

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR
JOSÉ MIGUEL CARRERA

AUTOMATIZACIÓN DEL BLENDING DE GASOLINAS DE ENAP
REFINERÍAS ACONCAGUA

Trabajo de Titulación para optar al
Título de TÉCNICO
UNIVERSITARIO EN
OPERACIÓN DE PLANTAS
QUÍMICAS

Alumno:
Arnaldo Javier Marambio
Villalobos

Profesor Guía:
Evelyn Alfaro Carrasco

Profesional Correferente:
José Miguel Torres Waitters

*Dedicado a Fernanda y Daniella,
a Paula y a mis Padres*

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo de título es automatizar el control de especificaciones del blending de gasolinas, específicamente en la matriz de gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana en ENAP Refinerías Aconcagua. Esto será logrado creando lazos de controladores básicos interrelacionados, que interactuando entre sí puedan controlar las diferentes variables de procesos que terminan por determinar las especificaciones de las diferentes matrices de gasolinas que conforman el blending.

Se busca que paralelamente el control de las mezclas de gasolinas se haga de tal forma que maximice la producción de gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana, controlando en el límite máximo los contaminantes que posee la corriente base de dichas gasolinas (hidrocarburos aromáticos).

En primer lugar, se estudió y analizó la legislación actual referente al límite permisible de contaminantes en las gasolinas para la Región Metropolitana y el sistema de control actual de mezcla para lograr las especificaciones de la matriz de gasolina 97 RM con los flujos de mezcla disponibles. Además, se estudió el sistema de control que se emplea en ENAP Refinerías Aconcagua, para poder implementar en este, el modelo de controlador creado.

Posteriormente, se diseñó el lazo de controladores que calculan las especificaciones de la matriz de gasolina 97 RM de acuerdo a los análisis de laboratorio de las diferentes corrientes que componen el blending de gasolinas. Estos calculadores a su vez comandan a los flujos de los diferentes tipos de gasolinas disponibles, de manera tal que al mezclarlos el valor calculado sea el valor real entregado por laboratorio previo análisis.

El controlador diseñado sufrió varias modificaciones, hechas al realizar las pruebas pertinentes de este, a medida que se fue implementando en el sistema TDC-3000 (sistema de control distribuido empleado en ENAP Refinerías Aconcagua).

Una vez perfeccionado, el modelo de controlador final fue implementado y puesto en servicio, obteniendo buenos resultados, los cuáles fueron analizados al final del documento.

El controlador se implementó en una pantalla a modo de dibujo esquemático, donde se tiene acceso a todos los cálculos que se realizan en línea y los lazos de control de este. Aquí es posible cambiar cualquier tipo de parámetros a cada controlador e ingresar los datos de laboratorios con los cuales se predicen las especificaciones de la matriz de gasolina 97 RM.

ÍNDICE

RESUMEN

ABREVIACIONES

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO PRINCIPAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1: ESTUDIO DEL BLENDING DE GASOLINAS Y SUS PRODUCTOS.

- 1.1. BLENDING
- 1.2. GASOLINAS EN ENAP REFINERÍAS ACONCAGUA
 - 1.2.1. Proceso de reformación para obtención de reformato [1]
 - 1.2.2. Proceso de HDG para obtención de LCN y HCN [2]
 - 1.2.3. Proceso de DIPE para obtención de DIPE [3]
 - 1.2.4. Proceso de isomerización para la obtención de isomerato [4]
 - 1.2.5. Proceso de alquilación para la obtención de alquilato [5]
- 1.3. ESPECIFICACIONES DE LAS GASOLINAS

CAPITULO 2: ESTUDIO DEL CONTROL ACTUAL

- 2.1. SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO TDC-3000
- 2.2. PLANILLAS DE CÁLCULO

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL MODELO

- 3.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES A CONTROLAR
- 3.2. PRIMER MODELO DE CONTROLADOR
- 3.3. SEGUNDO MODELO DEL CONTROLADOR
- 3.4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO AL TDC-3000
- 3.5. TERCER MODELO DE CONTROLADOR

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. PRIMERA PRUEBA DEL CONTROLADOR
- 4.2. SEGUNDA PRUEBA DEL CONTROLADOR
- 4.3. DISCUSIÓN DE PRUEBAS

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Principales características de cada corriente
Tabla 1-2:	Especificaciones exigidas para las diferentes gasolinas.
Tabla 1-3:	Programa de muestreo de las diferentes gasolinas.
Tabla 1-4:	Programas de análisis de laboratorio para cada producto
Tabla 2-1:	Planilla de cálculo.
Tabla 2-2:	Nueva Planilla de cálculo.
Tabla 2-3:	Ensayos realizados a planilla de cálculo para la gasolina 97 RM.
Tabla 2-4:	Datos del NOR
Tabla 2-5:	Datos del RVP
Tabla 2-6:	Datos de aromáticos
Tabla 2-7:	Datos de olefinas
Tabla 3-1:	Instrumentos de medición de los flujos y sus unidades de medida.
Tabla 3-2:	Máximos flujos alcanzados históricamente.
Tabla 3-3-:	Análisis de laboratorio en las fechas analizadas.
Tabla 3-4:	Segunda línea de calculadores.
Tabla 3-5:	Segunda línea de controladores.
Tabla 3-6:	Primera línea de calculadores.
Tabla 3-7:	Primera línea de controladores.
Tabla 3-8:	Calculador de NOR.
Tabla 3-9:	Controlador del NOR.
Tabla 3-10:	Calculador de aromáticos.
Tabla 3-11:	Controlador de aromáticos.
Tabla 3-12:	Calculadores de RVP.
Tabla 3-13:	Calculador de RVP.
Tabla 3-14:	Controladores de RVP y selectores de menor señal.
Tabla 3-15:	Calculador y controlador de olefinas.
Tabla 4-1:	Condiciones en primera prueba del controlador.
Tabla 4-2:	Datos de la primera prueba.
Tabla 4-3:	Cálculos realizados por la planilla a cada hora de muestreo.
Tabla 4-4:	Condiciones en segunda prueba del controlador.

Tabla 4-5: Datos de la segunda prueba.

Tabla 4-6: Cálculos realizados por la planilla a cada muestreo de datos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Principales reacciones de reformación.

Figura 3-1: Circuito de DIPE

Figura 3-2: Primer modelo del controlador

Figura 3-3: Segundo modelo del controlador

Figura 3-4: Segundo modelo de controlador y rangos máximos de cada instrumento

Figura 3-5: Tercer modelo de controlador

Figura 3-6: Control de RVP

Figura 3-7: Tercer modelo de controlador con los rangos máximos para cada instrumento

Figura 3-8: Tercer modelo de controlador con selectores de menor señal

Figura 3-9: Modelo final del controlador que incluye controles de NOR, RVP, porcentaje de aromáticos y porcentaje de olefinas

Figura 3-10: Esquemático del controlador en sistema TDC-3000

Figura 4-1: Análisis de laboratorio a cada hora de muestreo

Figura 4-2: Variación de flujo de DIPE, sacada del sistema TDC-3000

Figura 4-3: Flujos y cálculos durante la prueba, sacados del sistema TDC-3000

Figura 4-4: Análisis de laboratorio realizados y las horas de muestreo

Figura 4-5: Imagen del programa PI que muestra los flujos en control

Figura 4-6: Imagen del programa PI que muestra alza de flujo total de gasolina 97

RM

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 2-1: Cálculo del NOR respecto al valor de laboratorio
- Gráfico 2-2: Cálculo del RVP respecto al valor de laboratorio
- Gráfico 2-3: Cálculo del porcentaje de aromáticos respecto al valor de laboratorio
- Gráfico 2-4: Cálculo del porcentaje de olefinas respecto al valor de laboratorio

ABREVIACIONES

ENAP: Empresa Nacional del Petróleo.

97 RM: Gasolina 97 Octanos para la Región Metropolitana.

93 RM: Gasolina 93 Octanos para la Región Metropolitana.

97 RP: Gasolina 97 Octanos para Regiones, exceptuando Región Metropolitana.

93 RP: Gasolina 93 Octanos para Regiones, exceptuando Región Metropolitana.

TDC-3000: Sistema de Control Distribuido usado en ENAP Refinerías Aconcagua.

RVP: Presión de Vapor de una mezcla a 100 °F.

NOR: Numero de Octanos de una mezcla.

LCN: Local Control Network. Red local de comunicación del sistema TDC-3000.

UCN: Universal Control Network. Red universal de comunicación del sistema TDC-3000.

HPM: High Performance Process Manager. Modulo de almacenamiento de controladores básicos dentro del sistema TDC-3000.

AM: Application Module. Modulo del sistema TDC-3000, que alberga controladores complejos en los que generalmente intervienen programas.

GUS: Interfase de comunicación entre el sistema TDC-3000 y el usuario.

C379: Nomenclatura interna del reformato.

C879: Nomenclatura interna del isomerato.

J918: Nomenclatura interna del alquilato.

SP: Set-Point. Valor de la variable controlada que el usuario busca que el controlador tenga.

PV: Point value. Valor de la variable a controlar.

OP: Output. Salida del controlador, generalmente es la apertura de una válvula de control.

K: Banda proporcional de un controlador. Valor ocupado en el algoritmo de control.

T1: Tiempo derivativo, ocupado para el algoritmo de control.

T2: Tiempo integral, ocupado para el algoritmo de control.

LCN: Producto extraído de la planta de HDG de ENAP Refinerías Aconcagua.

HCN: Producto extraído de la planta de HDG de ENAP Refinerías Aconcagua

DIPE: Producto extraído de la planta de DIPE de ENAP Refinerías Aconcagua.

Mbits/seg: Mega bites por segundo. Velocidad de transmisión de datos.

INTRODUCCIÓN

En 1996 la Región Metropolitana fue declarada zona saturada por cuatro contaminantes atmosféricos y zona latente por los elevados niveles de dióxido de nitrógeno presentes en el aire. En ese momento comenzó la elaboración del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana, el primero que se lleva a cabo en nuestro país. Este documento consideró 139 medidas y fue concebido a 14 años plazo, con evaluaciones en los años 2000 y 2005.

En tanto, el 15 de septiembre del 2001 fue publicado en el Diario Oficial el anteproyecto para su actualización y modificación de acuerdo al cronograma establecido en el plan original. Este decreto rige actualmente a la Región Metropolitana y tiene por objetivo cumplir con las normas de calidad del aire, mediante la reducción de las emisiones de los contaminantes normados y sus precursores, de manera de proteger tanto la salud de la población como el medio ambiente.

La actualización y modificación de este plan firmado por el Presidente de la República Don Ricardo Lagos Escobar decreta los nuevos estándares y plazos a cumplir para las gasolinas utilizadas en la Región Metropolitana y el resto del país.

Los estándares de calidad a los cuales han sido sometidas las gasolinas que se expendan en la Región Metropolitana cronológicamente, se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETROS	Julio de 1997	Sept. de 2000	Sept. de 2002	Mayo de 2003	Enero de 2005	Enero de 2007
Aromáticos %v/v (máx.)	-	50	50	38	38	38
Benceno %m/m (máx.)	4	2	2	1	1	1
Oxígeno % m/m (máx.)	-	-	-	2	2	2
RVP psi (máx.)	9	8	7,5	8	8	8
Olefinas %v/v (máx.)	-	30	20	12	12	12
Plomo g/lit (máx.)	0,4	0,4	0,4	0,013	0,013	0,013
Azufre %m/m (máx.)	0,1	0,1	0,1	0,003	100 ppm	30 ppm

De esa forma ENAP Refinerías Aconcagua se ve obligada a mejorar significativa y gradualmente la calidad de las gasolinas expendidas a la Región Metropolitana. Esta mejora conlleva a grandes inversiones apuntadas a mejora de calidad de los productos y no a una notable mejora de los volúmenes de producción. Es así como el 2002 se construye la planta de DIPE que produce un compuesto oxigenado para las gasolinas, el 2003 se amplía la planta de cracking catalítico para aumentar la producción de gasolina de dicha planta. En enero del 2004 se remodela la torre E-3, responsable de la disminución del contenido de benceno en la producción de la planta de

reformación catalítica. En el mismo año se construye la planta de HDG que desulfuriza y descontamina la gasolina producida por cracking catalítico.

Para mezclar el pool de gasolinas existentes en ENAP Refinerías Aconcagua es que en Julio del 2004 se construye y pone en servicio el blending de gasolinas, para las gasolinas expendidas para la Región Metropolitana y para el resto del país.

El actual control del blending de gasolinas se realiza por medio de modelos predictivos que basándose en iteraciones calculan las especificaciones deseadas para cada matriz de gasolina. El presente trabajo busca automatizar dicho control, disminuyendo los márgenes de regalo de calidad y optimizando y maximizando los volúmenes de mezcla de las corrientes que forman parte del blending de gasolinas de 97 octanos para la Región Metropolitana en ENAP Refinerías Aconcagua.

OBJETIVO PRINCIPAL

Diseñar e implementar control automático para las especificaciones del blending de gasolinas de ENAP Refinerías Aconcagua, específicamente para la corriente de gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana en ENAP Refinerías Aconcagua.

Se busca que paralelamente el control de las mezclas de gasolinas se haga de tal forma que maximice la producción de gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar e investigar estructuración del sistema de control distribuido TDC-3000.

Estudiar y analizar las especificaciones de la gasolina 97 RM y su actual control.

Diseñar modelo del controlador de especificaciones.

Implementar modelo al sistema TDC-3000.

Probar controlador.

Analizar funcionamiento del controlador.

Además de estos objetivos operacionales ya expuestos, se quiere demostrar que con controladores básicos en redes, sería posible controlar variables de mayor complejidad, como calculadores u otros que en este momento solo son controlados por controles avanzados en los que intervienen programas que hacen de estos controladores herramientas complejas y muy limitadas por su largo tiempo de respuesta.

Adicionalmente el sistema de lazos de control que se creará será de tales características que podría utilizarse en cualquier tipo de mezcladores de similares características al blending de gasolinas de ENAP Refinerías Aconcagua, e inclusive mezclas de dieseles u otros subproductos del petróleo dentro de la misma empresa u otras del mismo rubro.

La automatización y el control en línea de la gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana, permitirá aumentar en promedio el flujo de gasolina al valor máximo permitido de acuerdo a las especificaciones a cada hora de muestreo de dicha matriz, aumentando significativamente la producción volumétrica de esta gasolina.

Sumado a lo anterior, está la ganancia que se producirá por la disminución del margen de calidad que se observa actualmente. El control permitirá limitar la calidad de la gasolina 97 Región Metropolitana o aumentarla según se requiera, permitiendo mayores ganancias en el ámbito del “regalo de calidad”.

CAPÍTULO 1: ESTUDIO DEL BLENDING DE GASOLINAS Y SUS PRODUCTOS.

1. ESTUDIO DEL BLENDING DE GASOLINAS Y SUS PRODUCTOS.

1.1. BLENDING

El blending de gasolinas de ENAP Refinerías Aconcagua es un conjunto de válvulas de control electro-neumáticas que actuando en conjunto permiten mezclar las seis corrientes de gasolinas que la empresa internamente produce, para producir las cuatro matrices de gasolina que ENAP comercializa al mercado.

La mezcla de estas seis corrientes determinará a través de un cálculo, el valor de cada especificación requerida para las gasolinas que se preparan en ENAP Refinerías. Esto será corroborado diaria y rutinariamente por análisis de laboratorio de cada especificación y de cada corriente.

El blending de gasolinas se puso en servicio en Julio del año 2004, como se mencionó anteriormente, por la problemática que causó en ese momento la implementación de nuevas normas que limitaban la cantidad de contaminantes en las gasolinas 97 y 93 octanos, además se segregó las gasolinas para la Región Metropolitana de la gasolina para regiones. Antes del blending actual existía un pequeño blending que permitía con el reformato y gasolina proveniente de la unidad de cracking catalítico obtener las especificaciones de las matrices de gasolinas.

La modificación de los estándares de producción de gasolina, obligó a inversiones en las plantas de procesos como la construcción de la planta de HDG que desulfuriza y satura las di-olefinas de la gasolina proveniente de la planta de cracking catalítico, la que hoy entrega la producción de LCN y HCN. También se construyó la planta de DIPE que a partir del 2004 entrega un aditivo oxigenado de alto octanaje y sin contaminantes. Las nuevas inversiones apuntaron a purificar aun más las gasolinas producidas por cada planta y a la creación del blending que además de automatizar la mezcla de los flujos con controladores independientes para cada flujo, también incluyó corrientes libres de contaminantes como el DIPE, el alquilato y el isomerato, que antes no se tomaban en cuenta para la mezcla de gasolinas, si no que servían para mezclar gasolinas de aviación y como alimentación a otras plantas de proceso.

1.2. GASOLINAS EN ENAP REFINERÍAS ACONCAGUA

Estas seis diferentes corrientes de gasolinas, difieren entre sí por sus especificaciones y ninguna por sí sola cumple las especificaciones exigidas por la ley, por lo tanto y para cumplir con los estándares nacionales de calidad, es que se deben mezclar para obtener las diferentes gasolinas que actualmente están en el mercado nacional.

Las corrientes que cumplen los requisitos para ser mezcladas como gasolinas son las corrientes de LCN y HCN provenientes de la planta de HDG, el reformato que es el producto producido en la planta de reformación catalítica, el DIPE proveniente de la planta del mismo nombre, el isomerato que proviene de la planta de isomerización y el alquilato de la planta de alquilación.

Las seis corrientes tienen especificaciones distintas entre sí, diferencias de las que depende el mezclado de estas para lograr una gasolina dentro de las especificaciones exigidas por la ley. Las diferencias de cada una de estas corrientes se detallan a continuación:

a) NOR: Es la propiedad de las gasolinas que define su número octano. El análisis es una comparación entre el iso-octano que se toma con valor 100 octanos y el n-heptano, que se toma como octano cero.

Las corrientes que cuentan con un NOR mayor a 97 (para gasolina 97 octanos) son solo dos, el reformato y el DIPE, siendo el primero la corriente base de la gasolina 97 octanos y el segundo un aditivo oxigenado para las gasolinas.

b) RVP: Es el análisis que determina la presión de vapor de la gasolina, este análisis se realiza a 100 °F (33,8 °C) y se mide en Kilopascales (Kpa).

Las corrientes que aumentan el RVP de la mezcla de gasolinas son el LCN y el isomerato.

c) Aromáticos: Este análisis mide el porcentaje volumétrico de hidrocarburos aromáticos que contiene la gasolina, estos son moléculas de hidrocarburos como el benceno (C_6H_6) o similares a este, que están limitados por la ley por ser compuestos en su mayoría cancerígenos.

La corriente que aporta la mayor cantidad de este tipo de hidrocarburo a la mezcla, es la corriente de reformato, mientras que el HCN aporta en menor grado.

d) Olefinas: El análisis determina el porcentaje volumétrico de hidrocarburos del grupo alqueno (con enlaces dobles).

Las corrientes que aportan este tipo de hidrocarburos a la mezcla de gasolinas, son el LCN y en menor grado el HCN.

El alquilato no tiene hidrocarburos aromáticos ni olefinicos y además posee un RVP bajo, su problemática es el NOR que no alcanza a superar los 95 octanos y el flujo es bastante bajo comparado con las corrientes bases de gasolina 97 octanos como el reformato.

Aquí solo se analizaron las cuatro especificaciones más importantes, existen muchas más que se detallarán más adelante.

A continuación se muestra una tabla con las principales características de cada corriente:

Tabla 1-1: Principales características de cada corriente

	NOR	RVP	Aromáticos	Olefinas	Alto Flujo
LCN	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Si
HCN	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Si
Reformato	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Si
DIPE	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	No
Isomerato	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Si
Alquilato	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	No

El proceso con el cual se obtiene cada uno de estos seis productos se explicará reducidamente a continuación:

1.2.1. Proceso de reformación para obtención de reformato [1]

El proceso de reformación catalítica ha sido el soporte principal de muchas refinerías de todo el mundo por varios años. La función original de este proceso era mejorar el bajo octanaje de las naftas directas, transformándolas en mezclas de combustible para motores de alto octanaje, promoviendo catalíticamente grupos específicos de reacciones químicas. Pronto otros productos, con el rango de ebullición de las naftas, que provenían de otros procesos (cracking térmico, coquificación, etc.), se incluyeron en la carga a las unidades de reformación catalítica para aumentar también el octanaje. La aplicación de reformación se expandió con lógica y rapidez, e incluyó la producción de hidrocarburos aromáticos específicos. En la industria química, se pudo disponer de benceno de alta pureza, tolueno y xilenos mezclados a partir de fracciones de petróleo, por la combinación de la reformación, extracción de aromáticos y fraccionamiento. Se descubrió que el hidrógeno, “sub-producto” de las reacciones que producen aromáticos, servía para preparar las unidades en las que se llevaría a cabo la

preparación de la carga de las unidades de reformación, como otras unidades de hidrotratamiento.

Hoy en día se cuenta con una nueva unidad de reformación, que revolucionó el proceso: la unidad de reformación con regeneración continua de catalizador. En la actualidad, puede llegarse a operaciones con muy alta severidad sin tener que realizar shutdowns frecuentes por desactivación del catalizador.

