valor de densidad.

NOTA: Para los transductores avanzados, las constantes de calibración son pre-programadas dentro de los electrónicos y normalmente no requieren ninguna otra configuración.

Interpretación del certificado de calibración

- *Ecuación general de densidad*

Las constantes básicas del transductor, K0, K1, K2 son computadas desde la calibración de fábrica en los tres fluidos. Utilizando estas constantes y la ecuación de densidad general, la densidad del líquido dentro del transductor puede ser calculado.

La ecuación general es:

$$D = K0 + K1\tau + K2\tau^2$$

Donde:

D: la densidad sin corregir (Kg/m³) del liquido

τ : el tiempo periódico (μ s) de vibración, $1/f$ donde "f" es la frecuencia de vibración.

K0, K1 & K2: constantes desde el certificado de calibración

Es visto en el certificado de calibración que las constantes básicas son determinadas desde una temperatura de 20°C (68°F), a una presión de 1 bar. Si las condiciones de operación del transductor difieren en las condiciones de calibración, una correlación a la densidad calculada utilizando la ecuación general es requerida.

- **Corrección de la temperatura**

Si el transductor opera a una temperatura diferente a 20°C, una corrección a la densidad calculada utilizando la ecuación general de arriba debe hacerse utilizando el dato del coeficiente de temperatura dado en el certificado de calibración.

La ecuación utilizada para esta corrección es:

$$D_t = D[1 + K18(t - 20)] + K19(t - 20)$$

Donde:

D_t: es la densidad corregida por la temperatura (Kg/m³)

D: densidad calculada utilizando la ecuación 1.

T: temperatura (°C)

K18 y K19: constantes desde el certificado de calibración.

- **Corrección de la presión**

El diseño del transductor tiene una única facilidad para reducir la influencia de la línea de presión en la medición de la densidad pero hay un efecto residual el cual requiere de una corrección.

Durante la calibración del transductor, el cual es realizado normalmente a una presión de un bar, la influencia de la presión es tan bien medida. Este dato es también mostrado en el certificado de calibración.

La ecuación utilizada para aplicar la corrección de la presión es:

$$D_p = D_t[1 + K20(P - 1)] + K21(P - 1)$$

Donde:

Dp: la densidad corregida por la temperatura y presión (Kg/m³)

Dt: densidad corregida por la temperatura (Kg/m³)

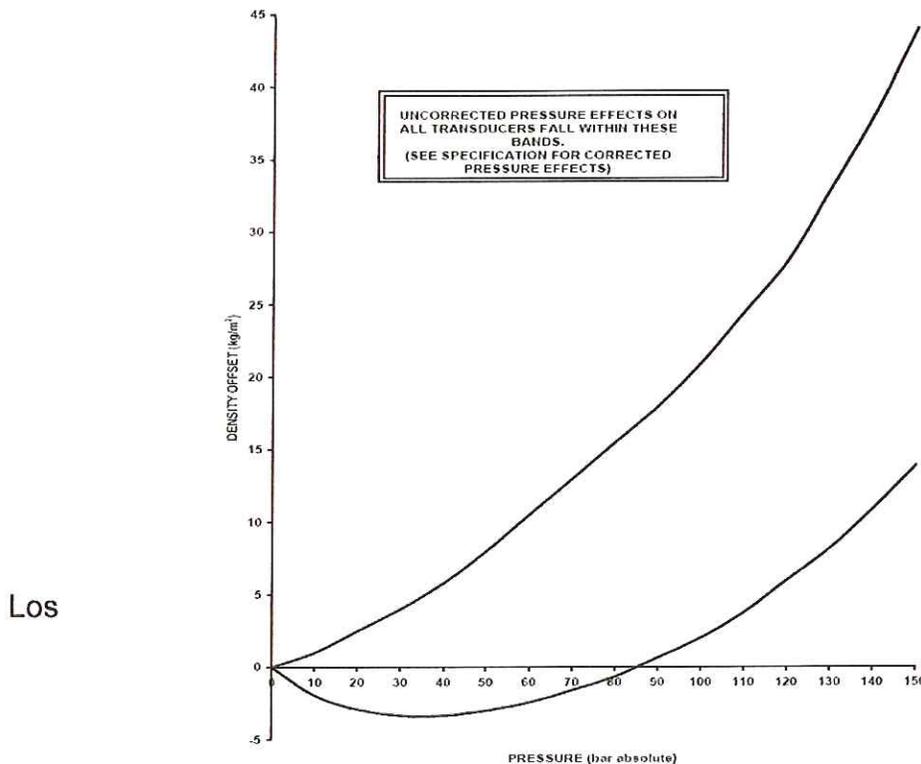
$$K20 = K20A + K20B(P - 1)$$

$$K21 = K21A + K21B(P - 1)$$

Notas:

1. K20A, K20B, K21A y K21B pueden ser utilizadas directamente en los instrumentos de señal de procesamiento Solartron.
2. La corrección de la presión es aumentada en las unidades que operan arriba de los 101 bar teniendo dos sets de constantes identificadas como "Low Fit", "High Fit". Estas permiten una operación a una presión arriba de 101 bar y a presiones mas bajas de 101 bar respectivamente.

Si se requiere aplicar ambas, la corrección de temperatura y presión, la corrección de la temperatura debe realizarse primero.



transductores de densidad líquida 7845 son calibrados antes de dejar la fábrica contra los instrumentos de transferencia estándar, trazados a estándares internacionales. Tres fluidos son utilizados en la calibración,

- Aire del Ambiente donde la calibración es derivada desde tablas,
- Un Hidrocarburo de aproximadamente 830 Kg/m³ de densidad y
- Un Fluido de una densidad alta en el rango de 1400 a 100 Kg/m³.

Varios de los instrumentos bajo prueba son conectados en paralelo entre dos instrumentos estándar en la plataforma especial de flujo de Solartron.

Durante una calibración y como los flujos de líquidos a través de los instrumentos, las lecturas son solamente tomadas cuando las densidades indicadas en los dos instrumentos estándares concuerdan. De esta manera una alta integridad de calibración es lograda.

Las mediciones son solamente realizadas bajo condiciones de temperatura y presión cambiantes para establecer la magnitud de estos efectos en el instrumento. Desde todos estos datos un certificado de calibración es generado para cada instrumento.

Las muestras de los instrumentos son probadas en el departamento de aseguramiento de la calidad Solartron para verificar la calibración.

7847EE LIQUID DENSITY TRANSDUCER

Serial No : 470761
Cal. Date : 22MAR95
Pressure Test : 30 BARS

DENSITY CALIBRATION AT 20 DEG. C AND AT 1 BAR

DENSITY PERIODIC TIME
[KG/M³] [US]

0	2816.672
1.2	(2817.355)air check
300	3093.486
600	3329.055
800	3470.582
900	3537.678
1000	3602.641
1100	3665.664
1200	3726.911
1600	3956.727

$$DENSITY = K0 + K1.T + K2.T^{**2}$$

$$\left. \begin{aligned} K0 &= 1.74180E+02 \backslash \\ K1 &= -1.10493E+00 \\ K2 &= 3.70326E-04 / \end{aligned} \right\} 0 - 3000 \text{ Kg/m}^3$$

TEMPERATURE COEFFICIENT DATA

$$Dt = D(1 + K18(t-20)) + K19(t-20)$$

$$\left. \begin{aligned} K18 &= -6.415E-04 \\ K19 &= -5.674E-01 \end{aligned} \right\}$$

PRESSURE COEFFICIENT DATA

$$DP = Dt(1 + K20(P-1)) + K21(P-1)$$

$$\left. \begin{aligned} K20 &= K20A + K20B(P-1) \\ K21 &= K21A + K21B(P-1) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} K20A &= -2.888E-04 \\ K20B &= -5.581E-06 \\ K21A &= -4.467E-01 \\ K21B &= -8.633E-03 \end{aligned} \right\}$$

where
D = Density (Uncorrected)
Dt = Density (Temp Corrected)
DP = Density (Pressure Corrected)
T = Periodic Time (uS)
t = Temperature (DEG.C)
P = Pressure Bar (Absolute)

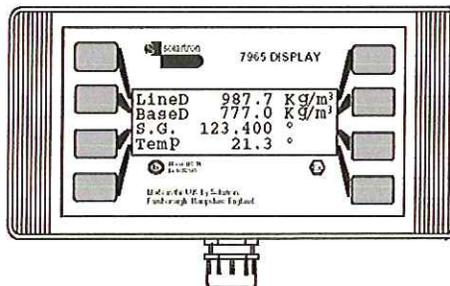
FINAL TEST &
INSPECTION

Ref No:- LD7835/V2.4

DATE : 24MAR95

USO DEL DISPLAY REMOTO DEL ANALIZADOR DE DENSIDAD 7845

En cada uno de los lados del display de cristal líquido existen 4 teclas las cuales corresponden a cada una de las líneas del texto. Estas teclas son utilizadas para introducir los datos y para navegar a través del menú.