La carga a reformación contiene una mezcla de componentes que en general pueden clasificarse en parafinas, naftenos, aromáticos y olefinas. Generalmente los aromáticos son bastante estables a través de los reactores manteniéndose inalterables, mientras que las olefinas estarán presentes sólo en trazas. Por lo tanto, el mejoramiento de la carga se llevará a cabo por reordenamiento o cambios en la estructura molecular de las parafinas y de los naftenos. El propósito del proceso de reformación es producir aromáticos a partir de los naftenos y parafinas, ya sea para el uso como combustible para motor (dados sus altos rangos de octanaje) o como fuente de compuestos aromáticos específicos. En las aplicaciones como combustible para motores, la nafta generalmente contiene todo el rango de hidrocarburos de C_6 a C_{11} , lo que básicamente maximiza la cantidad de gasolina producida con la corrida de crudo.

En el proceso de reformación ocurren las reacciones que a continuación se enunciarán, hasta un grado que dependerá de la severidad de la operación, calidad de la carga y tipo de catalizador:

1.-Deshidrogenación de los naftenos:

El paso final en la formación de un aromático a partir de un nafteno (sea éste un ciclohexano o un ciclopentano) es la deshidrogenación de un ciclohexano. La reacción de un ciclohexano al aromático correspondiente es extremadamente rápida y básicamente cuantitativa. Obviamente, los naftenos son los componentes de la carga más deseados, ya que la reacción de deshidrogenación es fácil de promover y produce el sub-producto hidrógeno, además de los hidrocarburos aromáticos. Esta reacción es muy endotérmica.

2.-Isomerización de los naftenos y parafinas:

La isomerización de un ciclopentano a un ciclohexano, debe ocurrir en la primera etapa de la conversión de un ciclopentano a un aromático. Esta isomerización involucra el reordenamiento del anillo y hay altas probabilidades de que éste se abra para formar una parafina. Por esto, la reacción de los alquilociclopentanos a ciclohexanos no es

100% selectiva. La reacción depende en gran medida de las condiciones de procesamiento.

La isomerización de las parafinas, ocurre fácilmente en las operaciones comerciales de reformación, pero a temperaturas de operación típicas, el equilibrio termodinámico no está con fuerza a favor de los isómeros ramificados (mayor octanaje) deseados. En las aplicaciones para combustibles de motores, esta reacción realiza una contribución al mejoramiento del octanaje de la nafta.

3.-Dehidrociclización de las parafinas:

La dehidrociclización de las parafinas, es la reacción de reformación más difícil de promover. Consiste en un reordenamiento molecular muy difícil de parafina a nafteno. En el caso de las parafinas livianas, las consideraciones de equilibrio limitan esta reacción. El paso de ciclización de las parafinas se facilita a medida que aumenta el peso molecular de la parafina, dado el aumento en las probabilidades estadísticas de que se formen naftenos. Contraponiéndose a este efecto, en cierto modo, está la probabilidad de que las parafinas más pesadas se hidrocraqueen.

4.-Hidrocracking:

Dadas las reacciones forzadas de isomerización de anillos y formación de anillos a las que deben someterse los alquilociclopentanos y parafinas de la carga, y ya que el catalizador requiere tener una función ácida, es alta la posibilidad de que ocurra el hidrocracking promovido por la función ácida. El hidrocracking de las parafinas es relativamente rápido y es favorecido por las altas presiones y temperaturas. La desaparición de las parafinas del rango de ebullición de la gasolina concentra los aromáticos en el producto y, con ello, contribuye al aumento del octanaje. La reacción, sin embargo, consume hidrógeno con lo que se reduce la producción de reformato.

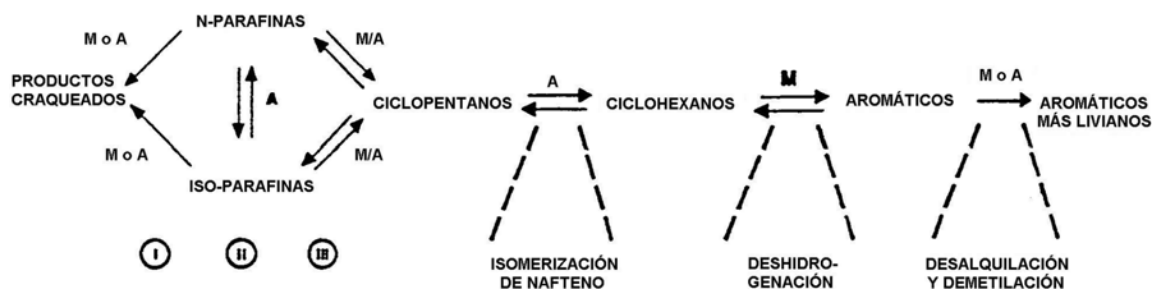


Figura 1-1: Principales reacciones de reformación.

1.2.2. Proceso de HDG para obtención de LCN y HCN [2]

El objetivo de la unidad de HDG, o desulfuradora de Gasolina de cracking catalítico es el de reducir el contenido de azufre en una mezcla de alimentación del fondo de la debutanizadora de cracking y de un corte lateral del fraccionador principal de cracking (nafta), mientras se reduce la pérdida de octano al mínimo.

El diseño básico utiliza la tecnología Prime G+ de IFP. Prime G+ es un proceso catalítico para la hidrodesulfurización de gasolina que incluyen los siguientes componentes principales de la unidad:

- Reactor de hidrogenación selectiva + splitter de gasolina
- Reactor de hidrodesulfurización de HCN + estabilizadora de gasolina
- Por petición de la ENAP, también fue incluido un sistema de regeneración de dietanolamina (DEA) asociada con la sección de proceso de Prime G+ para la disminución de emisiones de azufre.

La unidad se diseña para una capacidad total de 3.245 m³/día, con una capacidad de caída de 50 % del caudal de flujo (carga mínima).

Aquí se logran dos productos: LCN o “corte de nafta liviana” (Light cut nafta) con bajo azufre y HCN o “Corte de Nafta Pesada” (Heavy cut nafta) con bajo azufre. Estas dos corrientes serán producidas por separado ya que pueden irse a distintos grados o tipos de gasolina. La presión de vapor de LCN será controlada por la adición del reformato (fuera del límite de la batería).

Algunas de las reacciones que se producidas en esta planta son:

1.-Hidrogenación de diolefinas:

Las diolefinas son hidrogenadas a olefinas correspondientes, ocurriendo una cierta cantidad de hidrogenación a parafinas.

Ciclodiolefinas: un ejemplo típico es ciclohexadieno, el cual es hidrogenado en ciclohexeno sin más hidrogenación que con el catalizador y las condiciones de operación

Diolefinas normales: su proceso de hidrogenación produce varios isómeros

Isodiolefinas: la hidrogenación de isodiolefinas produce varios isómeros. Además, la migración de doble enlace también puede ocurrir dentro del nuevo isómero.

Las diolefinas son compuestos bastante inestables que se polimerizan fácilmente formando gomas. Por lo tanto, la conversión de diolefinas a olefinas mejora la calidad del producto. Estas reacciones son altamente exotérmicas. La diferencia entre el valor

dieno (DV, siglas en inglés) o el valor anhídrido maleico (MAV) de la alimentación y el producto, miden el alcance de estas reacciones. El alcance de la reacción está relacionado con el consumo de hidrogeno.

2.-La Isomerización de las olefinas:

Esta reacción, favorecida termodinámicamente a temperaturas bajas ($T < 210$ °C), toma lugar cuando las diolefinas son casi completamente eliminadas. Ofrece la ventaja de conducir a olefinas internas que son más estables frente a la hidrogenación que las olefinas externas. Por tanto, se mejora la selectividad. Además, las olefinas internas generalmente tienen un número de octano más alto.

Hidrogenación de olefinas: estas reacciones no son deseadas por que reducen el número de octano.

La hidrogenación de diolefinas es más rápida que la hidrogenación de olefinas. Sin embargo, es difícil evitar la hidrogenación completa de olefinas, especialmente, si la alimentación contiene 1-olefinas que son más reactivas que 2- o 3-olefinas. Esta reacción también es exotérmica. La diferencia entre el número de bromo de alimentación (BrN) y el número de bromo del producto, mide la razón de conversión de esta reacción y se relaciona con el consumo de hidrógeno.

3.-Reacciones de Azufre:

En naftas craqueadas (gasolina y nafta de cracking), los principales compuestos de azufre incluyen mercaptanos (RSH), sulfuros alifáticos, disulfuro alifático y tiofénos. Sobre los catalizadores de hidrogenación selectiva, mercaptanos livianos y sulfuros livianos se convierten en especies de azufre más pesados. Además, el H_2S también se convierte en compuestos de azufre más pesados. La combinación de hidrogenación selectiva y fraccionamiento de la mezcla de gasolina más nafta de cracking permite la producción de una corriente de gasolina liviana con un contenido bajo de azufre, si se controla el exceso de tiofeno en ésta corriente. Las reacciones de cambio del azufre son reacciones más rápidas que las reacciones de hidrogenación de diolefinas.

Aunque algunos de estos mecanismos involucran la producción de H_2S , la reacción de H_2S adicional es una reacción muy rápida. Por lo tanto, no existe H_2S en el reactor. Aproximadamente el 95-99% de los mercaptanos livianos son convertidos en el reactor selectivo de hidrogenación.

4.-Hidrogenación de olefinas:

Hidrogenación o saturación de olefinas es la adición de una molécula de hidrógeno a un hidrocarburo insaturado para producir un producto saturado. Hidrocarburos olefínicos son encontrados en concentraciones altas en gasolinas craqueadas. La reacción de olefinas saturadas es altamente exotérmica y es controlado por el proceso.

Esta reacción es exotérmica ($\Delta H = 30.000 \text{ kcal/kgmol}$) y la mayoría del calor que escapa en el reactor es debido a la reacción del calor de la hidrogenación de las olefinas. Bajo las condiciones de operación seleccionada, la razón de reacción de hidrogenación de las olefinas es menor que la razón de la reacción de hidrosulfurización. Entonces, una buena selectividad es alcanzada. La hidrogenación de olefinas es también una reacción de primer orden con respecto a la concentración de reactante y una reacción de orden positiva con respecto a presión parcial de hidrógeno. Para poder desulfurizar la gasolina más nafta de cracking mientras se maximiza la retención de octano, la saturación de olefinas debe ser minimizada. La selectividad del catalizador es definida como la razón de hidrosulfurización dividido por la razón de saturación de olefinas.

1.2.3. Proceso de DIPE para obtención de DIPE [3]

En el Acta Norteamericana por un Aire Limpio de 1990 se dictó el uso obligado de oxigenados en la gasolina como parte de los programas del Oxyfuel y de la gasolina reformulada (RFG). Históricamente, esta necesidad ha sido suplida por los alcoholes como el etanol y éteres. Se sabe que el di-isopropileter, o DIPE, presenta buenas propiedades de mezclado con un octanaje de $105 (R+M)/2$ y una presión de vapor Reid de mezclado (RVP) de 4 a 5 psi. Este bajo nivel de RVP es particularmente atractivo si se le compara con el MTBE a 8 psi, y con el etanol a 17-25 psi.

El Proceso Oxypro UOP para la producción de DIPE se presenta ante la industria con un sistema único de reacción simple que convierte el propileno y el agua en una mezcla en equilibrio de iso-propil alcohol (IPA) y DIPE. El efluente del reactor es una mezcla de oxigenados e hidrocarburos no convertidos. El producto de DIPE es recuperado en la sección de recuperación de producto de la unidad y el propileno, agua e IPA no convertidos recirculan hacia la sección de reacción. El propano contenido en la carga fresca se recupera en forma de producto de alto grado. El DIPE se produce a una pureza de alrededor del 98% en peso.

El proceso se basa en la hidratación del propileno con agua sobre un catalizador ácido soportado para producir IPA. El IPA reacciona ya sea con el propileno o con IPA adicional para formar DIPE. Las condiciones de reacción son controladas para promover la reacción deseada de IPA con propileno por sobre la reacción de IPA con IPA, ya que esta reacción consume el doble de IPA que en la reacción deseada. Tanto la primera hidratación como la eterificación son exotérmicas y tienen como límite el equilibrio; además, son termodinámicamente favorecidas a menor temperatura. Las reacciones de poligomerización son reacciones irreversibles y no deseadas. Estas reacciones producen material olefinico (entre las principales se cuentan 1-hexano o 1-noneno) de bajo octanaje y contribuyen a la desactivación del catalizador. Las condiciones de operación de Oxypro pueden seleccionarse para minimizar estas reacciones secundarias.

El rendimiento del producto DIPE por barril de propileno fresco consumido es de 0,86. El propano y los compuestos más pesados contenidos en la carga fresca que no reaccionan, se consideran un sub producto con un contenido de propileno menor al 5% en peso. La sección de reacción Oxypro opera a temperaturas y presiones convencionales de refinería, menores a los 177 °C y menores a los 77,4 Kg/cm², respectivamente. Las condiciones de operación se establecen de modo que la sección de reacción opere en una fase homogénea, compuesta por agua, hidrocarburos e IPA. Ya que el proceso Oxypro es un proceso exotérmico que funciona a bajas temperaturas, sólo se necesita vapor de media presión como medio de calentamiento, en la sección de reacción.

La planta de DIPE está diseñada para producir 178,4 toneladas métricas por día. La capacidad mínima de la planta es de 95% de la capacidad de diseño, esto es, 169,5 toneladas métricas por día de producto DIPE en especificación.

1.2.4. Proceso de isomerización para la obtención de isomerato [4]

El proceso Penex está específicamente diseñado para la isomerización continua de pentanos, hexanos y mezclas de los mismos. Las reacciones tienen lugar en una atmósfera de hidrógeno, sobre un lecho fijo de catalizador, y en condiciones de operación que fomentan la isomerización y minimizan el hidrocracking. Por lo general, se considera que la isomerización, provoca un reordenamiento intramolecular de los iones de carbono.

A excepción del hidrotratamiento normal, el proceso Penex no requiere un pretratamiento de alimentación especial o un prefraccionamiento costoso o avanzado para eliminar los cíclicos C₆, C₇ o superiores.

1.2.5. Proceso de alquilación para la obtención de alquilato [5]

La Planta de alquilación, se alimenta con los butanos contenidos en el LPG de cracking catalítico, estos butanos son una mezcla de isobutano, butilenos y n-butano, en porcentajes variables, de acuerdo a la composición de los crudos y a las condiciones de operación de la Unidad de cracking. La reacción de alquilación se produce entre el isobutano y los butilenos en un reactor, utilizando como catalizador, ácido sulfúrico concentrado. El producto resultante, es un efluente de hidrocarburos de los que se obtiene finalmente el alquilato liviano, que es una mezcla de hidrocarburos ramificados de un elevado octanaje.

Estos hidrocarburos son, el isobutano y los butilenos, los que al combinarse bajo la presencia del ácido sulfúrico concentrado (~ 92-93%) como catalizador, dan origen a la mezcla de hidrocarburos ramificados que constituyen el alquilato liviano, cuyos componentes más importantes son del tipo iso-octano (8 átomos de carbono).

1.3. ESPECIFICACIONES DE LAS GASOLINAS

Para dar cumplimiento con la norma chilena NCh 64. Of 95, con el Decreto del 29/01/2004 y Decreto 133 del 16/10/2004 del Ministerio Secretaría de la Presidencia y con contrato 602/2000 del 0.08.2000 se presentan a continuación las especificaciones de las gasolinas 93 y 97 octanos sin plomo para regiones y gasolinas sin plomo para la Región Metropolitana 93 y 97 octanos, difundido por el Departamento de Calidad y Medio Ambiente. Dichas gasolinas serán denominadas de aquí en adelante gasolina 93 RP y 97 RP (resto país o Regiones) y 93 RM y 97 RM (Región Metropolitana).

Tabla 1-2: Especificaciones exigidas para las diferentes gasolinas.¹

	97 RM	93 RM	97 RP	93 RP
API	se informa	se informa	se informa	se informa
aromaticos	máx 38 (w/v)	máx 38 (w/v)	50 (w/v)	50 (w/v)
azufre	máx 30 ppm	máx 30 ppm	máx. 100 ppm	máx. 100 ppm
benceno	máx. 1 (w/v)	máx. 1 (w/v)	máx. 1 (w/v)	máx. 1 (w/v)
corrosión	máx. Nº2	máx. Nº2	máx. Nº2	máx. Nº2
10%	máx. 70 °C	máx. 70 °C	máx. 70 °C	máx. 70 °C
50%	máx. 121 °C	máx. 121 °C	máx. 121 °C	máx. 121 °C
90%	máx. 177°C	máx. 177°C	máx. 190 °C	máx. 190 °C
PFE	máx. 221 °C (V región)	máx. 221 °C (V región)	máx. 225°C	máx. 225°C
residuo	máx. 2 (w/v)	máx. 2 (w/v)	máx. 2 (w/v)	máx. 2 (w/v)
fósforo	se informa	se informa	se informa	se informa
goma lavada	máx. 5 (mg/100ml)	máx. 5 (mg/100ml)	máx. 5 (mg/100ml)	máx. 5 (mg/100ml)
MTB-E	se informa	se informa	se informa	se informa
NOR research	min. 97,3	min. 93,3	min. 97,3	min. 93,3
NOR motor	se informa	se informa	se informa	se informa
olefinas	máx. 12 (w/v)	máx. 12 (w/v)	40 (w/v)	40 (w/v)
oxigeno	máx. 2 (m/ms)	máx. 2 (m/ms)	máx. 2 (m/ms)	máx. 2 (m/ms)
Estabilidad oxidación	min. 240	min. 240	min. 240	min. 240
plomo	máx. 0,013 (g Pb/l)	máx. 0,013 (g Pb/l)	máx. 0,013 (g Pb/l)	máx. 0,013 (g Pb/l)
RVP verano	máx. 55 Kpa	máx. 55 Kpa	máx. 69 Kpa	máx. 69 Kpa
RVP invierno	máx. 69 Kpa	máx. 69 Kpa	máx. 86 Kpa	máx. 86 Kpa
razón vapor-liquido =20	min. 47 °C	min. 47 °C	min. 47 °C	min. 47 °C
	región Metropolitana	Regiones		
verano	1° Sep al 31° Mar	1° Oct al 30 Abril		
invierno	1° Abril al 31 Agosto	1° Mayo al 30 Sept		

La tabla muestra las especificaciones de las cuatro gasolinas que se preparan en ENAP Refinerías Aconcagua, estableciendo los valores máximos o mínimos para cada especificación y diferenciándolas por el tipo de gasolina que se prepare y en el caso del RVP separándola por el período del año que sea.

Estas especificaciones deben ser cumplidas obligatoriamente para vender la gasolina en Chile y se busca, en la medida de lo posible, estar lo más cerca de los límites permisibles para así no vender productos excedidos en calidad al mismo precio, aunque

¹ Actualizado a Enero 2005.

Todos los análisis son efectuados bajo el método ASTM para cumplimiento legal.

la mayoría de las veces las especificaciones son cumplidas con mucha dificultad debido a la gran exigencia que representan teniendo en cuenta los altos estándares de calidad que el gobierno de Chile ha puesto, inclusive superando estándares de países desarrollados de Europa, a raíz de la alta contaminación de Santiago y para mejorar la calidad del aire en todo el país.

No todas las especificaciones son censadas a diario puesto que existe una cantidad importante de especificaciones que se dan por sí solas y no necesitan chequeo diario, estas especificaciones son censadas en el estanque de almacenamiento y antes de ser vendido para aprobar la venta.

El resto de las especificaciones son chequeadas a diario y según un programa del Departamento de Laboratorio que se cumple fielmente y que es la retroalimentación para el recálculo de las corrientes participantes del blending de gasolinas.

A continuación se muestra el programa de muestreo de las gasolinas 93 y 97 RP y RM.

Tabla 1-3: Programa de muestreo de las diferentes gasolinas.

PRODUCTO	PERIODICIDAD	HORA	ANÁLISIS
97 RM	diario	22:00	curva - azufre - PONA - benceno - NOR - RVP - DIPE - oxígeno
97 RM	diario	6:00 - 14:00	benceno - NOR - RVP
93 RM	diario	22:00	curva - azufre - PONA - benceno - NOR - RVP - DIPE - oxígeno
93 RM	diario	6:00 - 14:00	benceno - NOR - RVP
97 RP	diario	6:00	NOR - RVP - curva
93 RP	diario	6:00	NOR - RVP - curva

De estas sólo algunas son las que hacen variar el cálculo del blending, ya sea por su importancia o por el grado de dificultad que representa lograr la especificación, éstas son:

NOR, RVP, aromáticos, olefinas y en menor grado azufre y benceno.

La curva ASTM, el oxígeno y el DIPE en condiciones normales de operación están siempre en rangos permisibles y menores que éstos. Se agregan a estos últimos el azufre y benceno que al igual que los anteriores en condiciones normales de operación no necesitan de ajustes mayores.

Por lo tanto y en vista de lo anterior las especificaciones de mayor cuidado son solo cuatro, en las que se basará el diseño del control para el blending de gasolinas, estas son:

- NOR
- RVP
- Aromáticos
- Olefinas

Adicionalmente el laboratorio chequea periódicamente las corrientes involucradas en el blending de gasolinas. Estos análisis son vitales para el cálculo de la especificación final de las matrices de gasolina. A continuación se presentan los programas de análisis y los análisis realizados a las horas establecidas:

Tabla 1-4: Programas de análisis de laboratorio para cada producto

Reformato:

PRODUCTO	PERIODICIDAD	HORA	ANÁLISIS
C-379	diario	6:00-14:00-22:00	NOR zeltex
C-379	diario	14:00	curva - benceno - NOR zeltex
C-379	mar/juev	14:00	PONA - RVP

Alquilato:

PRODUCTO	PERIODICIDAD	HORA	ANÁLISIS
J-918	diario	6:00 - 14:00	RVP - corrosión - curva
J-918	lun/juev	6:00	NOR

Isomerato:

PRODUCTO	PERIODICIDAD	HORA	ANÁLISIS
C-879	diario (hábil)	6:00	NOR
C-879	diario	6:00	RVP - curva

DIPE:

PRODUCTO	PERIODICIDAD	HORA	ANÁLISIS
SN1310	diario	6:00	composición - DIPE - IPA - agua

HCN y LCN:

PRODUCTO	PERIODICIDAD	HORA	ANÁLISIS
HCN	diario	6:00 - 14:00	curva-API-mercaptanos-Índice Bromo-RVP-azufre-NOR-NOM
LCN	diario	6:00 - 14:00	curva-API-mercaptanos-Índice Bromo-RVP-azufre-NOR-NOM

Los resultados de los análisis realizados son difundidos en red a todos los usuarios del sistema, aquí los usuarios leen los datos que principalmente servirán para hacer los ajustes necesarios en la sección de refinación. Paralelamente el departamento de Ingeniería hace recepción de estos datos para hacer el cálculo y simulaciones en

planillas de cálculo que servirán para determinar los flujos requeridos para el blending de gasolinas.

CAPITULO 2: ESTUDIO DEL CONTROL ACTUAL

2. ESTUDIO DEL CONTROL ACTUAL

2.1. SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO TDC-3000

La función de operación del proceso de refinación de ENAP Refinerías Aconcagua requiere principalmente de monitoreo y manipulación del proceso. Para esto se dispone de despliegues apropiados que permiten realizar acciones de control, estas acciones las pone a disposición el Sistema de Control Distribuido TDC-3000.

El sistema TDC-3000 se basa en una red general llamada LCN que posee una transmisión de 5 Mbits/seg. Es una red redundante de comunicación que interconecta los módulos de la sala de control y terreno, permite además la conexión de hasta 20 redes de comunicación local UCN que también es redundante y de alta velocidad.

A la red local UCN están conectados los HPM, que son equipos de adquisición y control de datos ya sea analógico o digital. En estos equipos se encuentran los algoritmos de control, aquí se reciben las señales de terreno que pueden ser filtradas o convertidas dependiendo del algoritmo de control, además de enviar señales a terreno para manejar actuadores, motores y/o válvulas de control.

Cada HPM puede albergar hasta 800 puntos configurables (algoritmos o señales de terreno). Es posible configurar algoritmos de control calculadores, temporizadores, sumadores, rampas, entre otros.

El HPM alberga entonces los controladores básicos que nos permiten el control de señales de terreno vía algoritmo de control, estos algoritmos son configurables pudiendo direccionar entradas y salidas al algoritmo siempre que estas señales se encuentren dentro de la misma red local UCN.

Otra característica del HPM es el registro de datos que tiene una resolución de 1 milisegundo y es transmitido al módulo historia.

El módulo de historia es un nodo de la red general LCN y cumple la función de almacenar la base de datos de todo el sistema y realizar registro histórico de variables, pudiendo acumular hasta un año de información comprimida. Además almacena eventos del proceso y del sistema, registros de acciones del operador, alarmas del proceso, errores del sistema, indicación de mantenciones del sistema, entre otros.

Es posible configurar un punto del sistema con o sin intervención del módulo historia según se requiera, dejando disponible en el tiempo la variable del punto que se necesite.

La red LCN también alberga el dispositivo llamado AM que es un equipo diseñado para realizar funciones de control avanzado. Su ubicación le permite acceder y manejar toda la información del sistema, sin importar de que red UCN provenga, a diferencia del HPM que alberga controladores básicos y solo puede comunicar información dentro de una misma red UCN. La base de datos del AM incluye puntos de control con algoritmos avanzados configurables, que permiten implementar muchas estrategias de control directamente.

El sistema es visualizado por el usuario mediante las GUS, estas son la interfaz de la red LCN con el usuario y también están conectadas a esta red general. Cuenta con un monitor de vídeo de 19 pulgadas de alta resolución con sistema “touch screen”, en esta se muestra el programa Nativo que permite manejar y configurar todos los dispositivos de la red. Además posee un teclado integrado y un “trackball” que facilitan la operación y funcionalidad de la pantalla.

2.2. PLANILLAS DE CÁLCULO

Actualmente el cálculo de los flujos requeridos para la mezcla de gasolinas es realizado por el departamento de Ingeniería. Aquí se realizan simulaciones de mezclas por medio de una planilla de cálculos Excel, estas simulaciones entregan valores finales de las especificaciones de las matrices de gasolinas Región Metropolitana y resto país producto de la iteración de los diferentes flujos de mezcla.

Los resultados entregados son recepcionados por el departamento de operaciones quien a través de los operadores TDC y operadores de terreno modifican los valores de flujo actuando directamente sobre los controladores de flujo de las diferentes corrientes de mezcla.

La retroalimentación al departamento de Ingeniería se produce cuando se muestrean rutinariamente las matrices de gasolinas y las corrientes de mezcla independientemente. Con estos valores se modifican según los resultados los cálculos hechos. Esta retroalimentación se hace solamente en horario administrativo lo que hace muy inestable el sistema en horarios y días en que dicho departamento no trabaja.

La planilla de cálculo utilizada muestra los diferentes productos de mezcla y sus especificaciones. Mediante un cálculo lineal se promedian las especificaciones y los

flujos de cada producto para obtener el resultado de la especificación de la mezcla final de dichos productos, esto es:

Tabla 2-1: Planilla de cálculo.

Línea 97 RM	flujos m ³ /día	Vol. %	AROMÁTICOS % w/v	OLEFINAS % w/v	BENCENO m/m	10% ASTM °C	50% ASTM °C	90% ASTM °C	NOR	Azufre ppm	RVP psi
G-530	0	0	25	30	0,7	56	91	173	91,4	300	7,7
LCN	382	20,1	1	35	0,2	29,2	43	58	94,6	22	16,0
HCN	398	20,9	45	16	1,2	101,8	139	193	86	105	1,2
Reformato	614	32,3	81,6	1,5	1,5	100	133	160	105,2	0	4,9
DIPE	240	12,6	0	0	0	67	68	69	112	0	5,0
Isomerato	167	8,8	0	1,5	0	48	68	92	82,7	0	11,8
Alquilato	100	5,3	0	0	0	74	105	170	94,5	0	6,5
BUTANO	0	0	0	0	0	1,1	1,2	1,3	96	0	51,5
Total 97 RM	1900	100	36,0	11,0	0,8	43,4	100,8	129,5	97,4	26,4	7,5 51,8

Celdas color lila: Nombre de la corriente de mezcla.

Celdas color naranja: Nombre de la especificación y su unidad de medida.

Celdas color celeste: Especificaciones de los productos de mezcla independientes censados rutinariamente por laboratorio e ingresados en forma manual a la planilla de cálculo.

Celdas color celeste oscuro: Especificaciones de los productos de mezcla independientes estimados por diseño de planta y estimaciones experimentales ingresadas manualmente a la planilla.

Celdas color rojo: Valores de flujo volumétricos estimativos ingresados por iteración del usuario para obtener los resultados finales de especificaciones de la línea de gasolina 97 RM, estos valores son ingresados manualmente y cambiados de acuerdo al resultado obtenido.

Celdas color amarillo: Valores finales de las especificaciones de la línea de gasolina 97 RM, calculadas con la sumatoria de los productos entre las especificaciones y flujos volumétricos y divididos por el flujo total de gasolina 97 RM.

Celda color verde: Valor del flujo volumétrico total de gasolina 97 RM.

El formato de las planillas de cálculo es igual para las cuatro matrices de gasolina: gasolina 97 RM, gasolina 93 RM, gasolina 97 RP y gasolina 93 RP. Se busca generalmente maximizar los flujos de gasolinas 97 RM y gasolina 93 RM dejando la gasolina 97 RP en lo que alcance con los flujos sobrantes sin salirse de las especificaciones para esta gasolina y mandando el excedente de productos a gasolina 93

RP que será comercializada dependiendo de sus especificaciones o siendo mezclada con otras gasolinas en zona de almacenamiento para ser comercializada con los estándares requeridos.

El análisis de las planillas de cálculo existente arroja las fórmulas empleadas para cada especificación de las gasolinas, a continuación se detalla el cálculo que se realiza para la estimación de las especificaciones más importantes, que posteriormente serán empleadas en el diseño del proyecto:

NOR: El NOR de las matrices de gasolinas es calculado linealmente promediando la suma de los productos de cada corriente, esto es:

$$\text{NOR} = \frac{\Sigma (\text{Flujos independientes} \times \text{NOR de cada corriente})}{\text{Flujo total de gasolina}}$$

El valor de NOR del reformato es afectado por un factor creado experimentalmente para corregir el valor de este en la mezcla, este valor es de 1,02199.

RVP: El RVP de las matrices de gasolina expresado en Kpa es calculado promediando la suma de los productos de cada corriente, siendo cada especificación afectada por un factor exponencial al igual que el promedio total. Estos factores son los empleados en todas las mezclas de productos para RVP en Kpa y comprobados experimentalmente en ENAP por el departamento de Ingeniería. El factor exponencial para cada especificación es de 1,25 y el factor exponencial para el promedio total es de 1/1,25, esto es:

$$\text{RVP} = \frac{\left(\Sigma (\text{Flujos independientes} \times (\text{RVP de cada corriente})^{1,25}) \right)^{(1/1,25)}}{\text{Flujo total de gasolina}}$$

El valor de RVP del isomerato es afectado por un factor creado experimentalmente para corregir el valor de este en la mezcla, este valor es de 1,12.

Aromáticos: Los aromáticos de las gasolinas RM son expresados en porcentaje volumétrico y es calculado promediando la suma de los productos de cada corriente que contenga productos aromáticos, esto es:

$$\% \text{ aromáticos} = \frac{\Sigma (\text{Flujos independientes} \times \text{Aromáticos de cada corriente})}{\text{Flujo total de gasolina}}$$

Olefinas: Las olefinas de las gasolinas RM son expresadas en porcentajes volumétricos y se calcula promediando la suma de los productos de cada corriente que contenga olefinas, esto es:

$$\% \text{ olefinas} = \frac{\Sigma (\text{Flujos independientes} \times \text{Olefinas de cada corriente})}{\text{Flujo total de gasolina}}$$

Las fórmulas empleadas en el cálculo del blending fueron ocupadas para hacer otra planilla propia de cálculo mas amigable y con la información requerida, como lo son los datos de porcentaje de aromáticos, olefinas, benceno, azufre, NOR y RVP y por el lado de los productos el HCN, LCN, DIPE, reformato, isomerato, butano y alquilato.

La nueva planilla se presenta así:

Tabla 2-2: Nueva Planilla de cálculo.

136/01/2004			aromaticos	azufre	benceno	NOR	olefinas	RVP
HCN	fc 12425.pv	310	38	30	-	87,5	20	6,5
LCN	fc 12426.pv	290	0,4	26	-	93,6	40,4	99,3
DIPE	fc 3813.pv	170	0,5	-	-	112,0	-	35,0
reformato	fc 12422.pv	600	73,2	1	1,7	103,6	3	35,1
isomerato	fc 12428.pv	170	-	-	-	82,7	-	78,8
C4	fc 12429.pv	00	-	-	-	97,0	44	350,0
alquilato	fi 12442.pv	110	-	-	-	96,3	-	43,3
real laboratorio	22:00		23	0,4	0,8	97,8	12	53,4
	suma	1.650	33,8	10,6	0,6	97,9	11,9	49,5

Donde:

Celdas color celeste: representan los valores reales de laboratorio de cada corriente.

Celdas color amarillo: representan los datos reales de laboratorio de la matriz de gasolina 97 RM.

Celdas color verde: representan el valor calculado de las especificaciones de la matriz de gasolina 97 RM.

Celdas color rojo: representan el valor real de flujos volumétricos de las diferentes corrientes.

Celda color azul: representa la suma de las corrientes o el flujo total de gasolina 97 RM.

Se realizó la misma planilla para las cuatro matrices de gasolina incluyendo las corrientes que se usan para cada una y las principales especificaciones requeridas.

Las planillas de cálculo fueron probadas durante un período de tiempo para determinar el error de estas para su posterior uso en el proyecto. La planilla de gasolina 97 RM fue la que mas se probó llegando a 24 ensayos a partir del 17/12/2004. La planilla de 93 RM fue probada 6 veces a contar del 24/12/2004. La planilla de 97 RP fue probada 2 veces y la de 93 RP 3 veces. En total, el número de ensayos de las planillas es de 35, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 2-3: Ensayos realizados a planilla de cálculo para la gasolina 97 RM.

17/12/2004	m ³ /d	aromaticos	NOR	olefinas	RVP		18/12/2004	m ³ /d	aromaticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	369	38	86,2	12	6,9		HCN	376	38	86,8	12	7,4
LCN	367	4	94,4	26	103,4		LCN	366	4	94,1	26	100,1
DIPE	214		112		35		DIPE	215		112		35
reformato	572	80,7	103,2	1,1	25,2		reformato	570	80,7	103,8	1,1	25,2
isomerato	140		83,3		77,4		isomerato	140		82,8		91,1
C4	00		97	44	350		C4	00		97	44	350
alquilato	49		95,4		43,7		alquilato	45		95,4		44,5
real laboratorio		38,2	97,6	11,4	52,5		real laboratorio		38,2	97,6	11,5	52,7
suma	1.712	36,0	97,6	8,5	48,2		suma	1.712	36,1	97,8	8,6	48,7
21/12/2004	m ³ /d	aromaticos	NOR	olefinas	RVP		21/12/2004	m ³ /d	aromaticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	180	38	86,4	12	9,1		HCN	280	38	86,4	12	9,1
LCN	180	4	94,5	26	105,7		LCN	317	4	94,5	26	105,7
DIPE	210		112		35		DIPE	214		112		35
reformato	600	82,2	104,7	1	22,5		reformato	651	82,2	104,7	1	22,5
isomerato	320		83,2		80,5		isomerato	278		83,2		80,5
C4	00		97	44	350		C4	00		97	44	350
alquilato	100		95,4		39,3		alquilato	05		95,4		39,3
real laboratorio			98,2		50,4		real laboratorio			98		53,5
suma	1.590	35,8	98,4	4,7	49,2		suma	1.745	37,5	98,2	7,0	51,0
22/12/2004	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		23/12/2004	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	285	38	86,4	12	9,7		HCN	333	38	86,5	12	9,8
LCN	313	4	94,2	26	111,2		LCN	357	4	94,4	26	111,3
DIPE	209		112		35		DIPE	204		112		35
reformato	636	82,8	104,3	1	22,5		reformato	571	82,8	104,4	1	25,8
isomerato	281		82,9		88		isomerato	187		81,6		79,8
C4	00		97	44	350		C4	00		97	44	350
alquilato	06		95,4		39,3		alquilato	06		95,4		48,1
real laboratorio	22:00	38,1	97,7	9,6	51,6		real laboratorio	22:00	36	97,2	11	54,4
suma	1.730	37,4	97,8	7,0	53,8		suma	1.658	37,0	97,8	8,4	52,8
24/12/2004	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		25/12/2004	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	346	38	86,4	20	9,6		HCN	346	38	86,5	20	8,1
LCN	354	4	94,0	40,4	107,5		LCN	354	4	94,2	40,4	103,0
DIPE	202		112,0		35,0		DIPE	202		112,0		35,0
reformato	580	82,8	103,8	3	25,8		reformato	580	82,8	104,0	3	25,8
isomerato	179		83,3		76,6		isomerato	179		82,8		85,4
C4	00		97,0	44	350,0		C4	00		97,0	44	350,0
alquilato	07		95,4		44,5		alquilato	07		95,4		48,1
real laboratorio	22:00	36,9	97,2	12,1	51,3		real laboratorio	22:00	35,6	97,8	11,9	54,3
suma	1.668	37,5	97,7	13,8	50,7		suma	1.668	37,5	97,7	13,8	50,5

Tabla 2-3: Ensayos realizados a planilla de cálculo para la gasolina 97 RM (continuación)

26/12/2004	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		14/01/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	243	38	86,4	20	11,8		HCN	334	38	88,0	20	8,0
LCN	263	4	94,3	40,4	119,0		LCN	347	4	93,8	40,4	103,3
DIPE	198		112,0		35,0		DIPE	157	0,5	112,0		35,0
reformato	568	82,8	103,8	3	25,8		reformato	583	78,6	103,3	3	26,5
isomerato	253		82,5		76,7		isomerato	120		82,6		87,3
C4	00		97,0	44	350,0		C4	00		97,0	44	350,0
alquilato	06		95,4		47,6		alquilato	103		95,4		47,6
real laboratorio	22:00	36	97,9	9,4	54,4		real laboratorio	22:00		97,1		48,3
suma	1.531	37,4	97,8	11,2	53,9		suma	1.644	36,4	97,8	13,7	49,5
16/01/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		24/01/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	303	38	87,8	20	8,0		HCN	260	38	86,4	20	10,8
LCN	297	0,4	94,0	40,4	103,3		LCN	543	0,4	94,0	40,4	112,6
DIPE	158	0,5	112,0		35,0		DIPE	184	0,5	112,0		35,0
reformato	580	78,6	103,0	3	26,5		reformato	1.086	78,6	103,3	3	26,5
isomerato	137		83,1		90,8		isomerato	304		82,9		86,6
C4	00		97,0	44	350,0		C4			97,0	44	350,0
alquilato	74		95,4		50,6		alquilato	174		95,4		45,4
real laboratorio	22:00	37,2	97,4	10	50,6		real laboratorio	22:00	38,4	98,1	9,6	57,2
suma	1.549	36,9	97,9	12,8	49,5		suma	2.551	37,4	98,2	11,9	56,6
30/01/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		01/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	480	38	86,0	20	9,5		HCN	320	38	86,0	20	8,2
LCN	410	0,4	94,2	40,4	105,6		LCN	370	0,4	94,3	40,4	102,1
DIPE	250	0,5	112,0		35,0		DIPE	270	0,5	112,0		35,0
reformato	750	78,6	102,3	3	26,5		reformato	790	78,6	100,2	3	26,5
isomerato	200		83,1		79,8		isomerato	170		82,1		72,3
C4			97,0	44	350,0		C4			97,0	44	350,0
alquilato	110		95,4		44,3		alquilato	00		95,4		39,7
real laboratorio	22:00	35,2	97,5	9,5	55,1		real laboratorio	22:00	36,4	97,4	10,8	54,4
suma	2.200	35,2	97,0	12,9	48,2		suma	1.920	38,8	97,7	12,4	46,8
02/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		03/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	310	38	86,0	20	9,0		HCN	310	38	86,4	20	8,3
LCN	310	0,4	93,8	40,4	102,4		LCN	310	0,4	93,8	40,4	97,2
DIPE	250	0,5	112,0		35,0		DIPE	280	0,5	112,0		35,0
reformato	650	78,6	100,6	3	33,7		reformato	650	78,6	101,4	3	33,7
isomerato	150		83,1		81,0		isomerato	150		82,7		81,2
C4			97,0	44	350,0		C4			97,0	44	350,0
alquilato	00		95,4		44,2		alquilato	00		95,4		37,5
real laboratorio	22:00	37,1	97,5	10,8	51,6		real laboratorio	22:00	37	97,4	9,3	54,1
suma	1.670	37,7	97,6	12,4	49,8		suma	1.700	37,1	98,2	12,2	48,3

Tabla 2-3: Ensayos realizados a planilla de cálculo para la gasolina 97 RM (continuación)

07/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		08/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	280	38	85,5	20	6,3		HCN	470	38	87,4	20	7,7
LCN	240	0,4	93,7	40,4	94,7		LCN	430	0,4	93,9	40,4	97,6
DIPE	180	0,5	112,0		35,0		DIPE	210	0,5	112,0		35,0
reformato	780	73,2	103,7	3	32,5		reformato	970	73,2	103,0	3	40,5
isomerato	340		82,9		85,9		isomerato	280		82,9		76,6
C4			97,0	44	350,0		C4			97,0	44	350,0
alquilato	130		96,3		46,9		alquilato	150		96,3		43,3
real laboratorio	22:00	36,9	98	10,3	57,8		real laboratorio	22:00	38,6	97,7	9,2	55,4
suma	1.950	34,8	97,4	9,0	50,9		suma	2.510	35,5	97,5	11,8	51,1
09/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		11/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	230	38	86,8	20	5,9		HCN	260	38	86,7	20	12,4
LCN	280	0,4	93,6	40,4	101,3		LCN	220	0,4	94,6	40,4	112,0
DIPE	180	0,5	112,0		35,0		DIPE	170	0,5	112,0		35,0
reformato	740	73,2	103,8	3	40,5		reformato	570	73,2	103,1	3	35,1
isomerato	330		82,9		78,1		isomerato	210		82,3		75,9
C4			97,0	44	350,0		C4			97,0	44	350,0
alquilato	100		96,3		43,6		alquilato	110		96,3		42,8
real laboratorio	22:00	38,6	97,9	9,1	58,2		real laboratorio	22:00	37,8	97	10,2	50,9
suma	1.860	33,9	97,8	9,7	55,2		suma	1.540	33,6	97,6	10,3	51,8
12/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP		13/02/2005	m ³ /d	aromáticos	NOR	olefinas	RVP
HCN	310	38	87,0	20	7,0		HCN	310	38	87,5	20	6,5
LCN	290	0,4	93,6	40,4	99,6		LCN	290	0,4	93,6	40,4	99,3
DIPE	170	0,5	112,0		35,0		DIPE	170	0,5	112,0		35,0
reformato	600	73,2	103,2	3	35,1		reformato	600	73,2	103,6	3	35,1
isomerato	170		82,5		75,8		isomerato	170		82,7		78,8
C4			97,0	44	350,0		C4			97,0	44	350,0
alquilato	110		96,3		42,8		alquilato	110		96,3		43,3
real laboratorio	22:00	37,7	97,4	10,9	53,1		real laboratorio	22:00	38,2	97,6	10,3	50,7
suma	1.650	33,8	97,6	11,9	49,2		suma	1.650	33,8	97,9	11,9	49,5