Cada vez que usted encienda el analizador, el display mostrara siempre un pantallazo como el mostrado arriba.

La primera línea, "LineD", indica la densidad del producto a la temperatura de la línea.

La segunda línea, "BaseD", indica la densidad del producto a la temperatura y presión estándar, 15°C y 14.7 psi.

La tercera línea, muestra los °API.

Y la cuarta línea la temperatura de la línea.

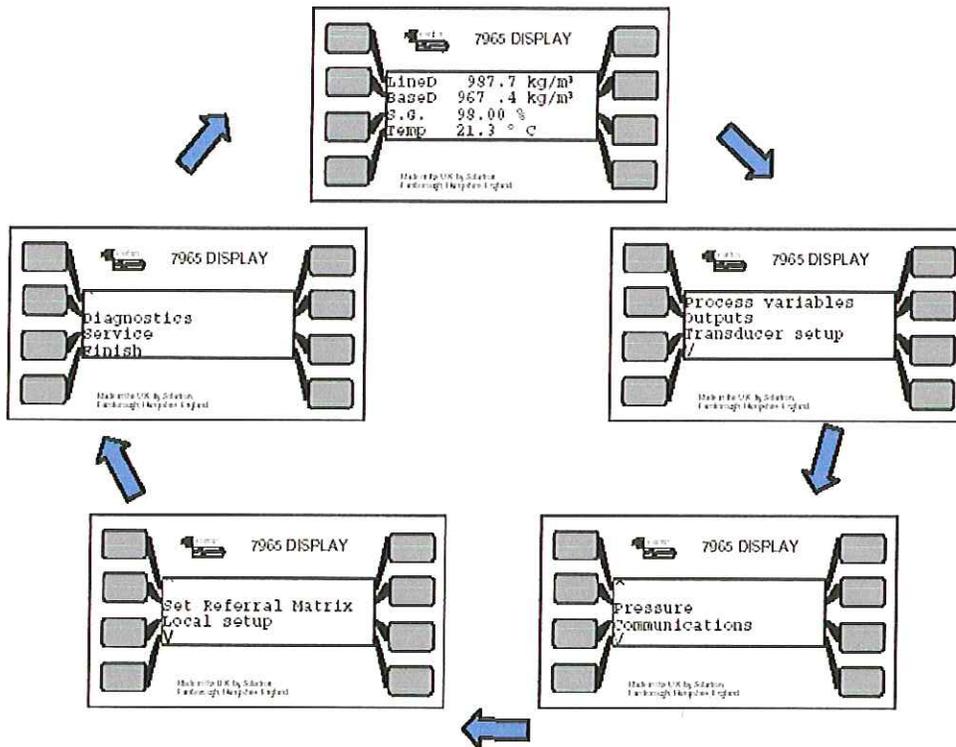
Para navegar a través del menú:

Para acceder al menú debe presionar cualquiera de las 8 teclas que se encuentran a cada lado del display, lo cual lo llevará al siguiente menú:



La estructura del menú es cíclica, ya que si presiona la flecha que muestra hacia abajo repetidamente, siempre lo llevara nuevamente al principio, como se muestra en la siguiente figura.

La mejor forma de familiarizarse con este menú es manejándolo una y otra vez. Recuerde que para acceder a cualquiera de las opciones usted solo necesita presionar la tecla del lado de la opción a la que desea acceder.



Si requiere resetear el menú, puede hacerlo presionando las cuatro teclas juntas y mantenerlas oprimidas por dos segundos. Cuando esto suceda, el display remoto re-establecerá la comunicación con el transductor y lo llevará nuevamente al menú principal, el mismo menú que muestra los datos de medición, desde los cuales la estructura del menú puede ser accedida nuevamente.

RUTINAS DE MANTENIMIENTO Y TROUBLESHOOTING

El densitometro 7845 no tiene partes móviles, lo cual reduce el mantenimiento a una inspección visual de fugas y chequeo de daño físico. Las validaciones deberán ser realizadas en intervalos de tiempo periódicos, a fin de detectar y prever un mal funcionamiento o deterioro del desempeño del transductor.

Si una falla o un bajo desempeño del transductor es descubierto, se requieren realizar mayores pruebas a fin de identificar su causa.

Sin embargo, el mantenimiento primario del equipo se orientará a la limpieza del tubo, asegurar las conexiones eléctricas y de proceso, aislar el instrumento de vibraciones externas, reemplazo del amplificador, reemplazo de la sonda de temperatura y en caso extremo reemplazo del instrumento.

PRECAUCIÓN:

Se requiere extremo cuidado en el manejo del transductor durante su transporte, instalación o desinstalación en la tubería de proceso

ANALISIS DE FALLAS

Las fallas generalmente caen dentro de 2 categorías principales:

Lecturas Erráticas – Normalmente causadas por la presencia de burbujas en el fluido del líquido, interferencias eléctricas severas o vibraciones severas de la tubería de proceso

Lecturas Fuera de Límites – Normamente causadas por deposición o corrosión del tubo resonante, lo cual requiere remover el transductor para examinarlo. Una falla eléctrica podría causar estas fallas, por lo tanto es recomendado chequear el sistema eléctrico primero.

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO

Este procedimiento es recomendado periódicamente, o en la eventualidad de encontrar algún tipo de falla en el equipo.

Inspección Física

- Examine el transductor y su estructura de montaje respectiva (Tubería, conectores de tubería, conectores eléctricos, cables eléctricos) a fin de encontrar señales de daño y corrosión
- Examine el transductor a fin de encontrar signos de fugas y el estado del disco de ruptura.

SERVICIO TECNICO

El servicio técnico esta enfocado a dos categorías: Eléctrica y Mecánica

a. Servicio Eléctrico:

Chequear el voltaje entre los terminales 7 y 8 este entre 10V y 28V.

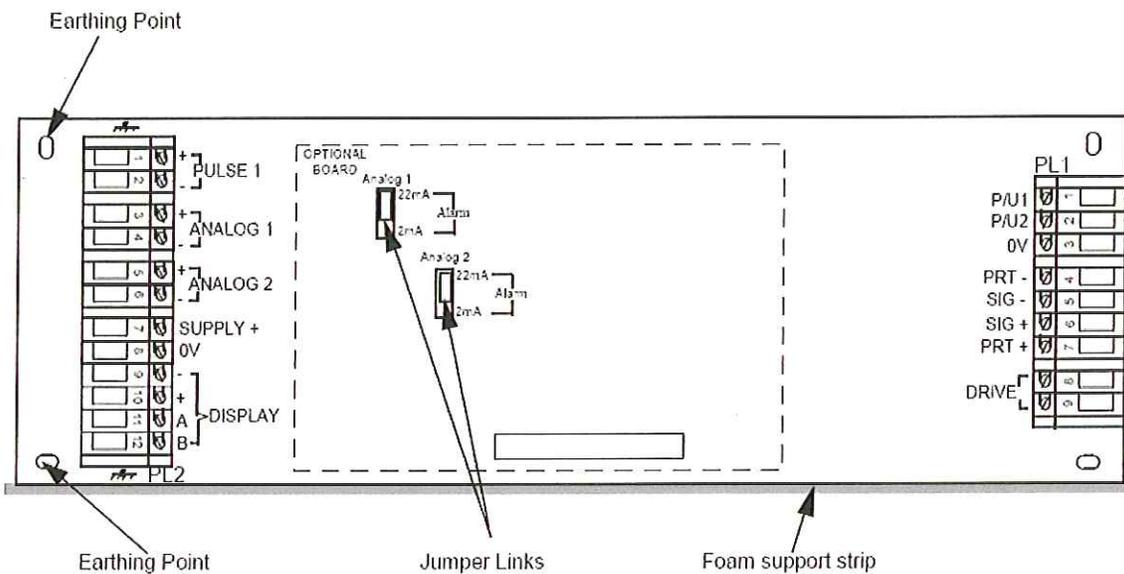
Identifique las bobinas (Terminales 1 y 2) y desconecte los cables de la bobina del amplificador. Mida la resistencia de las bobinas y debería ser: 95 +/- 5 ohms a 20 °C.

Desenergize la unidad, y chequee el sensor de temperatura (PRT 100 ohms), entre los terminales 4 y 7. El valor del elemento de resistencia es dependiente de la temperatura.

b. Servicio Mecánico

El servicio mecánico esta enfocado en asegurar que el tubo vibratorio esta limpio de deposiciones o corrosión. Los depósitos pueden ser eliminados usando un solvente (ALC). Alternativamente el instrumento puede ser removido de la tubería de proceso y limpiado manualmente.

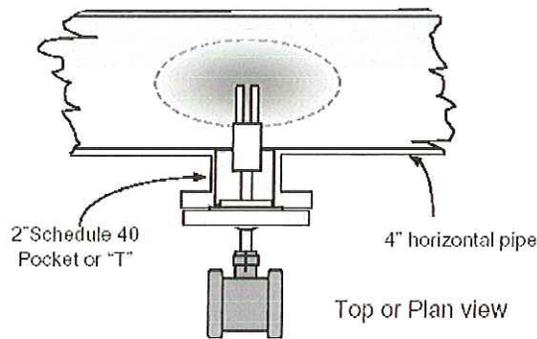
PRECUACION: Debe tenerse cuidado al limpiar la superficie interna del tubo



ANEXO B DESCRIPCIÓN DE LOS ANALIZADORES DE VISCOSIDAD

PRINCIPIO BÁSICO DE MEDICION

El analizador de viscosidad, "Viscometer 7827" de la marca SOLARTRON, basa su principio de medición en un elemento vibrante, donde el elemento es un diapasón ("tuning fork"). Este elemento es excitado en oscilaciones por un elemento piezo-resistivo posicionado en la raíz de este elemento, al mismo tiempo la frecuencia de vibración es detectada por una segunda pieza de cristal piezo eléctrico asegurado de la segunda punta.



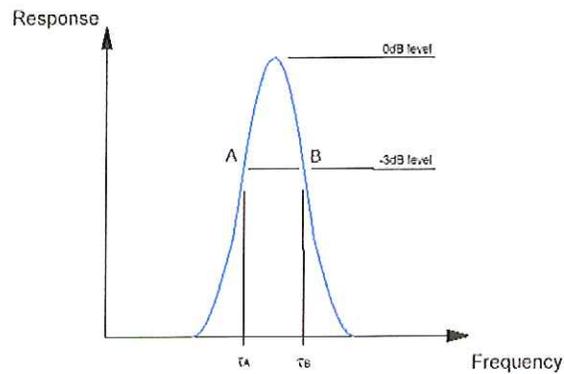
El sensor del transductor es mantenido a su primera frecuencia resonante natural, al igual que es modificado por el fluido que lo rodea y por un circuito amplificado localizado en el compartimiento electrónico.

El circuito electrónico actualmente excita el sensor en oscilaciones alternadas a dos posiciones en la curva de respuesta de frecuencia como lo muestra la figura siguiente,

Haciendo esto, el factor de calidad (Q), del resonador puede ser determinado tan bien como la frecuencia resonante.

Para derivar la viscosidad dinámica del fluido, la curva de resonancia en dos puntos de frecuencia de oscilación en el transductor es tomada, posteriormente manipulada para calcular el factor de calidad del transductor (Q) y luego es calibrada contra la viscosidad actual determinada por el estándar primario.

El factor de calidad del 7827 es calibrado contra la viscosidad dinámica en centiPoise (cP).



Curva de respuesta de frecuencia del viscosímetro 7827

DESCRIPCION DEL VISCOSIMETRO 7827

El Viscosímetro 7827 es un viscosímetro de proceso completamente soldado designado a ser montado directamente en línea. Este mide la viscosidad del fluido que lo rodea determinando el nivel del damping del fluido en el elemento resonante.

Este equipo mide las siguientes propiedades del fluido:

- Viscosidad dinámica (medida en centiPoise cP)
- Densidad (medida en Kg/m^3)
- Temperatura (medida en $^{\circ}\text{C}$ o $^{\circ}\text{F}$)

De estas propiedades, las siguientes pueden ser deducidas:

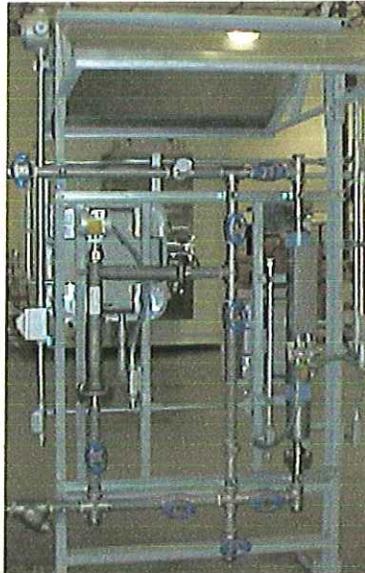
- Viscosidad cinemática (medida en centiStokes, cS)
- Viscosidad cinemática o dinámica de referencia



Su principal aplicación es en el control de proceso donde la viscosidad del producto es utilizada como el parámetro controlado para el producto terminado. El mismo producto puede variar ampliamente.

Ejemplos de diferentes aplicaciones son:

- Blending de Fuel Oil
- Blending de productos de petróleo
- Control de quemadores
- Mezcla de productos alimenticios
- Fécula, pulpa y aplicaciones de papel
- En aplicaciones de perforación de barro
- Tintas, pinturas y barnices



El 7827 puede ser interconectado a cualquiera de los siguientes convertidores de señal:

- El convertidor de señal 7851 (Panel montado)
- El convertidor de señal 7950 (Montaje de pared)

Existen una variedad de factores externos los cuales pueden afectar la capacidad del 7827 para operar satisfactoriamente. De acuerdo a la seguridad de trabajo del sistema, los efectos de esos factores deberán ser tomados en cuenta cuando se diseñe la instalación.

Hay dos factores principales a considerar:

- La precisión y repetibilidad de las medidas;
- La relevancia de las medidas de todo el propósito del sistema.

FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR LA PRECISIÓN Y REPETIBILIDAD

- La presencia de gas o burbujas sin que el fluido este siendo medido.
- No uniformidad del fluido
- La presencia de sólidos como contaminantes
- Suciedad en el transductor
- Gradiente de temperatura
- Cavitación y remolinos causados por las válvulas o discontinuidades en la tubería
- Variaciones en la rata de flujo
- La medición del fluido sin ser la representativa del flujo principal
- Limitación de los efectos los cuales afectan la medición de la región baja del transductor.

CALIBRACIÓN Y DESEMPEÑO

o Viscosidad

El viscosímetro 7827 es calibrado contra los fluidos caracterizados con los estándares primarios, antes de abandonar la fábrica. El transductor se calibra sobre una combinación de 4 rangos de viscosidades detalladas a continuación:

Rango	Rango de Viscosidad (cP)
Ultra bajo	0.5-10
Bajo	1-100
Medio	100-1000
Alto	1000-12500

El número del tipo de transductor en el certificado de la calibración del transductor indica los rangos sobre los cuales el 7827 ha sido calibrado. Un código hecho de cuatro dígitos y es automáticamente calibrado por un software en la fabrica.

El siguiente tipo de transductor proporciona los siguientes códigos de viscosidad los cuales pueden ser utilizados en cualquier combinación:

11 Tipo de Transductor	Código de viscosidad	Rangos cubiertos
7827 ***U	0001	Ultra bajo solamente
7827 ***L	0010	Bajo solamente
7827 ***M	0100	Mediano solamente
7827 ***H	1000	Alto solamente

La calibración por default del viscosímetro 7827 es en condiciones de “corrientes libres”, donde el efecto de los bordes de sólido es despreciable en la salida del transductor. La calibración puede realizarse en un “tee-piece”, el caso en el cual la parte del numero de arriba tiene éxito por una “T”. Note que la unidad de alto rango no puede ser ordenada por una calibración “tee-piece”.