El ensayo fue realizado 24 veces en esta corriente por ser la de mayor importancia y la más difícil de preparar. A continuación se presentan los gráficos de las cuatro especificaciones estudiadas mostrando la diferencia que existe entre el valor real medido por laboratorio y el valor calculado de dichas especificaciones:

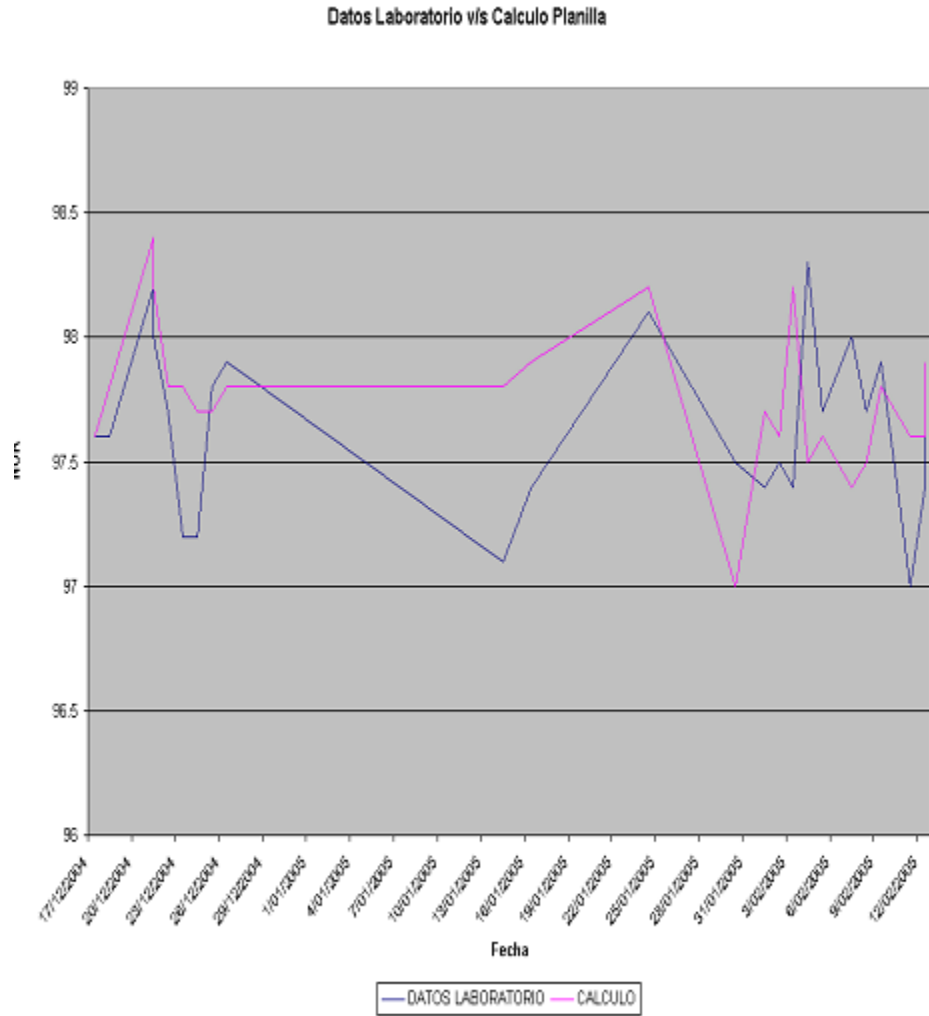


Gráfico 2-1: Cálculo del NOR respecto al valor de laboratorio.

El gráfico muestra que el cálculo del NOR varía en un pequeño porcentaje respecto al cambio en la especificación medida de la gasolina 97 RM. También queda demostrado que el cálculo de la planilla sigue al análisis de laboratorio en sus variaciones tanto ascendentes como descendentes con pequeños deltas sin alejarse del valor real en mas de 0,8 puntos de NOR y en un promedio de 0,12 puntos.

El error calculado es de 0,34 % y el error máximo es de 0,8 %.

Datos Laboratorio v/s Calculo Planilla

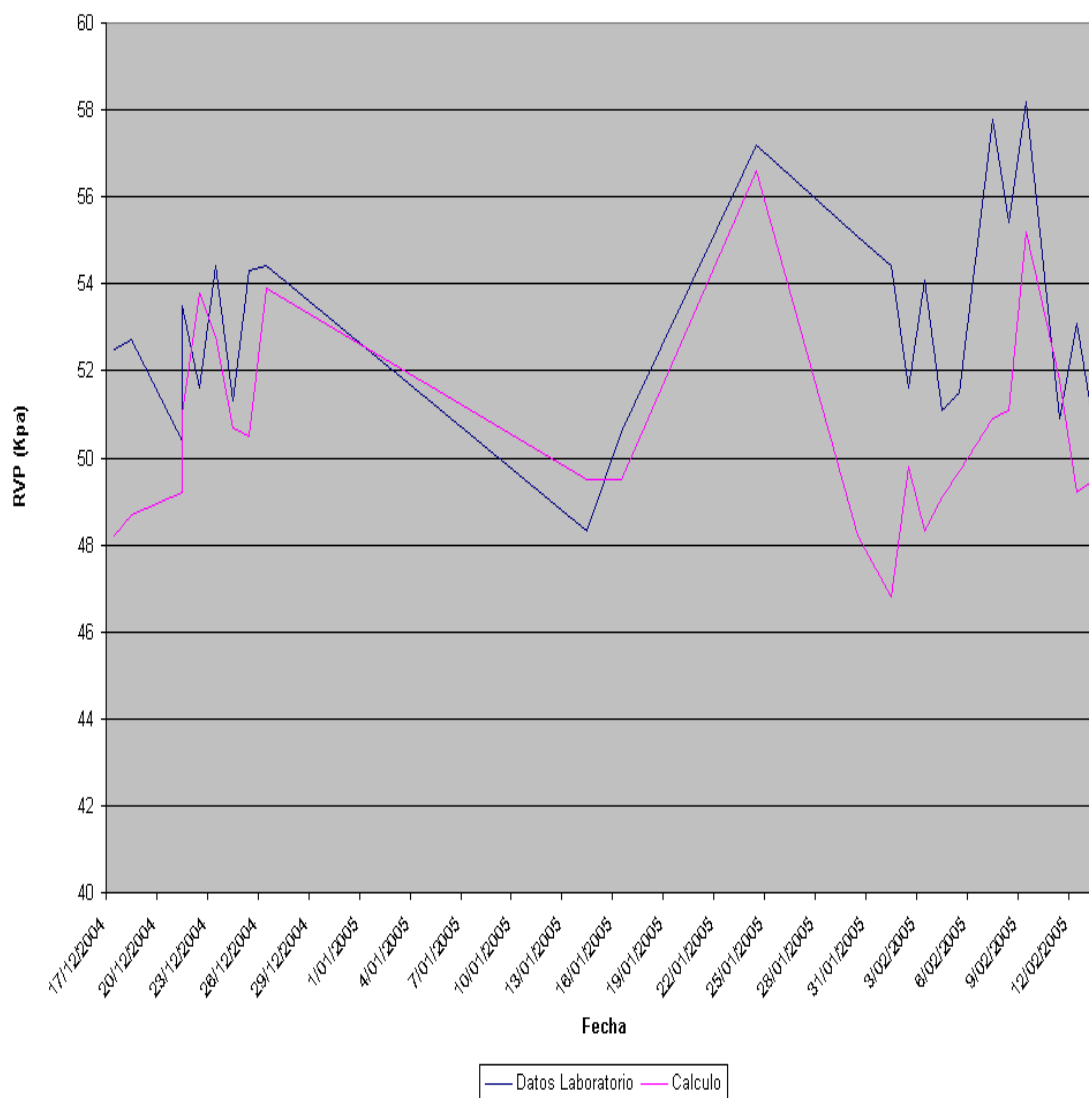


Gráfico 2-2: Cálculo del RVP respecto al valor de laboratorio.

El gráfico muestra que el cálculo del RVP muestra pequeñas variaciones respecto al cambio en la especificación medida de la gasolina 97 RM, estos son mayores que en al cálculo del NOR debido a la normal dificultad que existe en simular el RVP. También queda demostrado que el cálculo de la planilla sigue al análisis de laboratorio en la mayoría de las veces siguiendo las variaciones tanto ascendentes como descendentes con un delta máximo de 7,6 Kpa y con un promedio de 2,5 Kpa.

El error calculado es de 5,4 % y el error máximo es de 13,9%.

Datos Laboratorio v/s Calculo Planilla

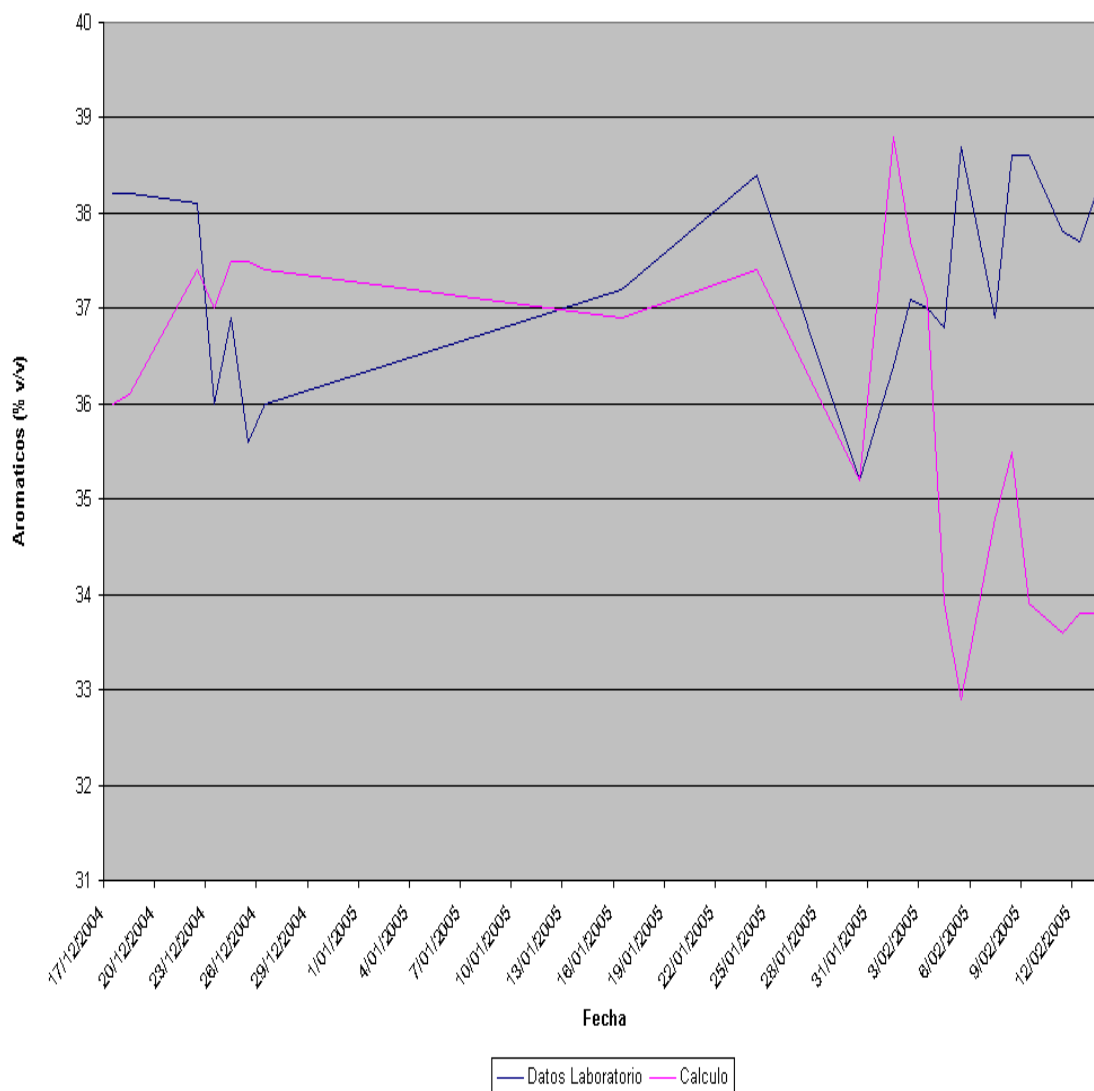


Gráfico 2-3: Cálculo del porcentaje de aromáticos respecto al valor de laboratorio.

El gráfico muestra que el cálculo del porcentaje de aromáticos muestra variaciones respecto al cambio en la especificación medida de la gasolina 97 RM, estos son mayores que en al cálculo del NOR y el RVP, sin embargo las diferencias tienden a ser pequeñas dentro de un rango de 5 % v/v. También se observa que el cálculo de la planilla sigue la mayoría de las veces al análisis de laboratorio con diferencias de un 1,4 % v/v promedio con un máximo de 5,8 % v/v

El error calculado es de 5,7 % y el error máximo es de 14,9 %.

Datos Laboratorio v/s Calculo Planilla

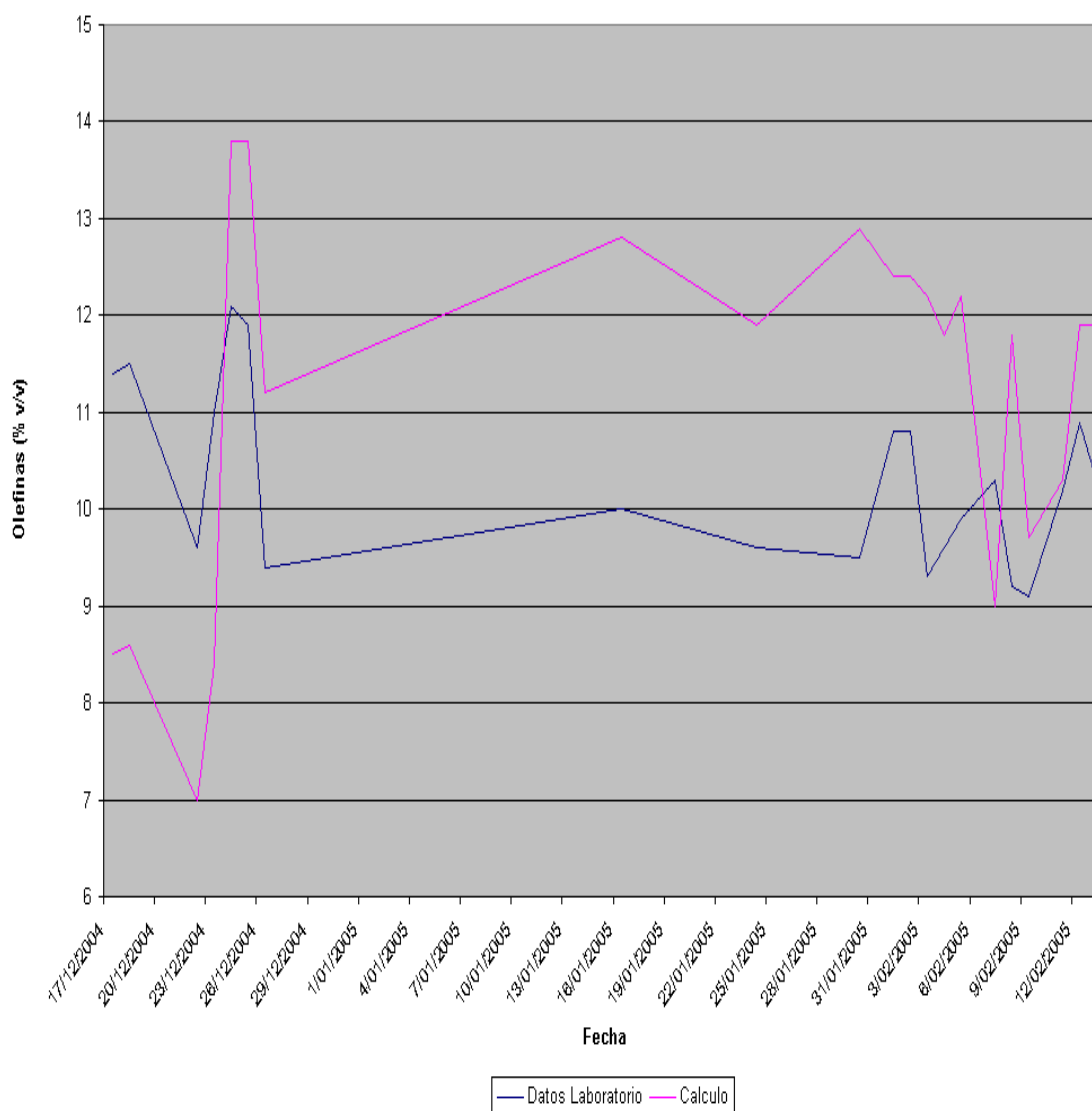


Gráfico 2-4: Cálculo del porcentaje de olefinas respecto al valor de laboratorio.

El gráfico muestra que el cálculo del porcentaje de olefinas varía en un pequeño porcentaje respecto al cambio en la especificación medida de la gasolina 97 RM. Se observa también que el cálculo de la planilla sigue al análisis de laboratorio en sus variaciones tanto ascendentes como descendentes con un delta promedio de 0,86 % v/v y un máximo de 2,9 % v/v.

El error calculado es de 19,9 % y el error máximo es de 35,8 %.

A continuación se muestran las tablas de datos de las curvas recién vistas con los valores tomados día a día y los cálculos de error y deferencia.

Tabla 2-4: Datos del NOR

FECHA	DATO	CALCULO	DIFERENCIA	% ERROR	
17/12/2004	97.6	97.6	0	0.00	
18/12/2004	97.6	97.8	-0.2	0.20	
21/12/2004	98.2	98.4	-0.2	0.20	
21/12/2004	98	98.2	-0.2	0.20	
22/12/2004	97.7	97.8	-0.1	0.10	
23/12/2004	97.2	97.8	-0.6	0.62	
24/12/2004	97.2	97.7	-0.5	0.51	
25/12/2004	97.8	97.7	0.1	0.10	
26/12/2004	97.9	97.8	0.1	0.10	
14/01/2005	97.1	97.8	-0.7	0.72	
16/01/2005	97.4	97.9	-0.5	0.51	
24/01/2005	98.1	98.2	-0.1	0.10	
30/01/2005	97.5	97	0.5	0.51	
1/02/2005	97.4	97.7	-0.3	0.31	
2/02/2005	97.5	97.6	-0.1	0.10	
3/02/2005	97.4	98.2	-0.8	0.82	
4/02/2005	98.3	97.5	0.8	0.81	
5/02/2005	97.7	97.6	0.1	0.10	
7/02/2005	98	97.4	0.6	0.61	
8/02/2005	97.7	97.5	0.2	0.20	
9/02/2005	97.9	97.8	0.1	0.10	
11/02/2005	97	97.6	-0.6	0.62	
12/02/2005	97.4	97.6	-0.2	0.21	
12/02/2005	97.6	97.9	-0.3	0.31	
		promedio	-0.12	%error	0.34
		max	0.8	max error	0.82

Tabla 2-5: Datos del RVP

FECHA	DATO	CALCULO	DIFERENCIA	% ERROR	
17/12/2004	52.5	48.2	4.3	8.19	
18/12/2004	52.7	48.7	4	7.59	
21/12/2004	50.4	49.2	1.2	2.38	
21/12/2004	53.5	51	2.5	4.67	
22/12/2004	51.6	53.8	-2.2	4.26	
23/12/2004	54.4	52.8	1.6	2.94	
24/12/2004	51.3	50.7	0.6	1.17	
25/12/2004	54.3	50.5	3.8	7.00	
26/12/2004	54.4	53.9	0.5	0.92	
14/01/2005	48.3	49.5	-1.2	2.48	
16/01/2005	50.6	49.5	1.1	2.17	
24/01/2005	57.2	56.6	0.6	1.05	
30/01/2005	55.1	48.2	6.9	12.52	
1/02/2005	54.4	46.8	7.6	13.97	
2/02/2005	51.6	49.8	1.8	3.49	
3/02/2005	54.1	48.3	5.8	10.72	
4/02/2005	51.1	49.1	2	3.91	
5/02/2005	51.5	49.7	1.8	3.50	
7/02/2005	57.8	50.9	6.9	11.94	
8/02/2005	55.4	51.1	4.3	7.76	
9/02/2005	58.2	55.2	3	5.15	
11/02/2005	50.9	51.8	-0.9	1.77	
12/02/2005	53.1	49.2	3.9	7.34	
13/02/2005	50.7	49.5	1.2	2.37	
		promedio	2.5	% error	5.39
		max	7.6	maximo	0.14

Tabla 2-6: Datos de aromáticos

FECHA	DATO	CALCULO	DIFERENCIA	% ERROR	FECHA	DATO	CALCULO	DIFERENCIA	% ERROR		
17/12/2004	38.2	36	2.2	5.76	17/12/2004	11.4	8.5	2.9	25.44		
18/12/2004	38.2	36.1	2.1	5.50	18/12/2004	11.5	8.6	2.9	25.22		
22/12/2004	38.1	37.4	0.7	1.84	22/12/2004	9.6	7	2.6	27.08		
23/12/2004	36	37	-1	2.78	23/12/2004	11	8.4	2.6	23.64		
24/12/2004	36.9	37.5	-0.6	1.63	24/12/2004	12.1	13.8	-1.7	14.05		
25/12/2004	35.6	37.5	-1.9	5.34	25/12/2004	11.9	13.8	-1.9	15.97		
26/12/2004	36	37.4	-1.4	3.89	26/12/2004	9.4	11.2	-1.8	19.15		
16/01/2005	37.2	36.9	0.3	0.81	16/01/2005	10	12.8	-2.8	28.00		
24/01/2005	38.4	37.4	1	2.60	24/01/2005	9.6	11.9	-2.3	23.96		
30/01/2005	35.2	35.2	0	0.00	30/01/2005	9.5	12.9	-3.4	35.79		
1/02/2005	36.4	38.8	-2.4	6.59	1/02/2005	10.8	12.4	-1.6	14.81		
2/02/2005	37.1	37.7	-0.6	1.62	2/02/2005	10.8	12.4	-1.6	14.81		
3/02/2005	37	37.1	-0.1	0.27	3/02/2005	9.3	12.2	-2.9	31.18		
4/02/2005	36.8	33.9	2.9	7.88	4/02/2005	9.6	11.8	-2.2	22.92		
5/02/2005	38.7	32.9	5.8	14.99	5/02/2005	9.9	12.2	-2.3	23.23		
7/02/2005	36.9	34.8	2.1	5.69	7/02/2005	10.3	9	1.3	12.62		
8/02/2005	38.6	35.5	3.1	8.03	8/02/2005	9.2	11.8	-2.6	28.26		
9/02/2005	38.6	33.9	4.7	12.18	9/02/2005	9.1	9.7	-0.6	6.59		
11/02/2005	37.8	33.6	4.2	11.11	11/02/2005	10.2	10.3	-0.1	0.98		
12/02/2005	37.7	33.8	3.9	10.34	12/02/2005	10.9	11.9	-1	9.17		
13/02/2005	38.2	33.8	4.4	11.52	13/02/2005	10.3	11.9	-1.6	15.53		
		promedio	1.4	% error	5.70%			promedio	0.86	% error	19.90.00%
		max	5.8	maximo	14.9			max	2.9	maximo	35.8

Tabla 2-7: Datos de olefinas

El estudio de la efectividad de las planillas de cálculo arrojó excelentes resultados teniendo como errores valores muy bajos con relación a los márgenes que se manejan actualmente.