Las unidades de higiene pueden ser calibradas en diámetros higiénicos de 2”, 2 ½, 3” si es requerido.

Tres fluidos son utilizados para establecer las constantes de la ecuación de viscosidad general para cada rango de viscosidad requerido.

El instrumento bajo evaluación es inmerso en el fluido de calibración el cual ha sido previamente caracterizado por los parámetros estándares de viscosidad y densidad. Una gran atención se coloca en la ecuación de la temperatura y la homogeneidad del fluido dentro del tanque antes que los datos de calibración se tomen. Este procedimiento es repetido para cada calibración del fluido y para cada rango de calibración de viscosidad requerido.

Una vez el transductor ha sido pasado a través del fluido necesario el certificado de la calibración de fabrica es producido de los datos medidos.

Un cuarto fluido es utilizado en un doble chequeo para verificar la calibración para cada rango de viscosidad. Cada revisión es monitoreada por el departamento de aseguramiento de la calidad de Solartron.

o **Densidad**

El viscosímetro 7827 es calibrado dentro del estándar oculto contra la trazabilidad de los instrumentos de transferencia estándares a los estándares nacionales, antes de dejar la fábrica.

Tres fluidos con rangos de densidad entre 1-1000 kg/m³ son utilizados para establecer las constantes de la ecuación general de densidad. Los coeficientes de temperatura son derivados desde el punto de aire y de las propiedades de la materia.

El procedimiento de calibración se lleva a cabo en unidades inmersas en fluidos cuya densidad es definida por los estándares de transferencia. Una gran atención es puesta para producir un equilibrio en la temperatura entre el fluido, la unidad bajo evaluación y el estándar de transferencia. De esta manera, la exactitud de los coeficientes de la calibración que cubran los rangos de densidad requeridos pueden ser producidos.

Todos los instrumentos son vueltos a revisar en agua para verificar el calculo. La revisión es monitoreada por el departamento de aseguramiento de la calidad de Solartron.

Donde sea importante la corrección de la viscosidad, las mediciones de la temperatura de cada calibración de viscosidad del fluido son trasladadas a densidad a través de una caracterización previa del fluido utilizando estándares primarios. Este método es utilizado para asegurar el offset de la densidad debido a la viscosidad para cada rango de calibración de viscosidad sin incluir el rango de 1–100 cP, debido a que el efecto de la viscosidad se vuelve significativo a viscosidades mayores de 100cP.

Una vez el transductor ha sido calibrado con los fluido necesarios, un certificado de calibración de fábrica es producido de los datos medidos.

- Estándares Primarios

Los fluidos utilizados en la calibración de la viscosidad han sido caracterizados para viscosidad y densidad vs. Temperatura, entre los rangos de 15 oC- 25oC. Esto es realizado utilizando un viscosímetro capilar con un tubo en "U" BS/U para las mediciones de la viscosidad cinemática y picnómetros para mediciones de densidad.

Ambos métodos son sistemas de medición primarios conformados a B\$188 y B\$733 parte 1 respectivamente.

La calibración de la calibración de fluidos es realizada bajo condiciones de laboratorio controladas. Un certificado de calibración es expedido. Las calibraciones son repetitivas, típicamente cada seis meses, produciendo un buen documento histórico del fluido.

- Estandares de transferencia

Los instrumentos de transferencia estándar utilizados en la calibración de la densidad son instrumentos seleccionados lo cuales son calibrados y certificados por el laboratorio "British calibration service laboratory".

La calibración de transferencia estándar utiliza un número de líquidos con densidades certificadas, como el agua. Las densidades de estos líquidos de referencia son obtenidas utilizando un sistema de medición primaria donde sinkers de vidrio de volumen definido son pesados en muestras de líquidos.

La calibración de los instrumentos de transferencia estándar es realizada baja condiciones muy controladas de laboratorio. Un certificado de calibración es expedido. Las calibraciones son repetidas, típicamente cada seis meses, produciendo un estándar de densidad bien documentado.

CALCULO DE LA VISCOSIDAD

Para derivar la viscosidad dinámica del fluido, la frecuencia de oscilación en dos puntos en la curva de resonancia del transductor es tomada, manipulada para calcular el factor de calidad del transductor (Q) y luego es calibrada contra la viscosidad actual determinada por el estándar primario.

El factor de calidad del 7827 es calibrado contra la viscosidad dinámica en centiPoise (cP).

El orden en cual los cálculos son aplicados es como se listan a continuación:

➤ Factor de calidad (Q)

El transductor opera a dos periodos de tiempo (τ_A , τ_B), los cuales corresponden a dos puntos de nivel, -3dB en el espectro de frecuencia. Haciendo esto, uno puede calcular el factor de calidad del transductor utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = 1 / [(\tau_A / \tau_B)^{0.5} - (\tau_B / \tau_A)^{0.5}]$$

Donde:

- Q: Factor de viscosidad dinámica (cP)
- τ_A Periodo de tiempo A del transductor (μsec)
- τ_B Periodo de tiempo B del transductor (μsec)

➤ Ecuación general de viscosidad (η - η)

El factor de calidad de un resonador es proporcional a la raíz cuadrada inversa de la viscosidad. Para calibrar el resonador contra la viscosidad del fluido, la siguiente expresión es utilizada:

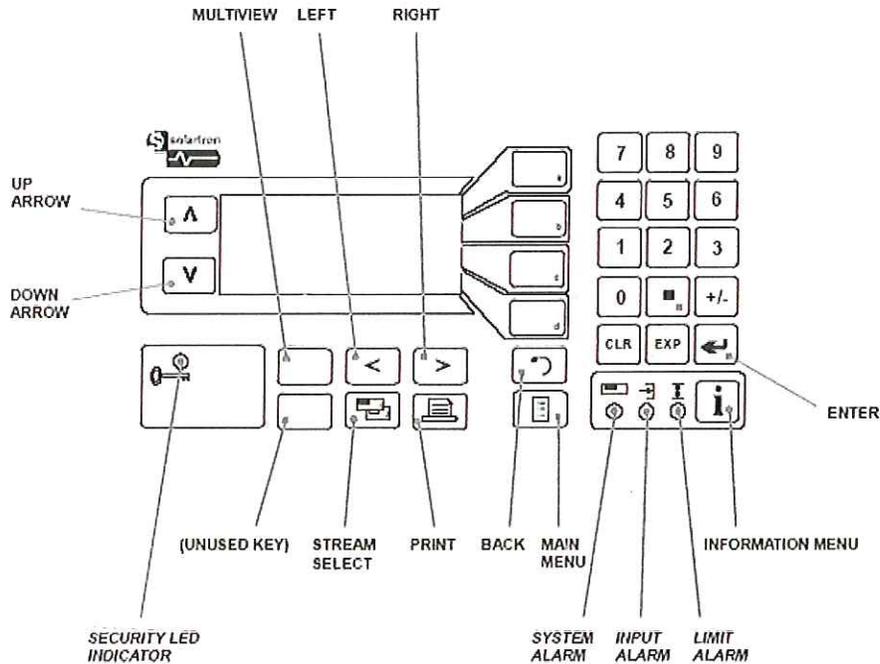
Donde:
$$\eta = V * (V0 + V1 * X + V2 * X^2)$$

- η : Viscosidad dinámica del fluido (cP)
- V: Factor de escala de la viscosidad dinámica (1=cP)
- X: $1/Q^2$ (inverso de la raíz del factor de calidad)
- V0, V1, V2: Coeficientes de calibración del transductor para cada rango calibración.

OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

➤ El Convertidor De Señales Modelo 7950

El siguiente diagrama muestra un layout del teclado del display.