El cálculo del NOR arroja un valor muy pequeño de diferencia como lo son 0,12 puntos en promedio.

Esta especificación es la más importante, ya que de esta depende el valor comercial de la gasolina, vender gasolina con márgenes superiores a 97,3 de NOR es perjudicial para la empresa por que se regala calidad, por lo tanto, que las planillas de cálculo sean exactas en el cálculo del NOR es excelente para las pretensiones económicas de esta.

Por otro lado el cálculo del RVP es bastante cercano al valor real con un promedio de 2,5 Kpa.

Esta especificación es la más difícil de conseguir, ya que depende estrictamente del porcentaje de butano que contengan las corrientes asociadas a la mezcla, estas corrientes provienen generalmente de torres estabilizadoras que presentan, por lo general problemas de ensuciamiento por los productos que tratan. Por eso es que este valor cambia repentina y oscilatoriamente entre las horas de muestreo por lo que un valor de 2,5 Kpa de diferencia promedio es aceptable y bueno para las pretensiones de diseño del control.

El porcentaje de aromáticos presenta también valores bajos de error, con un promedio de diferencias de 1,4 % v/v.

El porcentaje de aromáticos es una especificación de menor importancia que las anteriores por que existe una corriente que aporta con casi el 80% de este valor a las matrices de gasolina por lo que hace fácil corregir un valor malo de esta especificación variando esta corriente en proporción al error de la especificación.

El porcentaje de olefinas mostró también excelentes resultados siendo la diferencia promedio de 0,86 % v/v.

El porcentaje de olefinas es el valor de menor importancia de los antes vistos ya que por lo general da por si solo sin tener que hacer grandes ajustes para lograr el valor requerido.

En resumen el análisis y posterior estudio de las planillas de cálculo que se emplean actualmente para el blending de gasolinas fue exitoso mostrando resultados muy buenos y cercanos a la realidad, por lo tanto de aquí en adelante el estudio será centrado en introducir esta planilla de cálculo o sus fórmulas al sistema de control distribuido de ENAP Refinerías Aconcagua, TDC-3000 para automatizar el control de especificaciones del blending de gasolinas como dicta el objetivo del presente trabajo.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL MODELO

3. DISEÑO DEL MODELO

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES A CONTROLAR

Después de estudiar las planillas de cálculo, el objetivo es crear puntos en el sistema que lean los flujos de mezcla y calculen el valor de la especificación. Para esto, el estudio se centrará solamente en el NOR de la gasolina 97 RM buscando como implementar el cálculo de este en tiempo real.

Para el cálculo del NOR es necesario leer los flujos de HCN, LCN, isomerato, reformato, DIPE, alquilato y butano que van a la matriz de gasolina 97 RM, estos están implementados ya en el sistema como medidores de flujo volumétrico donde se ejerce el actual control de flujo. Los instrumentos que miden estos flujos y sus unidades de medida serán expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Instrumentos de medición de los flujos y sus unidades de medida.

PRODUCTO	INSTRUMENTO	UNIDAD MEDIDA
HCN	FC-12425	m ³ /dia
LCN	FC-12426	m ³ /dia
isomerato	FC-12428	m ³ /dia
reformato	FC-12422	m ³ /dia
DIPE	FC-3813	m ³ /dia
alquilato	FI-12442	m ³ /dia
Butano	FC-12429	m ³ /dia

El término “FC” se refiere a controladores de flujo, mientras que el término “FI” se refiere a indicador de flujo, esto quiere decir que el flujo de alquilato a gasolina 97 RM no tiene controlador de flujo, sino sólo indicación, el control de esta corriente se hace en forma manual desde la válvula de globo destinada para tal efecto.

Para poder juntar las indicaciones de flujo en un punto del sistema que los lea a la vez, es necesario que se encuentren en la misma red local UCN para poder hacer el control en un HPM que son los que albergan los controladores básicos, de caso contrario se deberá hacer en el AM que puede leer puntos desde cualquier nodo del sistema.

La red UNC del que están tomados todos los FC y el FI es el UNC 7 a excepción del FC-3813 que mide el flujo de DIPE, este está tomado de la UCN 4, por lo que el punto no se puede leer directamente en un HPM.

Después de dilucidar esto se crearon dos modelos de controladores para el NOR de la gasolina 97 RM, a continuación se muestra el diseño de cada controlador creado paso a paso:

3.2. PRIMER MODELO DE CONTROLADOR

Al estar el FC-3813 en una red UNC diferente al resto no se podrá ejercer control sobre un HPM para juntar las señales de los 7 medidores de flujo, por lo tanto para el primer modelo de controlador se ocupará el AM que puede leer y escribir sobre cualquier punto del sistema no importando en que red UNC se encuentre.

El AM permite crear puntos del tipo controlador, calculador, adquisición de datos, multi-calculador y otros más específicos, además permite 6 señales de entrada, 8 señales de salida, 255 bloques de programas asociados, 10 páginas de datos y dos switch. Los calculadores permiten operaciones de suma, logaritmos en base 10, división, coseno, raíz cuadrada, logaritmo natural, multiplicación, seno, cuadrados, arco tangente, sustracción, exponente natural y tangente. Además permite ingresar 68 caracteres en el cálculo y 10 factores directos al cálculo desde la pantalla normal de operaciones.

El problema que presenta el AM es la lentitud de los controladores debido a que estos están asociados a programas por lo que la señal de salida de los controladores de un AM son mucho mas lentos que los controladores creados en un HPM. De todas maneras se creará un punto en el AM para hacer una prueba con un controlador básico y sin intervención de programas, esto puede hacer que los controladores en los AM se muevan igual que en HPM.

El HPM permite crear puntos de tipo controlador principalmente además se pueden crear calculadores, switch, sumadores, adquisición de datos y otros menos específicos que en el AM, en un HPM es posible crear hasta 800 puntos de control.

Para probar la velocidad de respuesta del AM se crearán dos controladores que leerán desde un mismo punto, esto es, dos controladores con los mismos input, uno creado en el AM y otro creado en un HPM que esté en la UCN 7. El punto creado en el AM tendrá como nombre o tag "GASOLINA_97RM" y sumará los flujos medidos por los 6 FC y el FI, tendrá una ganancia (K) de 0,15 y un tiempo uno (T1) de 0,2, estos valores no fueron calculados, sino copiados de otro controlador que lee de un medidor de flujo y actúa sobre una válvula de control. El punto a crear en el HPM tendrá como nombre o tag "GASOLINA97RM" y sumará los flujos medidos por los 6 FC y el FI, y al

igual que el punto creado anteriormente, la ganancia (K) será de 0,15 y el tiempo uno (T1) de 0,2.

Uno de los problemas que se suscita es que tanto en el AM como en el HPM solo pueden ser 6 los input para cada controlador, por lo tanto es necesario hacer tres puntos, dos que sumen las 7 corrientes y otro que sume estos dos últimos para tener la indicación del cálculo total. La otra alternativa es eliminar una de las mediciones. Esta última es mas factible y fácil que la primera ya que el butano no se mezcla nunca con las demás corrientes por la especificación del RVP que como se mencionó antes es una de las especificaciones mas complicadas de manejar además como se muestra en las planillas de cálculo nunca se mezcló en la matriz de gasolina 97 RM, por lo tanto la solución al problema será dejar solo 6 flujos de mezcla a gasolina 97 RM y de aquí en adelante todos los cálculos y controladores para la gasolina 97 RM serán sin butano.

El otro problema que se suscita es que para crear el punto en el HPM es necesario tener la indicación del FC-3813 (DIPE) en la UCN 7. Para solucionar este problema se estudio el circuito de DIPE desde la salida de la planta, aquí se muestra el circuito estudiado:

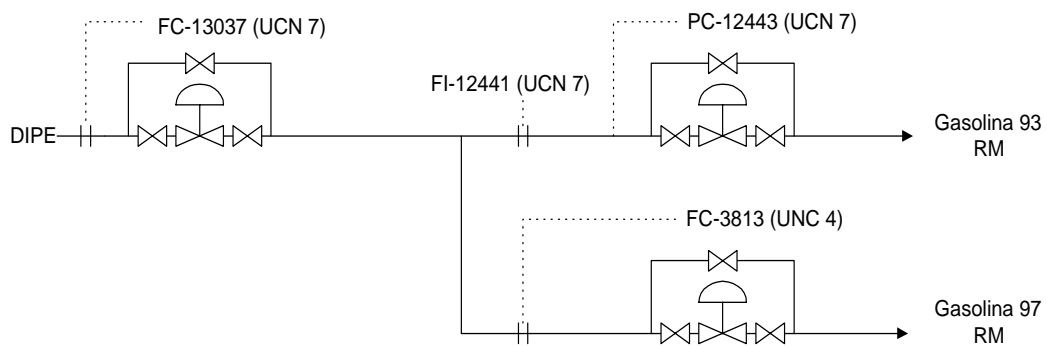


Figura 3-1: Circuito de DIPE.

El FC-13037 se encuentra en un HPM albergado en la UCN 7 al igual que el FI-12441 que indican la producción total de DIPE y el DIPE a la 93 RM respectivamente. Este último se va a la matriz 93 RM mediante el PC-12443 que controla la presión de la línea de DIPE aguas abajo del FC-13037. Por lo tanto es posible hacer un punto en un HPM de la UCN 7 que calcule la diferencia entre el FC-13037 y el FI-12441, esta diferencia será el DIPE a gasolina 97 RM.

El nuevo punto será creado en un HPM y será designado como FI-3813A, este hará el siguiente cálculo: $FC-12037 - FI-12441$ y tendrá un rango máximo de $337 \text{ m}^3/\text{día}$ al igual que su homónimo FI-3813.

Ahora es posible crear un calculador que sume las 6 corrientes de mezcla en un HPM para hacer la prueba que comparará este con uno creado en el AM.

La creación y configuración y creación de los puntos es realizado en la pantalla de Ingeniería que posee el programa nativo con el que se maneja el sistema TDC-3000, esta a su vez tiene diferentes despliegues que permiten crear y copiar puntos dentro del sistema

El punto creado en el AM llamado GASOLINA_97RM sumara las indicaciones (input) de la siguiente forma:

FC-12422 + FC-12425 + FC-12426 + FC-12428 + FC-3813 + FI-12442

El punto creado en el HPM de la UCN 6 que tendrá como nombre GASOLINA97RM sumara también las indicaciones (input) de la siguiente forma:

FC-12422 + FC-12425 + FC-12426 + FC-12428 + FI-3813A + FI-12442

La gran diferencia que tienen estos dos puntos es que el creado en el AM es calculador pero además tiene un algoritmo como controlador, el punto creado en el HPM es solo calculador, por lo que se debe crear un controlador que albergue el algoritmo de control y tenga como input el punto creado anteriormente (GASOLINA97RM). Se crea también el punto ACC-12437 que leerá la indicación del punto creado GASOLINA97RM y tendrá el algoritmo de control con los mismos parámetros de ganancia (K) y tiempo uno (T1) que el punto creado en el AM.

La prueba se realiza poniendo en control automático los dos puntos sumadores, la OP (output) o salida de ambos controladores reacciona con tiempos muy diferentes, notando una gran lentitud en la reacción del punto creado en el AM en comparación con el punto creado en el HPM. En resumen la prueba realizada fue elocuente, el AM es muy lento con controladores básicos a diferencia del HPM. Por lo tanto se decide que el proyecto se realizará en el HPM pudiendo ahora leer todos los flujos involucrados en el blending de gasolina 97 RM.

El modelo del controlador que será creado se presenta a continuación:

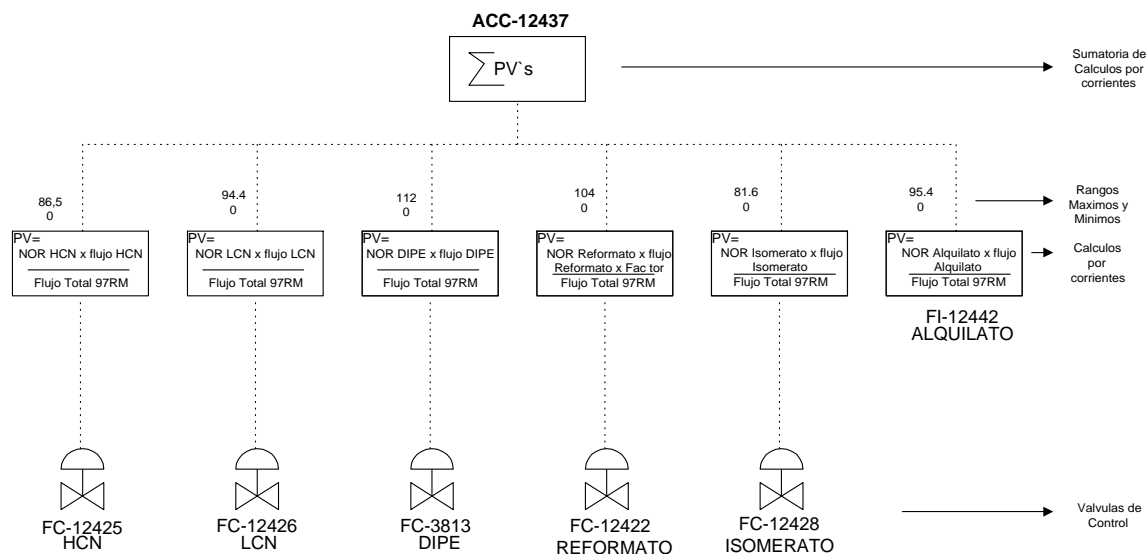


Figura 3-2: Primer modelo del controlador.

En la figura 3-2 se presenta el primer modelo de controlador del NOR de la gasolina 97 RM. Para este modelo se dividió el cálculo del NOR total de la matriz 97 RM en 6 cálculos, que son los cálculos del NOR que aporta cada corriente, o sea, el flujo de la corriente en $\text{m}^3/\text{día}$ por la especificación de NOR de dicha corriente dividido por el flujo total de gasolina 97 RM. Estos calculadores arrojarán un valor de NOR que leerá y sumará el punto ACC-12437, que fue creado anteriormente en la prueba del AM y ahora fue modificado para ser sumador de los NOR que arrojarán cada calculador.

Por lo tanto el NOR que calcule cada punto será sumado y manipulado por el ACC-12437 que a su vez, mediante su algoritmo de control, emitirá una señal de salida OP que será recepcionada por cada calculador como set-point (SP), el algoritmo de control de estos puntos también generará una señal de salida OP que será direccionada al set-point (SP) de cada controlador de flujo del blending de gasolinas. Así la OP del sumador total se dividirá en seis para escribir sobre los set point de cada calculador, para que esto funcione debe existir una relación entre estos calculadores para que a un mismo set-point (SP) del ACC-12437 cada calculador controle lo que deba controlar para sumar el NOR requerido en el set-point del sumador. Por ejemplo, si la OP del sumador ACC-12437 es 50%, el set-point de cada calculador será la mitad del rango máximo de cada uno, estos deben estar en una relación que permita que la suma total de estos 6 sea el set-point exacto del sumador ACC-12437. Lo anterior es muy difícil de lograr, ya que existen pocas relaciones que cumplan este requerimiento, y si bien es cierto controlarían el NOR, no permitirían flexibilidad al sistema por las relaciones fijas que deben calcularse.

En el esquema también se muestran los valores de rango máximos y mínimos de cada calculador, estos se refieren a las máximas especificaciones de NOR que han logrado en el último tiempo cada producto. Con estos valores se calcularon relaciones que lograrán la especificación del NOR, no lográndolo en más de dos oportunidades.

Por lo anteriormente visto, el primer modelo de controlador será modificado de acuerdo a la limitación encontrada en este, el nuevo modelo se presenta de la siguiente manera.

3.3. SEGUNDO MODELO DEL CONTROLADOR

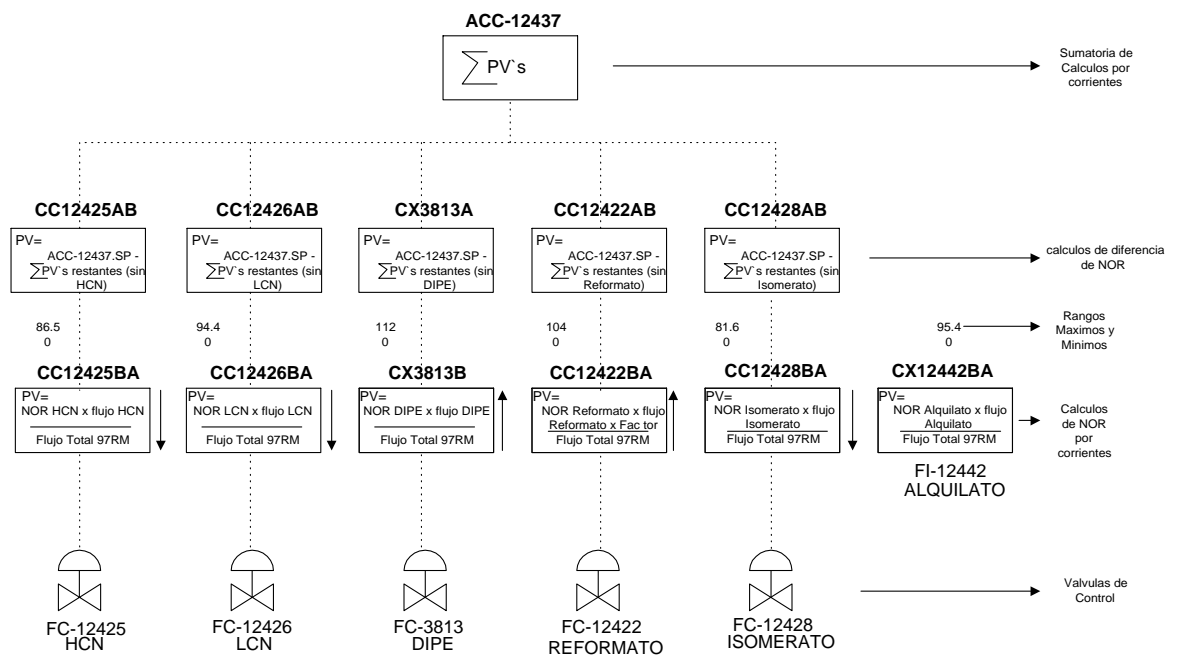


Figura 3-3: Segundo modelo del controlador.

Este modelo presenta una corrida más de controladores que están antes de los calculadores independientes del NOR, esta línea de controladores calcula la diferencia de NOR que existe entre el set-point ingresado al ACC-12437 y la suma de los NOR calculados por la segunda corrida de controladores sin la corriente a la cual comanda, o sea, cuanto NOR necesita que aporte esa corriente para que sea alcanzado el set-point del ACC-12437. Este último seguirá sumando los cálculos independientes de NOR de cada corriente para determinar cual es el NOR calculado de la gasolina 97RM que se esta preparando.