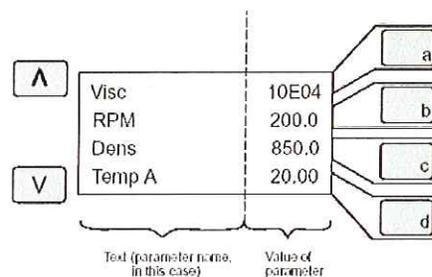


The layout of the front panel

Este display le permite al usuario la siguiente información:

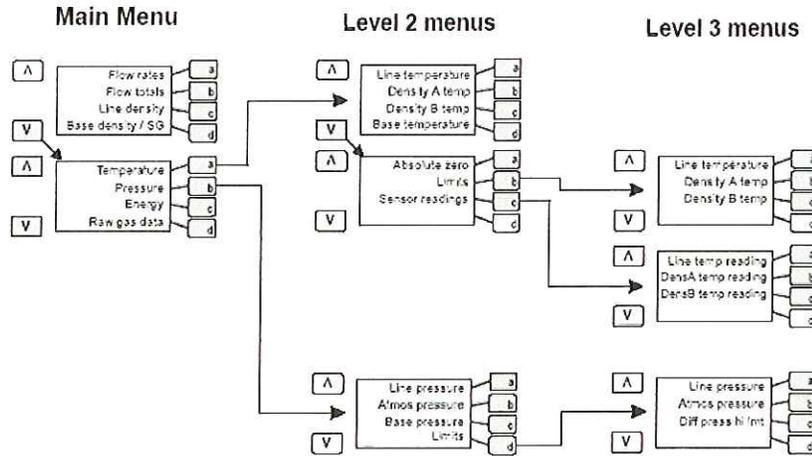
- Datos numéricos, exponentes
- Descripción de los textos para los datos
- Unidades de los datos
- Estado de los datos
- Información de alarma
- Tiempo y fecha actual
- Teclas suaves, menú e información

Una vez el usuario energiza el analizador, un menú, como el mostrado abajo, aparece. Una vez en este pantallazo, cualquiera de las flechas alrededor del display lo llevara a otros submenús.



A typical Multiview display

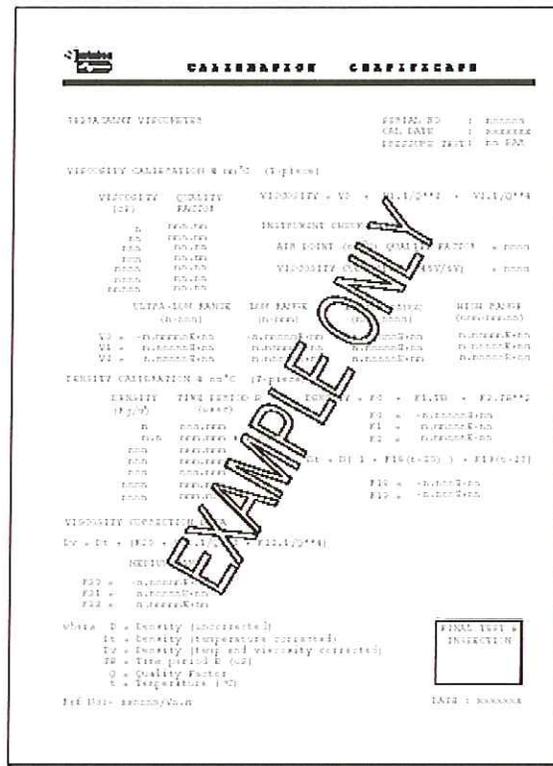
A continuación se muestra una grafica donde se aprecian los diferentes submenús que despliegan del pantalla inicial



An example of part of a menu system

➤ CONFIGURACION

Antes de comenzar la configuración, asegúrese de tener los certificados de calibración de cada uno de los analizadores



An example of a calibration certificate for a viscosity transducer

➤ CONFIGURACION DE LA DENSIDAD

Esta sección explica cómo configurar las mediciones de densidad:

Densidad medida del transductor (D Línea)

Densidad Referida

Gravedad Específica

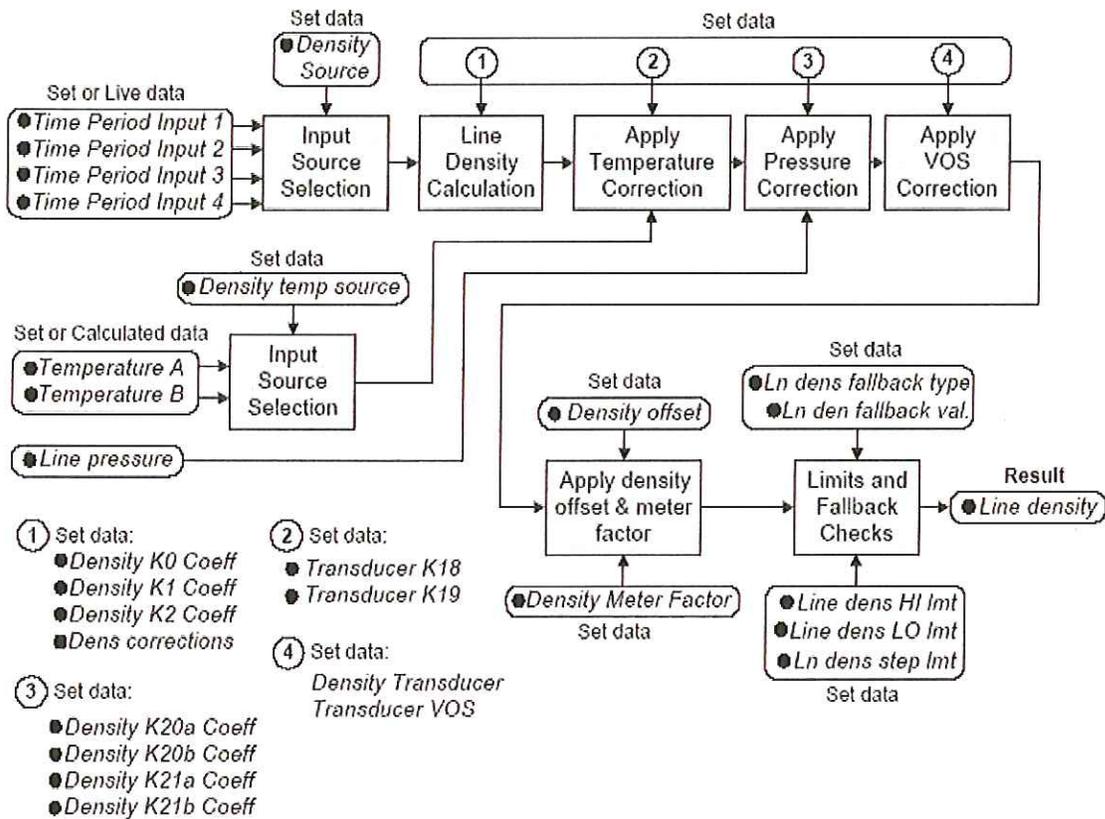
Grados API

Grados Brix

Grados Baume

Porcentaje Masa

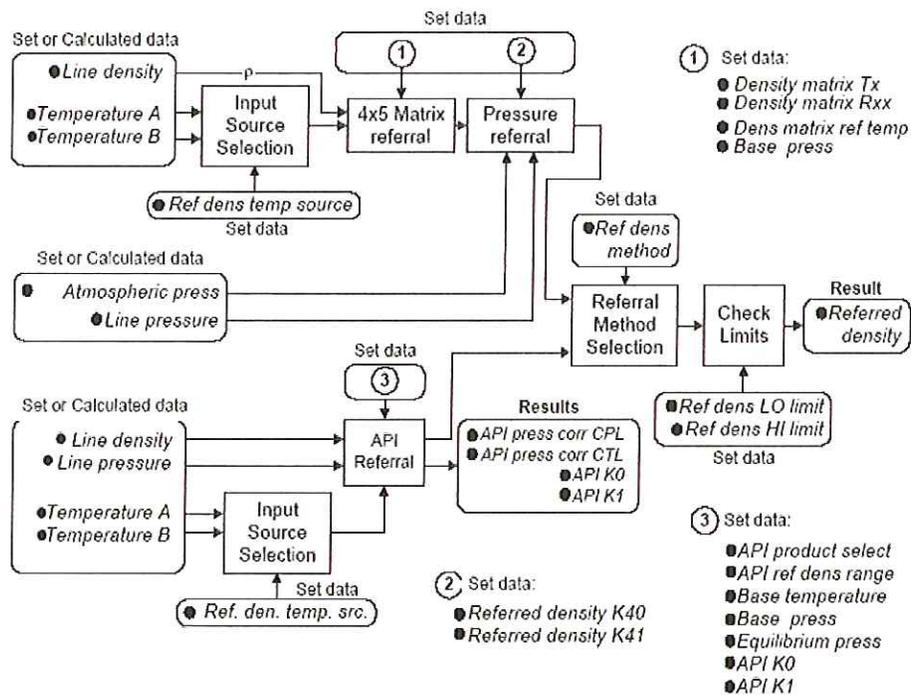
Porcentaje Volumen



➤ Calculo de la Densidad Referida

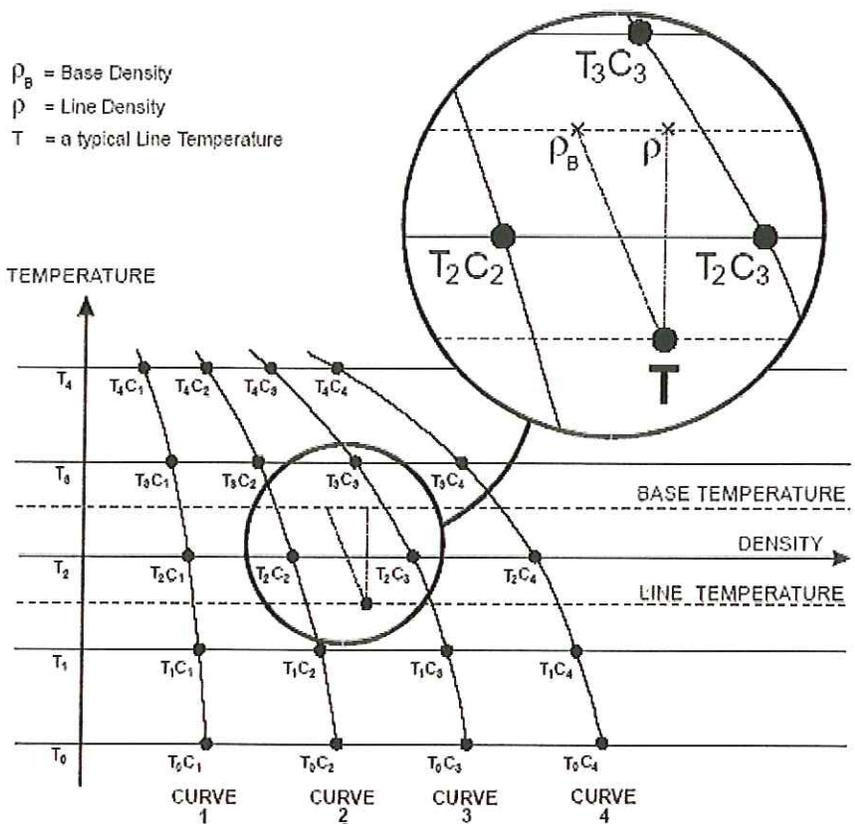
El cálculo de densidad a las condiciones de referencia puede realizarse por uno de los siguientes métodos:

1. Método de Matriz Referida 4 X 5
2. Método API Referido



➤ Métodos de la matriz de referencia 4*5

En la gráfica siguiente, cada curva muestra como la densidad varía con la temperatura para un fluido diferente o de grado diferente del mismo fluido. Cada curva esta definida por valores de densidad a 5 puntos de referencia de temperatura diferente. Estas temperaturas y valores de densidad necesitan ser introducidos al analizador.



La densidad referida se obtiene por la interpolación entre dos curvas a cada lado del punto "T". Este punto es establecido desde el valor de densidad del transductor (ρ), el ajuste de la temperatura base y la medición de la temperatura de la línea.

➤ Método API Referido

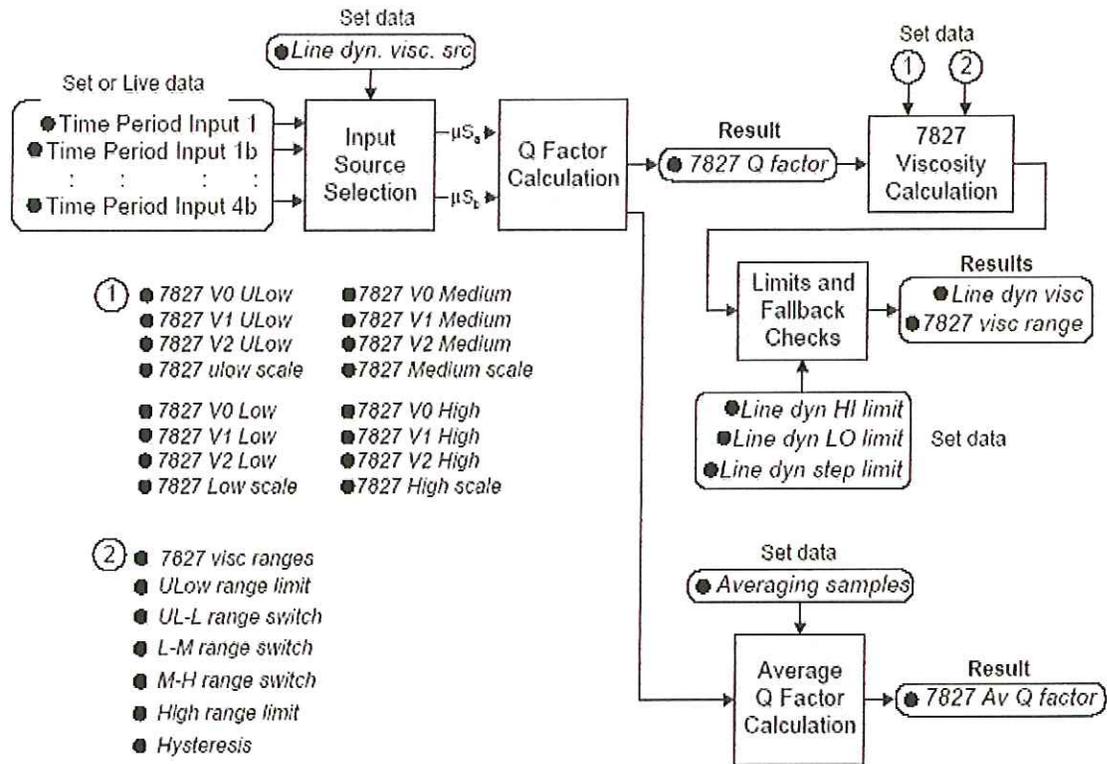
1. Asegúrese que la densidad de la línea, presión y temperatura son configurados
2. Seleccione menú: <"Configure">/<"Referred Density">/<"Ref dens T source"> y luego seleccione la temperatura de la línea (Input A o B)

CONFIGURACIÓN DE LA VISCOSIDAD

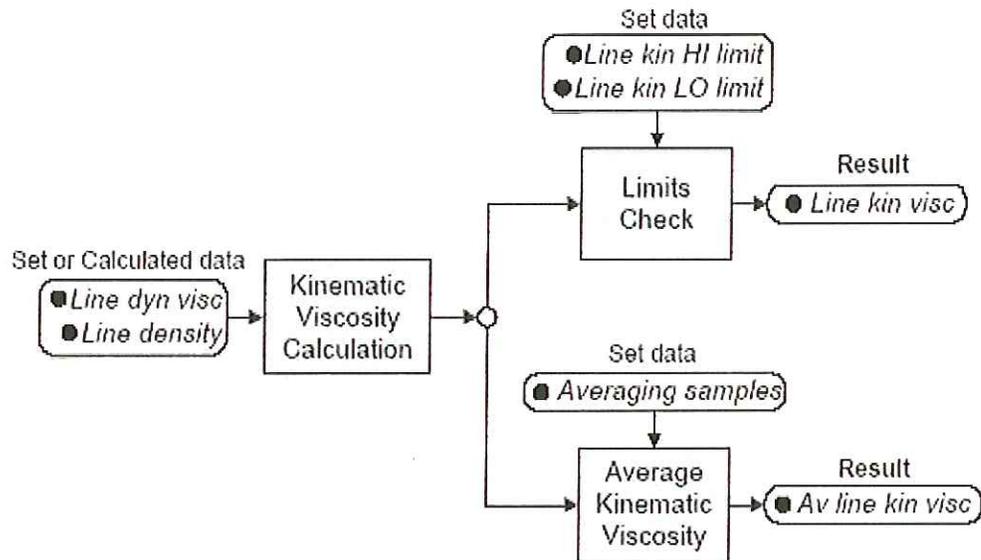
Esta sección configura las siguientes mediciones de viscosidad