Las flechas verticales indican la acción de cada instrumento, por ejemplo, el HCN no aumenta el NOR de la mezcla pues su NOR es en promedio 86,5 octanos, por lo tanto la OP del controlador tiende a cerrar cuando el set-point del ACC-12437 tienda a subir, y al contrario en el caso del reformato y el DIPE, ya que estos dos aumentan el NOR de la gasolina 97 octanos por el alto número octano que presentan.

A diferencia del controlador antes presentado, este independiza los flujos de mezcla uno del otro, por el paso de la señal del ACC-12437 por los calculadores de diferencia, sin embargo se suscita el mismo problema del modelo anterior, ya que es necesaria una relación entre los calculadores de diferencia, ya que a una misma OP del ACC-12437 el set-point de estos será en directa relación.

Para encontrar una relación que sirva para el cálculo del NOR total, se buscarán los máximos flujos alcanzados históricamente para cada corriente de mezcla siempre y cuando la mezcla en dichas fechas este en todas sus especificaciones, esto será verificado por los datos históricos de laboratorio.

Tabla 3-2: Máximos flujos alcanzados históricamente.

Partida del Blending 7/Julio/2005							
Flujos máximos gasolina97 RM (m ³ /d)	fechas	HCN (m ³ /d)	LCN (m ³ /d)	DIPE (m ³ /d)	Reformato (m ³ /d)	Isomerato (m ³ /d)	Alquilato (m ³ /d)
2125	27/12/04 al 28/12/04	400	460	200	780	195	90
2750	29/11/04 al 30/11/04	600	600	200	850	500	0
2280	23/11/04 al 26/11/04	460	430	180	810	290	110
2160	09/11/04 al 12/11/04	440	430	210	760	230	90
2490	10/09/04 al 15/09/04	530	530	200	900	330	0

Aquí se muestran los flujos máximos alcanzados en la gasolina 97 RM desde que partió el blending de gasolinas. Además se indica las fechas entre las cuales el valor de flujo total fue máximo y se muestran los valores de flujos de cada corriente en este mismo orden.

Para corroborar que los flujos máximos sirvan a la relación que se busca, es que se muestran a continuación los análisis de laboratorio en las fechas estudiadas:

Tabla 3-3-: Análisis de laboratorio en las fechas analizadas.

Gasolina 97 RM análisis de laboratorio					
	10/09/2004	15/09/2004	10/11/2004	12/11/2004	23/11/2004
Olefinas (%w/v)	8,4	4,4	11,5	12,7	10,2
Aromáticos(%w/v)	42,7	38,8	35	36,6	39
RVP (Kpa)	51	54,1	55,4	57	54,8
NOR	97,9	97,7	97,4	97,6	97,6
	26/11/2004	29/11/2004	30/11/2004	27/12/2004	28/12/2004
Olefinas (%w/v)	10	8,9	13,4	12,6	10,7
Aromáticos(%w/v)	38,3	31,8	28	35	35,3
RVP (Kpa)	53,6	60,4	72,9	62,6	55,5
NOR	97,7	96,2	97,3	97,1	97,2

En esta tabla están los análisis de laboratorio en las fechas en que el flujo de gasolina 97 RM fue máximo en los últimos cuatro meses.

En color rojo se muestran los análisis que no cumplen con la especificación requerida, el resto está dentro del valor máximo o mínimo requerido, algunos de estos más lejos que otros de la norma, lo que también se considera malo por la pérdida de calidad en las gasolinas que se comercializan.

En vista de lo anterior y visualizado los datos, se llega a la conclusión que el flujo máximo que mejor satisface al estudio, es el que se presentó entre el 09/11/2004 y el 12/11/2004 (celdas color amarillo), llegando a 2.160 m³/día con un pequeño error que de todas formas es menor a las demás fechas analizadas.

Con estos valores de flujo se establecerá la relación con la que actuarán los calculadores para obtener el valor de NOR requerido.

Esta relación se calculará de la misma forma que lo hacen los calculadores independientes de NOR, o sea, el flujo máximo alcanzado de la corriente en m³/día por la especificación de NOR de dicha corriente dividido por el flujo total de gasolina 97 RM. Los valores calculados serán los rangos máximos para cada calculador, de tal forma que al actuar en conjunto lo hagan en una relación que mantenga el flujo total de gasolina en un valor alto o cercano al máximo estudiado.

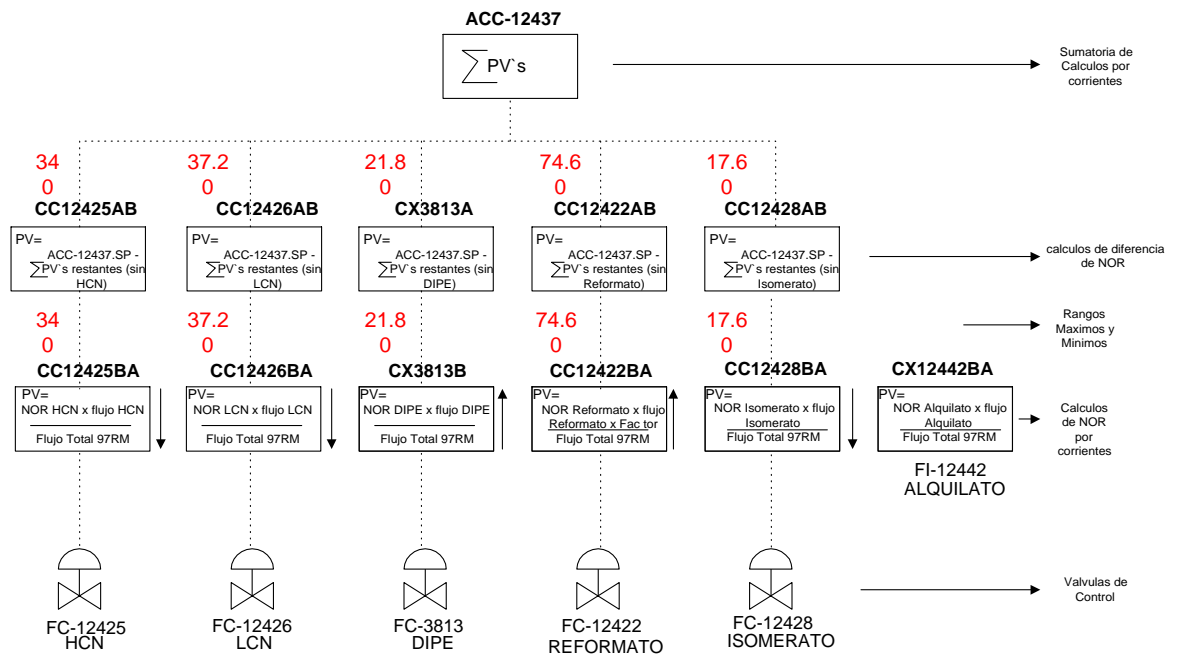


Figura 3-4: Segundo modelo de controlador y rangos máximos de cada instrumento.

Aquí se muestra nuevamente el segundo modelo de controlador que incluye los cálculos realizados para los rangos máximos de cada instrumento que son mostrados en color rojo.

Los cálculos de rango fueron aumentados al doble con respecto al cálculo realizado para permitir mayor holgura a los controladores, de esta forma cuando la OP del controlador general ACC-12437 esté el 50% de su valor, los valores calculados de rango máximo estarán en el valor que se calculó, en caso de no ser aumentados al doble, los valores calculados de rango máximo serán alcanzados solo cuando la OP del ACC-12437 esté en el 100% de su valor. Con esto se tratará de mantener los calculadores/controladores cercanos al 50% del control permitiéndole al control superar los valores calculados para así tener flujos mayores de gasolina 97 RM que el máximo histórico, con el cual fueron calculados dichos rangos.

3.4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO AL TDC-3000

El controlador diseñado se implementó al sistema TDC-3000 creando puntos calculadores y controladores dentro de un HPM de la UCN 7 de la red LCN de ENAP Refinerías Aconcagua.

La creación y configuración de los puntos se realiza en la pantalla de Ingeniería que posee el programa nativo con el que se maneja el sistema TDC-3000, esta a su vez tiene diferentes despliegues que permiten crear y copiar puntos dentro del sistema.

Los puntos creados en el sistema y su configuración se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 3-4: Segunda línea de calculadores.

Segunda Línea de Calculadores				
Nombre	Puntos asociados		Factores ingresados manualmente	
	P1	P2	C1	C2
CX12425BA	FC-12425	GASOLINA97RM	NOR del HCN	
CX12426BA	FC-12426	GASOLINA97RM	NOR del LCN	
CX12422BA	FC-12422	GASOLINA97RM	NOR del Reformato	Factor 1,02199
CX12428BA	FC-12428	GASOLINA97RM	NOR del Isomerato	
CX12442BA	FI-12442	GASOLINA97RM	NOR del Alquilate	
CX3813BA	FI-3813A	GASOLINA97RM	NOR del DIPE	

Aquí se muestra la segunda línea de calculadores creados, estos realizan el cálculo de NOR que aporta cada corriente a la mezcla de gasolina 97 RM. Estas luego serán sumadas para obtener el cálculo del NOR total de la matriz.

Además, estos calculadores entregarán la variable (PV) que leerán los controladores de la segunda línea, que comandarán finalmente las válvulas de control de flujo del blending 97 RM.

A continuación se muestran los controladores de la segunda línea creados en el sistema junto con sus variables de entrada (INPUT) y sus variables de salida (OUTPUT):

Tabla 3-5: Segunda línea de controladores.

Segunda Línea de Controladores		
Nombre	Puntos asociados	
	INPUT	OUPUT
CC12425BA	CX12425BA	FC-12425
CC12426BA	CX12426BA	FC-12426
CC12422BA	CX12422BA	FC-12422
CC12428BA	CX12428BA	FC-12428

En esta tabla se observan los controladores de la segunda línea, estos leen la variable que entregan los calculadores para manejar sus algoritmos de control.

El algoritmo de control generará una salida (OP) que leerá el set-point de los controladores de flujo de las líneas de HCN, LCN, reformato e isomerato mediante un control en cascada.

El flujo de DIPE no será una variable del controlador, por el problema de comunicación que existe con el controlador FC-3813 albergado en una UCN diferente a la que se creó el controlador/calculador. Esto no representa ningún inconveniente para el controlador, ya que el DIPE por sus excelentes propiedades siempre ha estado alineado totalmente a la matriz 97 RM. Por esta razón los controladores creados solo son cuatro, dejando afuera al alquilato y al DIPE, de esta forma el control del NOR de la matriz 97 RM se hará comandando los controladores de flujo del HCN, LCN, reformato e isomerato

Como se vio en el diseño del controlador, estos controladores de segunda línea son comandados por otros controladores que son los que están en la primera línea. La primera línea de calculadores se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-6: Primera línea de calculadores.

Primera Línea de Calculadores						
Nombre	Puntos asociados					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
CX12425AB	CX12426BA	CX12422BA	CX12428BA	CX12442BA	CX3813BA	ACC-12437
CX12426AB	CX12425BA	CX12422BA	CX12428BA	CX12442BA	CX3813BA	ACC-12437
CX12422AB	CX12425BA	CX12426BA	CX12428BA	CX12442BA	CX3813BA	ACC-12437
CX12428AB	CX12425BA	CX12426BA	CX12422BA	CX12442BA	CX3813BA	ACC-12437

En la tabla 3-6 se observan los controladores de la primera línea, estos calculan la diferencia de NOR que necesita cada corriente para lograr el NOR total pedido mediante el set-point del calculador total de NOR. Esto es logrado restándole al set-point del calculador general de la gasolina 97 RM, el NOR sumado por los cinco calculadores restantes, de tal forma que estos calculadores de primera línea calculen el NOR que se necesita de cada corriente para lograr el NOR general.

La variable que entregan estos calculadores (PV) es leída por los controladores de primera línea los que a continuación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3-7: Primera línea de controladores.

Primera Línea de Controladores		
Nombre	Puntos asociados	
	INPUT	OUPUT
CC12425AB	CX12425AB	CC12425BA
CC12426AB	CX12426AB	CC12426BA
CC12422AB	CX12422AB	CC12422BA
CC12428AB	CX12428AB	CC12428BA

Los controladores de primera línea reciben la indicación (PV) de los calculadores de primera línea como INPUT para procesar el algoritmo de control que entregará una señal de salida OUTPUT que será direccionada al set-point de los controladores de segunda línea para así cerrar el lazo de control.

De esta forma los controladores de la primera línea comandan mediante su OP a los controladores de segunda línea, estos a su vez comandan a los controladores de flujo de HCN, LCN, isomerato y reformato mediante su OP.

Los controladores de primera línea son comandados por el calculador general de NOR de gasolina 97 RM, este se muestra a continuación:

Tabla 3-8: Calculador de NOR.

Calculador de NOR						
Nombre	Puntos asociados					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
ACX-12437	CX12425BA	CX12426BA	CX12422BA	CX12428BA	CX12442BA	CX3813BA

El ACX-12437 suma los cálculos realizados por la segunda línea de controladores, de esta forma, el calculador entrega el NOR calculado de la línea de gasolina 97 RM, sumando el NOR que aporta cada corriente a esta matriz.

Este calculador entrega su variable (PV) a un controlador, que es la punta de la pirámide del controlador del NOR de gasolina 97 RM, este controlador se muestra a continuación:

Tabla 3-9: Controlador del NOR.

Controlador de NOR					
Nombre	Puntos asociados				
	INPUT	OUPUT 1	OUPUT 2	OUPUT 3	OUPUT 4
ACC-12437	ACX-12437	CC12425AB	CC12426AB	CC12422AB	CC12428AB

El controlador general del NOR de la matriz de gasolina 97 RM lee el cálculo que hace el ACX-12437 como INPUT para procesar el algoritmo de control que generará la señal de salida OP que será direccionada a los controladores de primera línea para así terminar con el lazo de controladores que predecirán y controlarán el NOR de la matriz de gasolina 97 RM.

De esta forma fue creado el segundo modelo de controlador, este manejará los flujos de HCN, LCN, reformato e isomerato para mantener la especificación de NOR de la matriz de gasolina 97 RM según el valor calculado.

Los parámetros de los controladores no fueron calculados, sino copiados de controladores similares que leen de un indicador y actúan sobre válvulas de control de flujo, estos parámetros son 0,15 de ganancia (K) y 0,2 de tiempo uno (T1), al igual que el controlador que se creó en la prueba del AM. Con la ayuda de operadores de más experiencia en el control del TDC-3000 se variarían experimentalmente estos valores en caso de necesitarlo.

Para probar el controlador creado es necesario ponerlos a todos en control de cascada, para lo cual se empezará desde el controlador general ACC-12437, este será el primero en entrar en control siendo este de tipo automático, ya que controla su propio set-point. Los controladores de primera línea se ponen en control de cascada recibiendo de la OP del ACC-12437 como INPUT, mientras que los controladores de segunda línea también serán puestos en cascada recibiendo como INPUT la señal de salida de los controladores de primera línea. Así queda armado el lazo de control faltando solo poner

en cascada los controladores de flujo del HCN, LCN, isomerato y reformato recibiendo la OP de los controladores de segunda línea como INPUT.

La prueba fue realizada poniendo uno en uno los controladores de flujo en cascada recibiendo la OP de la segunda línea de controladores, se empezó poniendo el set-point al ACC-12437 en 93,4 de NOR, siendo este valor igual que el valor calculado PV para no generar un gran impacto en los flujos de mezcla. Primero se puso en cascada el Controlador de HCN FC-12425, notándose una variación bastante severa del flujo en este instrumento que llegando al valor del set-point pedido se mantuvo relativamente estable. El segundo controlador puesto en control de cascada fue el de LCN FC-12426, este entró al control al igual que el primero, pero se comenzó a notar una inestabilidad en el controlador de HCN mayor que cuando estaba solo. De todas formas se puso en cascada el controlador de isomerato FC-12428, este actuó de la misma forma que los anteriores, sin embargo el principal problema visualizado fue la inestabilidad del controlador general ACC-12437 que comenzó a oscilar fuertemente variando de la misma forma los set-points de los controladores de primera y segunda línea, esta oscilación generó variaciones fuertes en los flujos que estaban en cascada, no siendo los parámetros de estos el problema, ya que a la línea de controladores del HCN se le realizaron algunos cambios en los parámetros poniéndolo más lento no notando un cambio significativo en la oscilación del controlador.

La prueba se dio por finalizada sin poner en cascada el controlador de reformato, ya que este es el flujo principal de la corriente 97 RM y la oscilación mostrada en los otros tres controladores generaría un impacto muy grande en el blending 97 RM.

La conclusión a la que se llegó sobre la prueba realizada, fue que la primera línea de controladores era la responsable de la oscilación, ya que el tiempo de respuesta de los controladores de flujo con respecto a la OP del controlador ACC-12437 es demasiado grande, esto quiere decir que cuando la OP del ACC-12437 manda a subir o bajar el NOR, este tarda mucho tiempo en aumentar por tener que pasar por las dos líneas de controladores antes de comandar los flujos de mezcla, cuando esta orden llega a los controladores de flujo la OP del ACC-12437 está pidiendo otra variación, de tal forma que no alcanza a responder sobre los cambios directos que se producen en los set-point de los controladores de flujo.

Por lo tanto se decide eliminar la primera línea de controladores para hacer el camino más corto desde el ACC-12437 hasta los controladores de flujo.

3.5. TERCER MODELO DE CONTROLADOR

El nuevo modelo no contará con la primera línea de controladores, o sea los que calculan la diferencia de NOR requerida por cada corriente. Este controlador será entonces similar al primer modelo, con la diferencia de no tener en control el flujo de DIPE como fue planteado en el modelo del segundo controlador.

Como se planteó en el diseño del primer controlador, el hacerlo con solo una línea de controladores limitaría a los flujos solo a los valores obtenidos al buscar los rangos de dichos controladores, o sea, los que tienen relación con los flujos máximos de gasolina 97 RM en el periodo estudiado de 4 meses.

Para solucionar este problema, es que se pensó en independizar del control del NOR a lo menos a una de las corrientes.

La corriente mas indicada para este nuevo formato es el reformato, ya que esta es la corriente base de la matriz 97 RM, si se lograra mover independientemente del control del NOR, los demás flujos se moverían en la relación calculada dependiendo de la cantidad de reformato.

La corriente de reformato posee un NOR muy alto, del orden de los 103 octanos, como contraparte presenta un alto porcentaje de hidrocarburos aromáticos, del orden del 75%, por lo tanto, lo único que limita el ingreso de esta corriente a la matriz de gasolina 97 RM es la especificación de porcentaje de aromáticos de esta, que según lo indica la ley es del 38 % v/v máximo.

Para solucionar entonces el problema que presentó el primer controlador y aprovechar con esto de cumplir con el objetivo del presente trabajo que en uno de sus puntos indica el maximizar el flujo de la corriente de gasolina 97 RM, es que se creará un controlador que calcule el porcentaje de aromáticos de la matriz de gasolina 97 RM y comande de acuerdo a este cálculo el flujo de reformato a la mezcla. De esta manera el reformato siempre será el máximo permitido dentro de la matriz 97 RM con la limitancia del porcentaje de aromáticos de esta.

La corriente que aporta aromáticos a la matriz no es solamente el reformato, sino también el LCN y el HCN. Estas últimas aportan aproximadamente 0,5 y 37 % v/v respectivamente cada una. De esta forma el cálculo del porcentaje de aromáticos de la matriz 97 RM se hará tomando en cuenta los flujos y especificaciones del reformato, LCN y HCN. El calculador creado se presenta así:

Tabla 3-10: Calculador de aromáticos.

Calculador de Aromáticos							
Nombre	Puntos asociados				Factores ingresados manualmente		
	P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3
CX12422AD	FC-12425	FC-12426	FC-12422	GASOLINA97RM	Aromáticos LCN	Aromáticos HCN	Aromáticos Reformato

El calculador CX12422AD hará el cálculo lineal que permitirá determinar el porcentaje de hidrocarburos aromáticos de la matriz 97 RM sumando el producto entre los flujos y especificación de aromáticos de los flujos de LCN, HCN y reformato, dividiéndolo este valor por el flujo total de gasolina 97 RM calculado por el instrumento creado anteriormente GASOLINA97RM.

El cálculo realizado será leído por el controlador que finalmente controlara el flujo de reformato, el controlador creado se presenta así:

Tabla 3-11: Controlador de aromáticos.

Controlador de Aromáticos		
Nombre	Puntos asociados	
	INPUT	OUPUT
CC12422BA	CX12422AD	FC-12422

El CC12422BA leerá el cálculo realizado por el CX12422AD y mediante su algoritmo de control emitirá una señal de salida OP hasta el set-point del controlador de flujo de reformato FC-12422. Los parámetros ocupados para este controlador son los mismos ocupados anteriormente, ganancia (K) de 0,15 y un tiempo uno (T1) de 0,2 estos valores no fueron calculados, sino copiados de otro controlador que lee de un medidor de flujo y actúa sobre una válvula de control.

De esta forma se independizara el flujo de reformato del control de NOR. Las corrientes de LCN, HCN e isomerato seguirán controlando el NOR de la matriz en la relación establecida anteriormente, la diferencia es que ahora el control dependerá de la cantidad de reformato que el control de aromáticos permita. Como a su vez una variación de estos tres flujos también variara el cálculo del porcentaje de aromáticos que esta vez moverá al flujo de reformato controlando estas diferencias.