- Viscosidad medida (V Línea)
- Medición de Viscosidad Cinemática
- Viscosidad Referida
- Viscosidad Saybolt Universal
- Viscosidad Saybolt Furol

➤ Cálculo de la Viscosidad



➤ Viscosidad Cinemática



Equation: Kinematic viscosity calculation

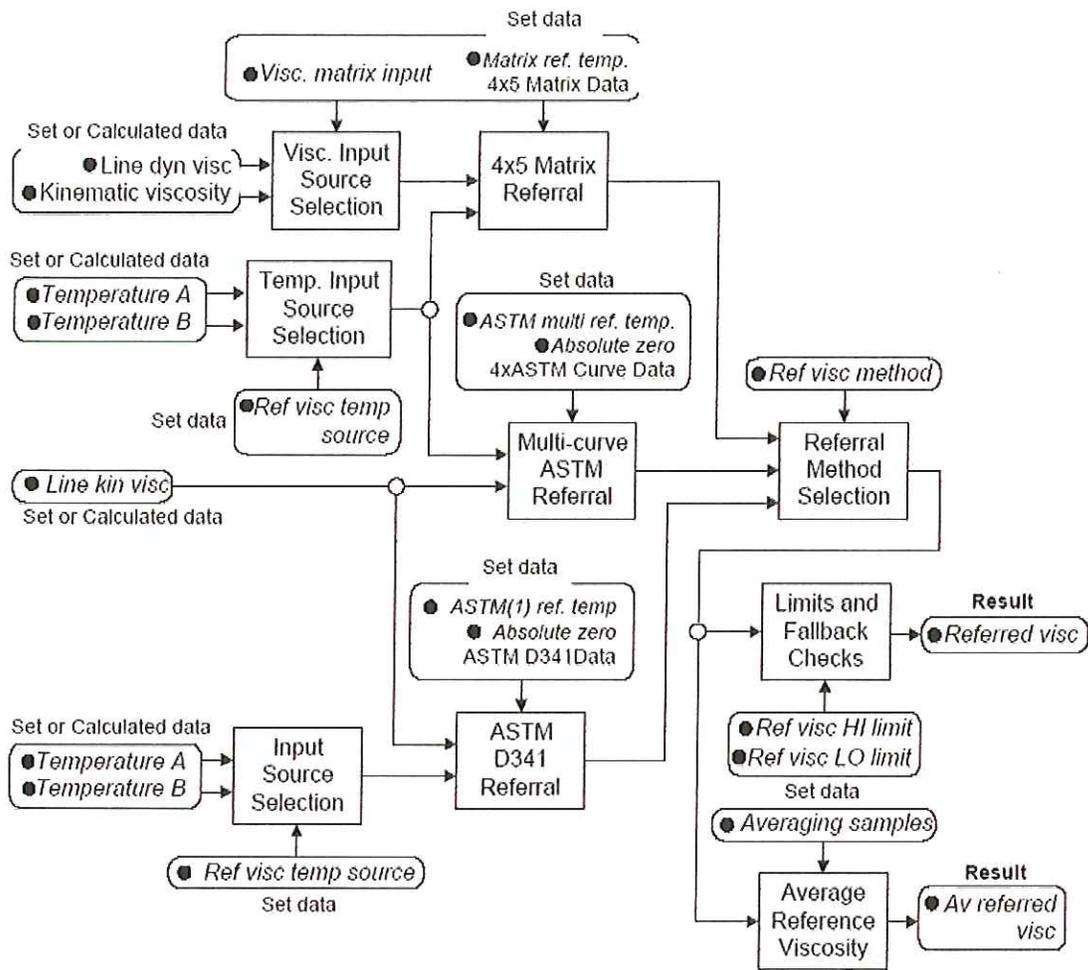
Using:
$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Where: v = Kinematic viscosity (in cSt)
 μ = Line dynamic viscosity (in cP)
 ρ = Line density (in g/cc)

➤ Viscosidad de Referencia

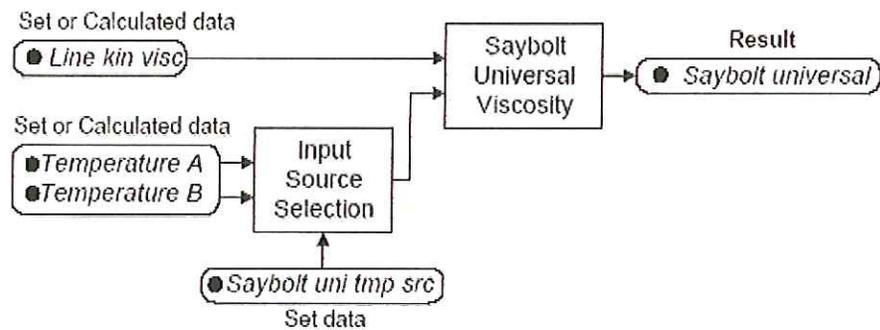
El cálculo de la viscosidad de cinemática a una temperatura de referencia puede realizarse por uno de los siguientes métodos:

- Metodo de Matriz Referida 4 X 5
- Multicurve ASTM
- ASTM D341 (Matriz 2 X 2)



➤ Viscosidad Saybolt Universal

Un valor de viscosidad cinemática a cualquier temperatura puede ser automáticamente convertida a una viscosidad Saybolt Universal a la misma temperatura.



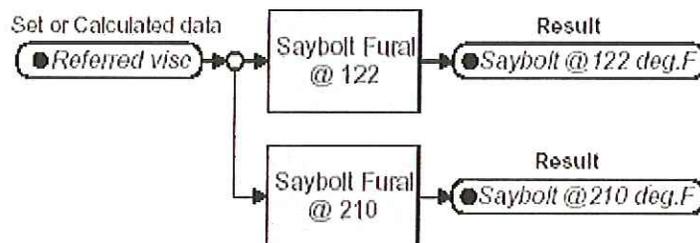
Equation: Saybolt Universal viscosity (S.V.)

$$S.V. = (10 + 0.000061 * (t - 100)) * \left[4.6324 * v + \frac{(10 + (0.03264 * v)) +}{(3930.2 + (262.7 * v) + (23.97 * v^2) + (1646 * v^3)) * 10^{-5}} \right]$$

Where: v = Kinematic viscosity (in cSt)
 t = Temperature (in Fahrenheit)

➤ Viscosidad Saybolt Furol

- Overview of the processes



RUTINAS DE MANTENIMIENTO Y TROUBLESHOOTING

El viscosímetro 7827 no tiene partes móviles, lo cual reduce el mantenimiento a una inspección visual de fugas, chequeo de daño físico del transductor u operación del convertidor de señales 7950.

El siguiente procedimiento es recomendado para cualquier mantenimiento llevado a cabo en el sistema y constituyen las pautas primarias en la ubicación de fallas:

1. Examine el transductor, su compartimiento amplificador y su cableado a fin de ubicar cualquier signo de daño o corrosión.
2. Chequee el transductor y las bridas para detectar señales de fugas.
3. Chequee que no existe agua/fluido en el interior del compartimiento amplificador.
4. Chequee que la cubierta del compartimiento amplificador este bien engrasada (Grasa Grafitada) y que el O-Ring este en buena condiciones.

5. Asegúrese que el convertidor de señales 7950 provee la adecuada alimentación eléctrica al transductor y que opera adecuadamente.

Las calibraciones y validaciones deberán ser realizadas en intervalos de tiempo periódicos, a fin de detectar y prever un mal funcionamiento o deterioro del desempeño del transductor. Si una falla o un bajo desempeño del transductor es descubierto, se requieren realizar mayores pruebas a fin de identificar su causa.

Sin embargo, el mantenimiento primario del equipo se orientará a asegurar las conexiones eléctricas y de proceso, reemplazo del amplificador o en casos extremos reemplazo del transductor, el convertidor de señales o ambos.

ANALISIS DE FALLAS

Las fallas generalmente caen dentro de 3 categorías principales:

Lecturas Erráticas – Normalmente causadas por la presencia de burbujas alrededor del diapasón, interferencias eléctricas severas o vibraciones severas de la tubería de proceso, las fallas eléctricas y electrónicas pueden causar este efecto.