El nuevo modelo de controlador, que esta vez será de NOR y porcentaje de aromáticos, se presenta de la siguiente manera:

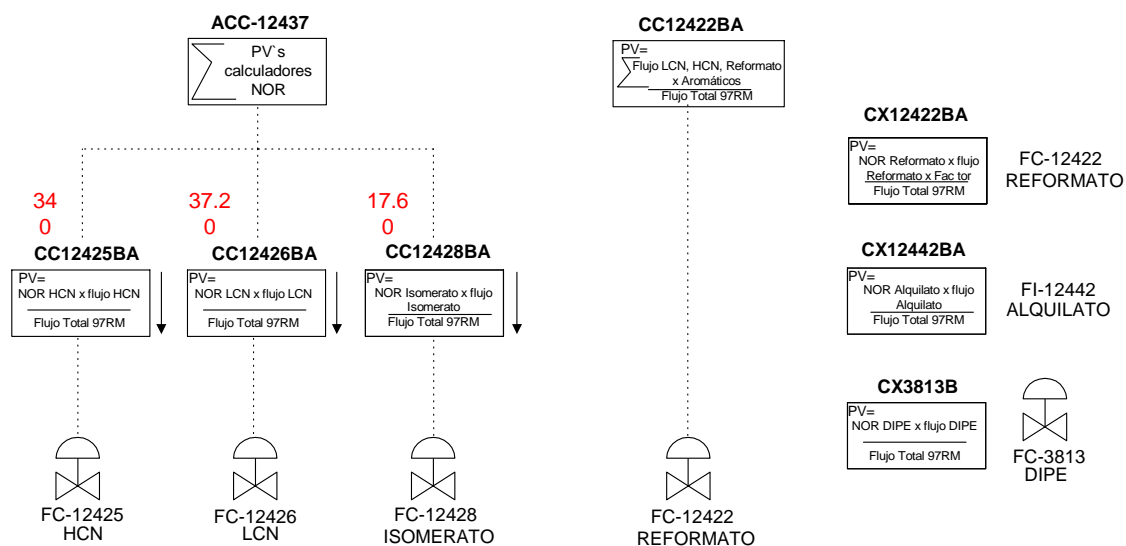


Figura 3-5: Tercer modelo de controlador.

El modelo presenta dos controladores generales, que son el de NOR, que al igual que en los modelos anteriores suma los valores calculados del NOR que aporta cada corriente y el de aromáticos, que calcula el porcentaje de aromáticos de la matriz 97 RM y los controla actuando sobre el FC-12422 de reformato a dicha matriz.

El nuevo controlador fue implementado en el sistema TDC-3000 modificando el modelo anterior, para tal efecto se redireccionó la OP del controlador general de NOR a solo los tres controladores, los de las corrientes de LCN, HCN e isomerato dejando afuera el CC12422BA de reformato. Este último controlador fue modificado según el cálculo mostrado para el control de aromáticos y su OP no fue redireccionada, ya que continúa actuando sobre el FC-12422 de reformato.

Para poner en servicio el nuevo controlador e iniciar la prueba de este, se pasara a control automático el CC12422BA controlando su propio set-point, que es ingresado en 37, al igual que el valor calculado en ese momento por el mismo, esto para que no se produzca un cambio significativo en el flujo de reformato cuando se ponga en control de cascada el FC-12422.

Al poner en cascada el FC-12422, se noto una excelente respuesta de este y un buen control de CC-12422BA. Ante las pequeñas variaciones observadas del valor calculado de aromáticos, se noto una rápida respuesta del lazo de control. Por esto es que se modificó el valor del set-point de CC12422BA a 38 y luego a 36, notándose una velocidad de respuesta muy rápida en el controlador de flujo FC-12422, esto hace que los calculadores oscilen muy rápido ante un aumento o disminución del flujo de reformato, esto no es beneficioso para el controlador de NOR, mirándolo del punto de

vista que pequeños up-set en los controladores de flujo del blending 97 RM harían modificar drásticamente el valor de flujo del reformato variando también los cálculos de NOR y aromáticos. Con el objeto de amortiguar la velocidad de reacción del CC12422BA y con la ayuda de operadores de mas experiencia en el control del TDC-3000, es que se comenzó a probar el controlador modificando los valores de banda proporcional (K) y tiempo derivativo (T1) observando la velocidad de cambios en la salida del controlador (OP) a cada cambio. Después de un largo periodo de prueba se observo que con K de 0,9 y T1 de 7,3 el controlador no era lo suficientemente rápido para provocar variaciones bruscas en los cálculos de NOR y aromáticos, pero sí satisface el control de aromáticos en un rango de $\pm 0,3$ % v/v del cálculo de aromáticos.

Se da por finalizada satisfactoriamente la prueba del lazo de control/calculador del porcentaje de aromáticos de la matriz 97 RM, para proceder a realizar la prueba con el controlador de NOR de esta misma matriz teniendo en control de cascada el CC-12422BA.

Al igual que la prueba del segundo modelo, se pasa a control automático el ACC-12437 controlando su propio set-point que fue cambiado a 98,4, que es el valor que aproximadamente hace en ese momento el calculador de NOR, esto con el fin de no provocar variaciones severas en los flujos. Además se pasan a control de cascada los controladores CC12425BA, CC12426BA y CC12428BA recibiendo la OP del ACC-12437 que modifica el set-point de estos. El primero de los controladores de flujo en ser pasado a control de cascada es el FC-12425 de HCN, este al igual que en la prueba anterior, varió fuertemente el valor de flujo y llegando al valor del set-point pedido se mantuvo relativamente estable.

La reacción del CC12425BA se nota demasiado rápida para el objetivo de controlar el NOR con tres controladores, para evitar la oscilación rápida del cálculo, se variaron también los parámetros de este controlador para disminuir la velocidad e respuesta de este sin que quede muy lento para permitir un buen control de este.

Los parámetros de K y T1 quedaron en 0,3 y 5,3 respectivamente, notándose ahora una respuesta más lenta y amortiguada que con los parámetros que tenía. El cálculo del NOR varia a cada movimiento del flujo de reformato, variando también la OP del controlador general de NOR ACC-12437, esta variación afecta al set-point del CC12425BA que amortigua fuertemente estas variaciones antes de llegar al set-point del FC-12425. A raíz de estas rápidas variaciones de OP del ACC-12437 y en parte, la pérdida del control con el HCN, es que se decide también hacer el cambio de parámetros para dejarlo mas lento de manera que no altere tan rápidamente el set-point del CC12425BA y así dejar a este con parámetros que permitan una respuesta mas inmediata en el FC-12425. Los parámetros a los que se llegó en el ACC-12437 fueron de

1,95 para el K, 2,0 para el tiempo derivativo y 0,001 para el tiempo integral T2 y los del CC12425BA fueron de 0,5 para el K y 7,3 para el tiempo derivativo. Este nuevo cambio de parámetros satisface completamente las exigencias del controlador de NOR, actuando sobre la corriente de HCN corrigiendo los cambios de NOR producidos por el flujo de reformato que a su vez controla muy bien las variaciones del cálculo de aromáticos.

El tercer controlador en pasar a modo de cascada es el FC-12426 de LCN que recibe la OP del CC122426BA como su set-point para controlar junto con el HCN el cálculo de NOR de la matriz 97 RM. Este controlador actuó al igual que el de HCN, por lo que también se modificaron los parámetros, quedando estos en 0,4 el K y 8,0 para el tiempo derivativo.

Solo resta poner en cascada el FC-12428 de isomerato. Al hacerlo, se noto una mejor reacción que los anteriores puestos, ya que, es el que tiene menor rango de los tres, o sea que las variaciones de este son más pequeñas que de los otros dos controladores. De igual forma se variaron un poco los parámetros buscando más lentitud para absorber mejor los pequeños up-set que se presentan en los controladores de flujo. Estos quedaron en 0,4 el K y 8 el T1.

De esta forma el NOR calculado por el ACX-12437 es controlado mediante los controladores CC12425BA, CC12426BA y CC12428BA, actuando sobre los flujos de LCN, HCN e isomerato respectivamente. Por otro lado el NOR oscila gracias al flujo de reformato que esta controlando el cálculo de porcentaje de aromáticos entregado por el CX12422AD.

Así quedan en control las especificaciones de NOR y aromáticos de la matriz de 97 RM según los cálculos realizados para estas especificaciones.

La prueba se da por finalizada y los controladores de flujo vuelven a su control normal en modo automático controlando su propio set-point calculado por ingeniería. El trabajo ahora se centrará en crear controladores para la especificación de RVP de la matriz 97 RM.

Para crear este nuevo controlador se deben tomar en cuenta todas las corrientes asociadas al blending de gasolina 97 RM, puesto que todas en mayor o menor grado aportan RVP a la matriz.

El problema que surge para hacer los nuevos calculadores en el HPM, es que este solo permite funciones matemáticas básicas como los son: suma, logaritmo decimal, división, coseno, cuadrado, logaritmo natural, multiplicación, seno, arco tangente, resta, exponente natural, numero absoluto y tangente. Como se definió anteriormente, el cálculo que se debe implementar para calcular el RVP de la matriz 97 RM, es la suma de los productos entre las especificaciones y flujos de cada corriente elevado a 1,25, todo esto elevado al inverso de 1,25. Esta operación no se puede hacer directamente en el

sistema por las operaciones que permite, esto se solucionará buscando un cálculo alternativo que sea admitido por el sistema:

Entonces, si la función es:

$$Y = X^a$$

$$\ln Y = \ln X^a$$

$$\ln Y = a \ln X$$

$$\text{si: } a \ln X = Z$$

$$\ln Y = Z$$

$$Y = e^Z$$

$$Y = e^{a \ln X}$$

Donde $a = 1,25$ (factor exponencial)

Esta operación es posible hacerla en el sistema pues el factor 1,25 que eleva el producto de cada corriente, es transformado a cálculo mostrado anteriormente que posee exponente natural y logaritmo natural.

Para el inverso de 1,25, que es el factor del cálculo total, solamente se sacó el valor de la operación $1/1,25$, o sea:

$$a = 0,8$$

Ahora es posible separar el cálculo del RVP de la matriz al igual que como se hizo con el del NOR. Esto se hace creando puntos calculadores que lean el flujo de cada corriente relacionada mediante los instrumentos ya mencionados, y la especificación de RVP de estas corrientes ingresada manualmente como factores a dichos calculadores.

Los calculadores creados y su operación se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 3-12: Calculadores de RVP.

Calculadores de RVP				
Nombre	Puntos asociados		Factores ingresados manualmente	
	P1	P2	C1	C2
CX12426AB	FC-12425	GASOLINA97RM	RVP del HCN	
CX12422AB	FC-12426	GASOLINA97RM	RVP del LCN	
CX12422AC	FC-12422	GASOLINA97RM	RVP del Reformato	
CX12428AB	FC-12428	GASOLINA97RM	RVP del Isomerato	1,12
CX12442AB	FI-12442	GASOLINA97RM	RVP del Alquilate	
CX3813AB	FI-3813A	GASOLINA97RM	RVP del DIPE	

Los calculadores de RVP de cada corriente hacen el cálculo de cada corriente multiplicando la indicación de cada FC y su especificación de RVP, esta última, al igual que en los controladores anteriormente creados, es ingresada al sistema manualmente en forma de factor (C1) y para el caso del isomerato con un factor adicional que fue

explicado anteriormente. Este valor es sometido al cálculo anteriormente mostrado, donde fue transformada la operación.

La mayoría de estos puntos fueron modificados del segundo modelo de controlador donde fue eliminada una línea completa de calculadores, estos fueron transformados y ocupados en este lazo de control.

La suma de estos cálculos sometidos a su factor correspondiente, esto dará como resultado el RVP de la matriz 97 RM. El siguiente calculador es el encargado de hacer este cálculo:

Tabla 3-13: Calculador de RVP.

Calculador de RVP						
Nombre	Puntos asociados					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
CX12425AB	CX12426AB	CX12422AB	CX3813AB	CX12422AC	CX12428AB	CX12442AB

El calculador CX12425AB realiza la suma de los calculadores independientes de RVP y los somete al factor de caculo $^{1/1,25}$ que fue transformado por exigencias del sistema TDC3000. Con esto tenemos el cálculo en tiempo real del RVP de la matriz 97 RM, al igual que anteriormente el del NOR de la misma, solo falta definir el control de este o, sobre que va a actuar este cálculo.

Como lo establece el cálculo, todas las corrientes aportan RVP a la matriz, por lo tanto se deben establecer que corrientes controlarán el RVP de la matriz. Para este análisis solo se observa históricamente el comportamiento de las corrientes con respecto a su especificación. Se concluye que las corrientes que más aportan RVP son las corrientes de LCN, isomerato, y en menor grado el reformato y alquilato.

Al estudiar las especificaciones en el periodo de prueba de las planillas de cálculo, se ve que los valores máximos alcanzados son de 40 Kpa para el reformato, 50 Kpa para el alquilato, mientras que el isomerato aporto con 90 Kpa y el LCN con 120 Kpa. Estos valores no son necesariamente un valor normal de especificación, sino, los máximos alcanzados, que muchas veces obedece a alguna condición especial de la planta de proceso.

De todas formas se observa que las corrientes cuyo RVP es más alto y estable son las de isomerato y LCN, por lo tanto el control de esta especificación en la corriente 97 RM se realizará controlando el ingreso de isomerato y LCN a dicha matriz.

De tal forma se deberá crear un controlador para cada corriente y un controlador que comande a estos dos. Estos nuevos controladores leerán los cálculos hechos por los calculadores independientes antes creados, como lo son el calculador de RVP del isomerato y el LCN y el calculador general de RVP.

El modelo de control de RVP se presenta así:

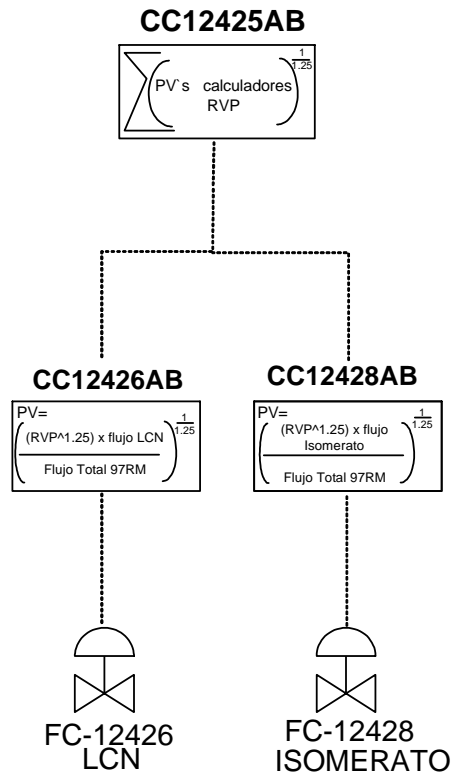


Figura 3-6: Control de RVP.

Este nuevo modelo, al igual que el modelo de NOR necesita establecer una relación entre los dos controladores para que la mezcla de estos dos optimice el flujo de gasolina 97 RM. Esta relación se encontrara de la misma forma que la del NOR, o sea, estudiando los flujos máximos encontrados en el periodo de cuatro meses.

En vista de lo anterior y visualizado los datos, al igual que en el controlador de NOR se llega a la conclusión que el flujo máximo que mejor satisface al estudio, es el que se presentó entre el 09/11/2004 y el 12/11/2004, llegando a 2.160 m³/día con un pequeño error que de todas formas es menor a las demás fechas analizadas.

Con estos valores de flujo se establecerá la relación con la que actuarán los calculadores para obtener el valor de RVP requerido.

Esta relación se calculará de la misma forma que lo hacen los calculadores independientes de RVP, o sea, el flujo máximo alcanzado de la corriente en m³/día por la

especificación de RVP de dicha corriente elevada a 1,25, dividido por el flujo total de gasolina 97 y elevando todo a 1/1,25. Los valores calculados serán los rangos máximos para cada calculador, de tal forma que al actuar en conjunto lo hagan en una relación que mantenga el flujo total de gasolina en un valor alto o cercano al máximo estudiado.

Al igual que en los controladores independientes de NOR, los cálculos de rango fueron aumentados al doble con respecto al cálculo realizado para permitir mayor holgura a los controladores, de esta forma cuando la OP del controlador general esté el 50% de su valor, los valores calculados de rango máximo estarán en el valor que se calculó.

Se muestra en el siguiente esquema el calculador con los rangos máximos para cada controlador:

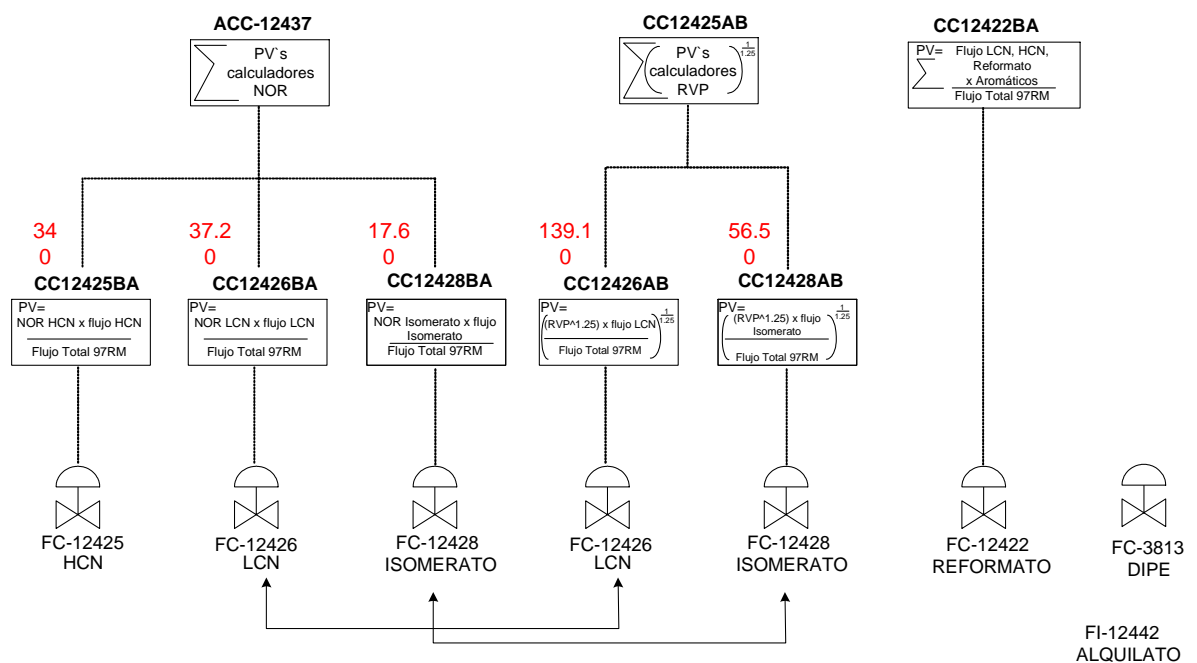


Figura 3-7: Tercer modelo de controlador con los rangos máximos para cada instrumento.

Este es el esquema del controlador de RVP mas el control de NOR y aromáticos, se muestran también en rojo, los valores de rango máximo calculados, como también quedan implícitos en el esquema el flujo de DIPE y alquilato que si bien es cierto no aportan al control, sí aportan al cálculo.

El inconveniente de este modelo es la acción combinada entre NOR y RVP del CC12426BA y el CC12426AB como también el CC12428BA y el CC12428AB. Estos controladores deben actuar sobre la misma válvula de control, el LCN (FC-12426) y el

isomerato (FC-12428) respectivamente. Una válvula de control no puede recibir la OP de dos controladores simultáneamente, por lo tanto la única solución a este problema, es crear selectores que comparen las dos señales de entrada y bajo un parámetro de relación, dejen pasar solo una de las dos señales de entrada (OP).

Los selectores que se pueden crear en el sistema pueden leer hasta cuatro variables de entrada y compararlas eligiendo la mayor, la menor o entre ciertos valores seleccionados.

De esta forma, se decide crear el primer selector, este comparara las señales de entrada que emiten el CC12426BA y el CC12426AB como OP, y dejará pasar sólo la menor de estas. De esta forma se tendrá la seguridad que ninguna de las dos especificaciones se salga del valor pedido, ya que, si alguna de estas le está pidiendo al FC-12426 aumentar el flujo, y la otra variable le esta pidiendo disminuir para no salirse de la especificación, el selector sólo dejara pasar la menor, o sea la que le esta pidiendo cerrar al FC para no salirse de la especificación.