Lecturas Fuera de Límites – Normalmente causadas por deposición o corrosión del diapasón. Una falla eléctrica o electrónica podría causar estas fallas, por lo tanto es recomendado chequear el sistema eléctrico primero.

Lecturas No Actualizadas – Normalmente causadas debido a que las locaciones de memorias dentro del Convertidor de Señales están fijados en “SET” cuando ellos deberían estar en “LIVE”

• CHEQUEO DEL CONVERTIDOR DE SEÑALES

Todos los resultados son compilados y obtenidos a partir de 4 parámetros principales:

1. Periodo de tiempo T_A
2. Periodo de tiempo T_B
3. Temperatura de RTD
4. Factor de Calidad (Q, obtenido a partir de T_A y T_B)

Si se observa, imprecisión o inestabilidad en la medición de la viscosidad o densidad existente, estos parámetros deberán ser chequeados primero.

• CHEQUEO DE LA VISCOSIDAD INDICADA

Si observa un error en la viscosidad indicada, siga las siguientes instrucciones:

Si las lecturas son inestables ($\pm 5\text{cP}$):

Chequear los periodos de tiempo (T_A y T_B)

Asegurar que la señal de 0V del viscosímetro (Pin 2 de PL2) esta conectada al terminal 0V en el convertidor del señales (Pin 4 de PL1).

Si las lecturas permanecen inestables, la instalación es probablemente la causa de esta falla.

Si las lecturas están fuera de límite:

Chequear si los coeficientes programados en el convertidor de señal son los reseñados en el certificado de calibración.

Chequear si el valor medido de Q corresponde (es similar) a la tabla Viscosidad vs Factor de Calidad del certificado de fábrica.

Chequear si la viscosidad medida es superior al "Limite Superior de Viscosidad" definido por el usuario ("Viscosity High Limit Value")

Chequear si la viscosidad medida es inferior al "Limite Inferior de Viscosidad" definido por el usuario ("Viscosity High Limit Value")

Chequear si existe corrosión o erosión de los terminales del viscosímetro.

Si las lecturas no se actualizan:

Chequear si el valor de viscosidad se encuentra configurado como "LIVE" en el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si los valores de Periodo de Tiempo (T_A y T_B) se encuentran configurados como "LIVE" en el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si la viscosidad medida es superior al "Limite Superior de Viscosidad" definido por el usuario ("Viscosity High Limit Value")

Chequear si la viscosidad medida es inferior al "Limite Inferior de Viscosidad" definido por el usuario ("Viscosity High Limit Value")

Chequear el conexionado entre el Viscosímetro 7827 y el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si el transductor está energizado correctamente, es decir verificar la alimentación eléctrica y el consumo de corriente.

Chequear si existe una falla propia del Convertidor de Señales 7950.

• **CHEQUEO DE LA DENSIDAD INDICADA**

Si observa un error en la densidad indicada, siga las siguientes instrucciones:

Si las lecturas son inestables ($\pm 1 \text{ Kg/m}^3$):

Chequear el periodo de tiempo T_B

Asegurar que la señal de 0V del viscosímetro (Pin 2 de PL2) esta conectada al terminal 0V en el convertidor del señales (Pin 4 de PL1).

Si las lecturas permanecen inestables, la instalación es probablemente la causa de esta falla.

Si las lecturas están fuera de límite:

Chequear si los coeficientes programados en el convertidor de señal son los reseñados en el certificado de calibración, tanto para densidad como para temperatura.

Chequear si el valor de temperatura se encuentra configurado como LIVE en el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si la densidad medida es superior al "Limite Superior de Densidad" definido por el usuario ("Density High Limit Value")

Chequear si la densidad medida es inferior al "Limite Inferior de Densidad" definido por el usuario ("Density High Limit Value")

Chequear si existe corrosión o erosión de los terminales del viscosímetro.

Si las lecturas no se actualizan:

Chequear si el valor de densidad se encuentra configurado como "LIVE" en el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si los valores de Periodo de Tiempo (T_A y T_B) se encuentran configurados como "LIVE" en el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si los valores de Densidad Corregida por Temperatura, Densidad Corregida por Viscosidad y la Densidad (No corregida) se encuentran configurados como LIVE.

Chequear si la densidad medida es superior al "Limite Superior de Densidad" definido por el usuario ("Density High Limit Value")

Chequear si la densidad medida es inferior al "Limite Inferior de Densidad" definido por el usuario ("Density High Limit Value")

Chequear el conexionado entre el Viscosímetro 7827 y el Convertidor de Señales 7950.

Chequear si el transductor está energizado correctamente, es decir verificar la alimentación eléctrica y el consumo de corriente.

Chequear si existe una falla propia del Convertidor de Señales 7950.

• CHEQUEO DEL CONSUMO DE POTENCIA

Chequear si el voltaje de alimentación eléctrica del viscosímetro se encuentra dentro del rango deseado: 22.8 VCD a 25.2 VDC. (Terminales + / -)

Chequear el consumo de corriente del viscosímetro: 25 a 40 mA. (En serie con el terminal + del Viscosímetro)

Chequear el nivel de voltaje de la Señal del Viscosímetro en el Convertidor de señales: La amplitud de esta señal debe estar entre 5 y 15 VDC conmutando periódicamente a 0V; si se mantiene constante el viscosímetro no está generando una forma de onda adecuada (Terminales 1 y 2 del PL2)

Medir la resistencia de RTD: 80 – 160 ohms (Terminales + SIG y – SIG)

- **CHEQUEO MECANICO DEL SISTEMA**

Chequear si existe presencia de burbujas dentro de la Cámara del Viscosímetro.
Chequear si existen presencia de corrosión, erosión o capas de producto en el diapasón del Viscosímetro.

**Valores del L y H para Viscosidad Cinemática en Sistemas
40-100 °C**

VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H	VC:cSt	L	H
2.00	7.99	6.39	7.20	82.39	50.69	12.4	213.6	113.3	17.6	392.7	189.5	25.6	769.3	332.7	45.0	2152	780.9
2.10	8.64	6.89	7.30	84.53	51.78	12.5	216.6	114.7	17.7	396.7	191.3	25.8	779.7	336.7	45.5	2197	794.5
2.20	9.31	7.41	7.40	46.66	52.88	12.6	219.6	116.0	17.8	400.7	192.9	26.0	790.4	340.5	46.0	2243	808.2
2.30	10.00	7.94	7.50	88.85	53.98	12.7	222.6	117.4	18.9	404.6	194.6	26.2	801.6	344.4	46.5	2288	821.9
2.40	10.71	8.50	7.60	91.04	55.09	12.8	225.7	118.7	18.0	408.6	196.2	26.4	812.8	348.3	47.0	2333	835.5
2.50	11.45	9.06	7.70	93.20	56.20	12.9	228.8	120.1	18.1	142.6	197.8	26.6	824.1	352.3	47.5	2380	849.2
2.60	12.21	9.65	7.80	95.43	57.31	13.0	231.9	121.5	18.2	416.7	199.4	26.8	835.5	356.4	48.0	2426	863.0
2.70	13.00	10.25	7.90	97.72	58.45	13.1	235.0	122.9	18.3	420.7	201.0	27.0	847.0	360.5	48.5	2473	876.9
2.80	13.80	10.87	8.00	100.00	59.60	13.2	238.1	124.2	18.4	424.9	202.6	27.2	857.5	364.6	49.0	2521	890.9
2.90	14.63	11.50	8.10	102.30	60.74	13.3	241.2	125.6	18.5	429.0	204.3	27.4	869.0	368.3	49.5	2570	905.3
3.00	15.49	12.15	8.20	104.60	61.89	13.4	244.3	127.0	18.6	433.2	205.9	27.6	880.6	372.3	50.0	2618	919.6
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
6.90	75.72	47.51	12.1	204.8	109.4	17.3	381.0	184.9	25.0	736.5	320.9	43.5	2021	741.3	69.5	4839	1,541.0
7.00	78.00	48.57	12.2	207.8	110.7	17.4	384.9	186.5	25.2	747.2	324.9	44.0	2064	754.4	70.0	4905	1,558.0
7.10	80.25	49.61	12.3	210.7	112.0	17.5	388.9	188.9	25.4	758.2	328.8	44.5	2108	767.6			