El dibujo representa el esquema del nuevo controlador, que incluye los dos selectores creados para ambas corrientes:

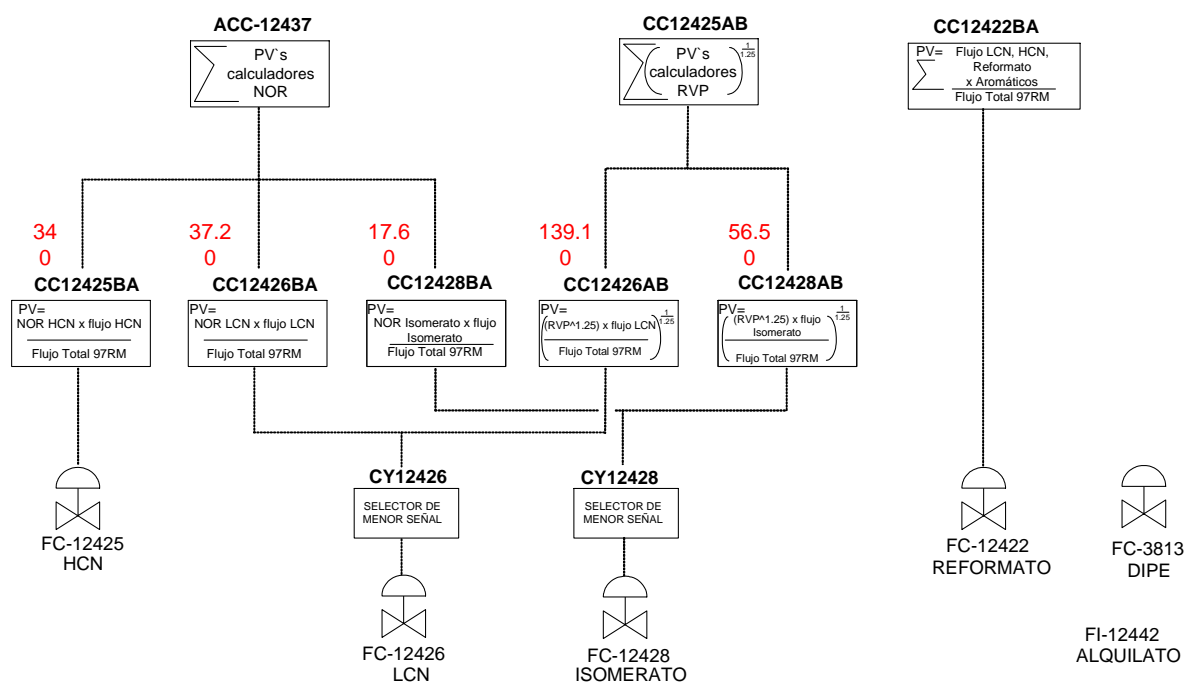


Figura 3-8: Tercer modelo de controlador con selectores de menor señal.

De esta forma hemos logrado controlar las especificaciones de NOR y RVP de la matriz 97 RM, actuando combinadamente entre el isomerato y LCN, mientras que el HCN controla independientemente en un ramal del control de NOR y el reformato solo

controlando el porcentaje de aromáticos. Además la relación encontrada de los flujos de HCN, LCN, e isomerato permite que el control de estas corrientes actúe maximizando estos tres flujos.

A continuación se muestran los puntos creados en el sistema para el control del RVP:

Tabla 3-14: Controladores de RVP y selectores de menor señal.

Controlador de RVP			
Nombre	Puntos asociados		
	INPUT	OUPUT 1	OUPUT 2
CC12425AB	CX12425AB	CC12426AB	CC12428AB

Controladores de RVP		
Nombre	Puntos asociados	
	INPUT	OUPUT
CC12426AB	CX12426AB	CY12426
CC12428AB	CX12428AB	CY12428

Selectores de RVP			
Nombre	Puntos asociados		
	INPUT 1	INPUT 2	OUPUT
CY12426	CC12426BA	CC12426AB	FC-12426
CY12428	CC12428BA	CC12428BA	FC-12428

En orden se observan los controladores creados. En la primera línea se muestra el controlador general que lee el cálculo del RVP y actúa sobre este escribiendo sobre los dos controladores independientes de RVP que a su vez actúan sobre los flujos de isomerato y LCN, pasando antes por los selectores creados que compararán las señales emitidas por este control y el del NOR. Finalmente estos puntos después de seleccionar la variable OP más pequeña envían esta al FC que controlara el flujo de LCN o isomerato.

Para finalizar el controlador de la matriz 97 RM, solo falta implementar un control del porcentaje olefinas de esta matriz.

El mismo estudio que en los cálculos anteriores se hará en el caso de las olefinas para visualizar que corrientes aportan el mayor porcentaje de esta especificación a la matriz 97 RM.

Estudiando las tablas se puede observar que las corrientes que aportan olefinas a la mezcla son solo el HCN y el LCN notándose valores máximos de 20 % v/v para el

HCN y 40,4 %v/v para el LCN. Al ser las olefinas una especificación que por defecto la mayoría de las veces se logra, se tomará como punto de control solamente el LCN que representa el mayor aporte de olefinas a la matriz. Por lo tanto el control de esta se hará limitando el ingreso de LCN a la matriz.

Para lograr esto se creará un punto que calcule el porcentaje de olefinas de la mezcla basándose en las corrientes de LCN, HCN y reformato. El cálculo que este hará es un cálculo lineal y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-15: Calculador y controlador de olefinas.

Calculador de Olefinas							
Nombre	Puntos asociados				Factores ingresados manualmente		
	P1	P2	P3	P4	C1	C2	C3
CX12426AD	FC-12425	FC-12426	FC-12422	GASOLINA97RM	Olefinas HCN	Olefinas LCN	Olefinas Reformato

Controlador de Olefinas		
Nombre	Puntos asociados	
	INPUT	OUTPUT
CC12426AD	CX12426AD	CY12426

Como se muestra en la tabla, el CX12426AD calcula el porcentaje volumétrico de olefinas en la matriz 97 RM, basándose en el cálculo lineal que involucra las corrientes de HCN, LCN y reformato. Este calculador es la variable de entrada para el controlador de olefinas CC12426AD, que toma el cálculo para someterlo al algoritmo de control que entregará la variable de salida OP para ser recepcionada por el selector de menor señal CY12426. Este comparará las señales entregadas por los controladores de NOR, RVP y olefinas, dejando que solo una llegue al FC-12426, que en este caso es la menor de las señales previniendo que alguna de estas se salga del valor pedido.

Aquí se presenta el controlador total de gasolina 97 RM incluyendo el controlador de olefinas:

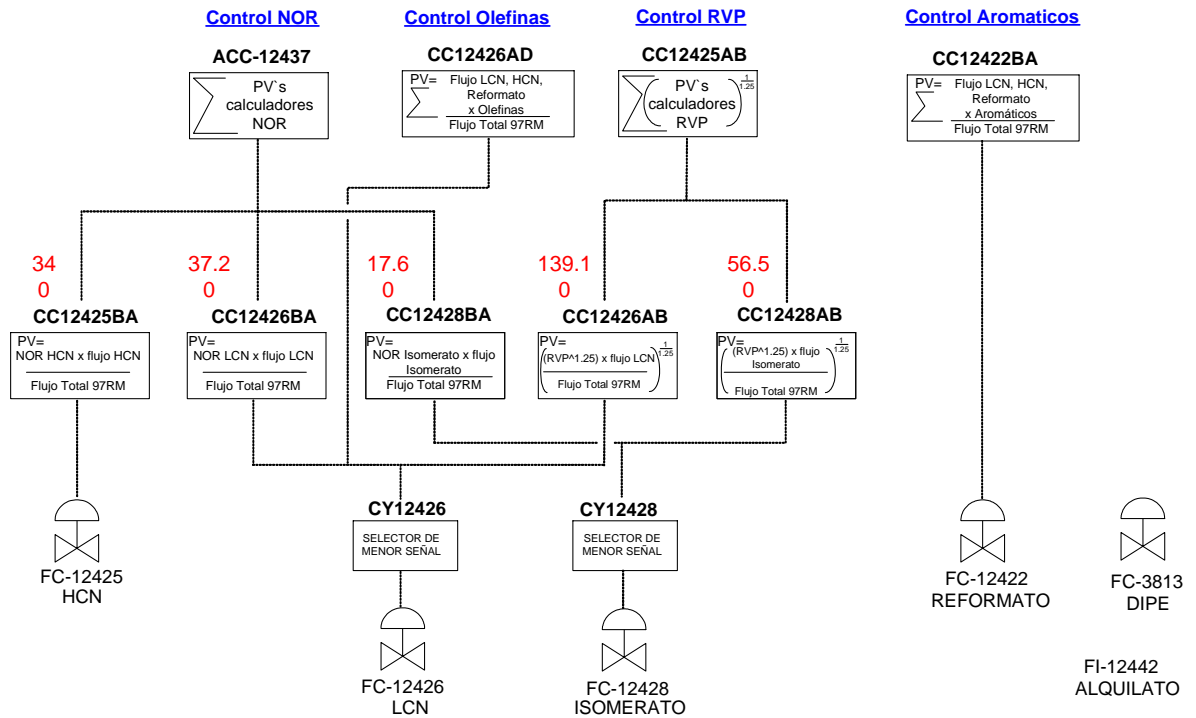


Figura 3-9: Modelo final del controlador que incluye controles de NOR, RVP, porcentaje de aromáticos y porcentaje de olefinas.

Es así como se finaliza el proceso de diseño e implementación del control de especificaciones del blending de gasolina 97 RM, este incluye cálculo y control en tiempo real de NOR, RVP, porcentaje volumétrico de aromáticos y olefinas.

Para hacer más fácil y amigable este control creado es que se diseñó un esquemático en el sistema TDC-3000, que permite observar y manipular todas las variables que tienen relación con el calculador de 97 RM. El esquemático diseñado se muestra en el siguiente dibujo:

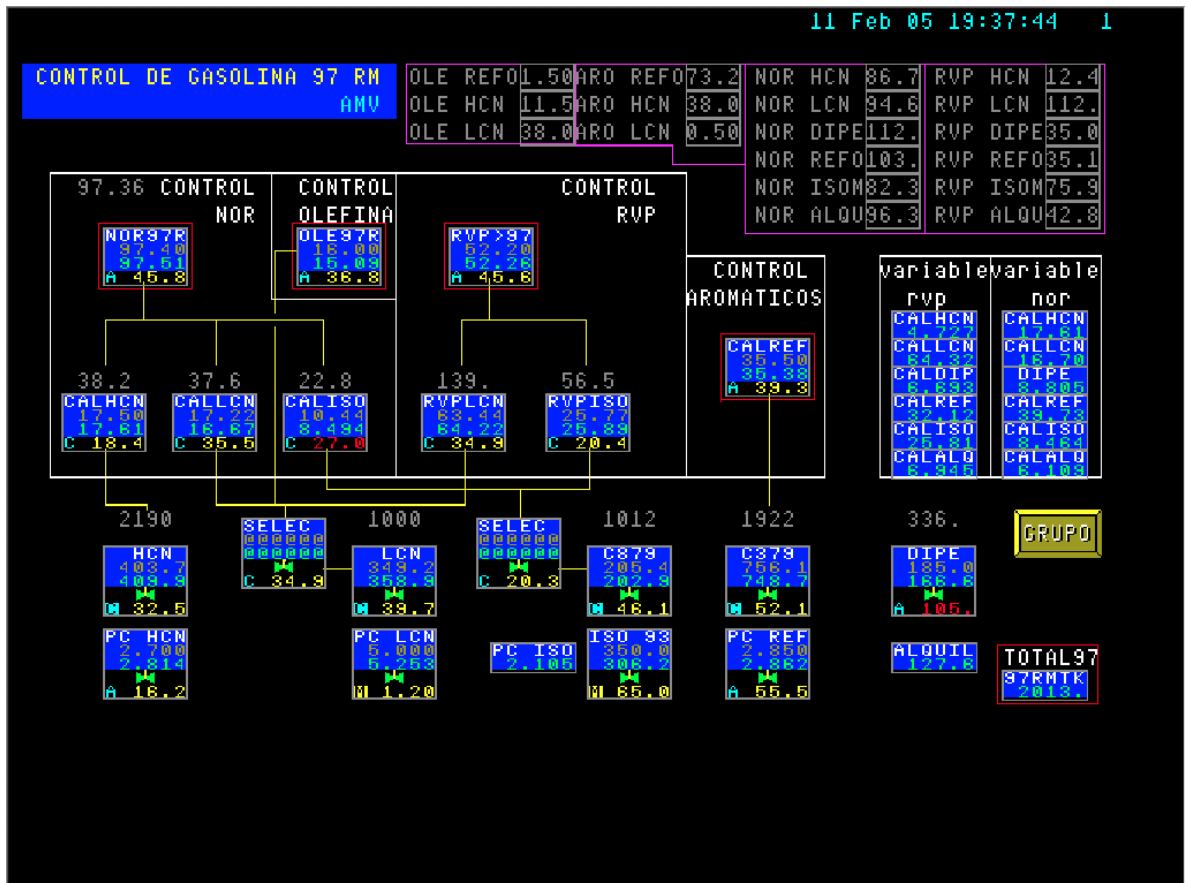


Figura 3-10: Esquemático del controlador en sistema TDC-3000.

En la parte superior derecha el ingreso manual de los datos de laboratorio necesarios para el cálculo de las especificaciones de la matriz. Además se muestran todos los controladores creados graficados en rectángulos de color azul grandes, están unidos con líneas amarillas indicando su lazo de control. También se pueden visualizar los calculadores independientes de NOR y RVP a la derecha del esquemático en rectángulos más pequeños de color azul. Abajo a la derecha se muestran los flujos sin control de DIPE, alquilato y flujo total de gasolina 97 RM encerrado el rectángulo de color rojo. El controlador de flujo de isomerato tiene como texto C879 que es como se llama internamente, al igual que el reformato como C379. Cada punto visualizado tiene sus variables de PV, SP y OP, además los controladores independientes de NOR y RVP, al igual que los flujos de mezcla tienen con números plomos los valores de rango máximo de estos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRIMERA PRUEBA DEL CONTROLADOR

El controlador pasó por un largo periodo de pruebas, las que fueron relativamente cortas de no más de dos horas y bajo el único objetivo de ajustar parámetros de los calculadores y observar el comportamiento de estos en cuanto a sus rangos y velocidades y comprobar funcionamiento óptimo de los selectores. Luego de verificar el óptimo funcionamiento del controlador se pidió autorización para ponerlo en servicio teniendo la posibilidad de realizar análisis de laboratorio. La autorización fue conseguida para el 11 de Febrero del 2005 de 8:00 a 22:00 horas.

El principal objetivo de esta prueba es probar la efectividad de la automatización del control de especificaciones y su comparación con los análisis del laboratorio. Primero se tomaron los datos del laboratorio para cada producto a fin de actualizar estos datos en los calculadores y observar el delta que existe en ese momento del cálculo con respecto al análisis. La tabla obtenida se presenta así:

Tabla 4-1: Condiciones en primera prueba del controlador.

Línea 97 RM	flujos m ³ /dia	Vol., %	AROMÁTICOS % v/v	OLEFINAS % v/v	BENCENO m/m	10% ASTM °C	50% ASTM °C	90% ASTM °C	NOR	Azufre ppm	RVP Kpa
G-530	0	0	25	30	0,7	56	91	173	91,4	300	-
LCN	220	14,2	0,5	40,4	0,2	29,2	43	58	94,6	22	112,0
HCN	260	16,8	38	11,5	1,2	101,8	139	193	86,7	105	12,4
Reformato	570	36,8	73,2	2	1,5	100	133	160	103	-	35,1
DIPE	170	10,9	-	-	-	67	68	69	112	-	35,0
Isomerato	210	13,5	-	-	-	48	68	92	82,3	-	75,9
Alquilato	120	7,8	-	-	-	74	105	170	96,3	-	42,8
BUTANO	0	0	-	-	-	1,1	1,2	1,3	96	-	350,0
Total 97 RM	1550	100	33,4	8,4					97,6		51,8
Real Laboratorio			35,7	10,0					97,8		51,7

El delta observado en los cálculos nos da la idea del set-point que se controlara en cada especificación. Es así como el set-point del controlador de NOR quedó en 97,4 dos décimas menos de lo que indica el cálculo, de tal forma que el análisis también baje el mismo valor, se espera aproximadamente 97,5.

En el caso del porcentaje de olefinas el set-point quedó en 16 % v/v producto de un error en el calculador producto de la configuración del punto en el sistema, este error será corregido a posterior. De todas maneras el set-point del controlador se estimo de

acuerdo al valor observado en la historia del día anterior de este controlador, para que el análisis de aproximadamente 11 % v/v.

El set-point del porcentaje de aromáticos de la mezcla quedó en 35,5 % v/v, 2,1 mas que el cálculo realizado por el controlador (33,4) de tal forma que el valor real medido también aumente en esa proporción, controlando 37,8 % v/v de aromáticos en el análisis.

El RVP en la fecha de prueba, no debe sobrepasar los 55 Kpa por lo que el set-point del controlador de RVP queda en 51 Kpa, este valor es el mismo que calcula en ese instante el controlador al igual que el dato de laboratorio. Para prevenir variaciones normales del RVP es que el set-point queda 4 Kpa menos de lo que debiera dar el análisis (51 Kpa).

Se procede a poner en control de cascada los controladores de flujo de HCN, LCN, reformato e isomerato a las 08:25 del día 11 de Febrero del 2005, tomando datos del sistema cada aproximadamente 30 minutos, partiendo con estos a las 08:20 donde los datos todavía eran los que la planilla de cálculo Excel de Ingeniería pedía.

La tabla de datos de la prueba se muestra a continuación:

Tabla 4-2: Datos de la primera prueba.

Hora	Fujos volumetricos (m ³ /d)						Total
	reformato	HCN	LCN	isomerato	Alquilato	DIPE	
8:20	570	260	220	210	130	170	1560
8:45	588	275	236	179	123	169	1570
9:00	640	350	280	175	124	177	1746
9:51	736	400	310	208	131	177	1962
10:19	732	395	312	205	130	177	1951
11:00	746	399	310	223	130	177	1985
11:39	742	407	313	210	120	188	1980
13:00	737	398	335	200	120	188	1978
14:14	711	343	298	200	120	162	1834
15:07	722	400	334	191	117	170	1934
16:12	715	400	331	185	121	175	1927
16:47	733	403	330	200	120	172	1958
17:00	730	398	332	200	120	172	1952
17:58	730	397	340	200	115	176	1958
18:54	735	405	350	200	113	175	1978
19:22	750	415	350	208	117	173	2013
19:37	750	403	358	202	127	166	2006
20:05	772	412	350	217	124	183	2058
21:00	755	398	342	210	118	163	1986
21:36	770	420	351	214	123	177	2055
22:24	780	408	360	214	126	158	2046

La tabla muestra los valores de flujo de cada corriente a partir de las 08:20 hasta las 22:24. También se observa la suma de los flujos que es donde se genera la optimización del modelo de cálculo actual. En dicha columna se puede observar el

aumento del flujo total de gasolina 97 RM desde 1.560 m³/día hasta 2.046 m³/día que fue el valor de flujo al final de la prueba. Se nota un aumento de 486 m³/día en dicha corriente.

Los cálculos realizados por la planilla a cada hora de muestreo de datos se muestran a continuación:

Tabla 4-3: Cálculos realizados por la planilla a cada hora de muestreo.

Hora	Calculo de especificaciones según tabla			
	NOR	RVP	Olefinas	Aromaticos
8:20	97,6	51,7	8,3	33,2
8:45	97,8	51,3	8,8	34,1
9:00	97,6	50,9	9,5	34,5
9:51	97,4	50,9	9,5	35,3
10:19	97,3	51,4	9,5	34,9
11:00	97,3	51,1	9,4	35,2
11:39	97,4	50,8	9,5	35,3
13:00	97,5	51,6	9,9	35
14:14	97,6	51,7	9,5	35,6
15:07	97,3	51,8	10,1	35,1
16:12	97,4	51,5	10,1	35,1
16:47	97,3	51,5	9,9	35,3
17:00	97,4	51,7	10	35,2
17:58	97,4	52	10,1	35,1
18:54	97,3	52,1	10,2	35,1
19:22	97,3	52	10,1	35,2
19:37	97,3	52,4	10,3	35,1
20:05	97,4	51,9	9,9	35,2
21:00	97,3	52,1	10	35,5
21:36	97,3	51,8	10	35,3
22:24	97,3	52,4	10,2	35,6

Se demuestra en la tabla el buen desempeño de los cuatro controladores, estos controlaron a toda hora el valor del set-point pedido a cada uno controlando las especificaciones mientras se aumentaban los flujos de mezcla, como se vio anteriormente.

Se observa en el cálculo y control del NOR una efectiva respuesta ante los cambios de flujo y especificaciones, manteniendo siempre el valor de este en cercano al valor pedido, con una máxima diferencia observada de 0,4 puntos a las 08:45, diferencia atribuida a que el controlador estaba poniendo en control los flujos.

El sistema tuvo una inercia de aproximadamente una hora desde que se puso en servicio para controlar los flujos en los valores pedidos y de una hora treinta minutos para dejar los flujos estables y en control.

El control de aromáticos de la mezcla es el controlador más lento ante los cambios bruscos, esto fue diseñado así pensando en variar lentamente el flujo de reformato a las demás matrices de gasolina en caso de requerirlo. De todas formas y

como se observa en las tablas el control de esta especificación fue bueno y con una variación máxima de 0,4 %v/v con respecto al valor pedido.

En ambas tablas las celdas amarillas indican la hora y las condiciones que existían a la hora que se realizo la toma de muestra 97 RM. Los datos de estos análisis se muestran en la siguiente ilustración sacada directamente del programa que ocupa laboratorio para difundir los análisis:

Description	Units	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO
Punto de Muestreo		97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO
Fecha		11/2/05	11/2/05	11/2/05	11/2/05	11/2/05	11/2/05
Hora		21:00	17:00	13:00	11:30	11:00	05:00
Observaciones 1							
Muestra extra			Muestra extra				
Numero de Secuenc		406602	406596	406544	406524	406554	40648
Status		Complete NoText	Complete NoText	Complete NoText	Incomplete NoText	Incomplete NoText	Compl
Nulo por							
Sample Arrival Time							
Punto inicial	°C	39					
10 %	°C	61					
30 %	°C	79					
50 %	°C	103					
70 %	°C	132					
90 %	°C	164					
95 %	°C	180					
Punto final	°C	204					
Recuperado	% v/v	98.0					
Residuo	% v/v	1.0					
Pérdida	% v/v	1.0					
Olefinas	% v/v	10.2	10.8			10.1	
Aromáticos	% v/v	37.8	37.6			37.8	
Azulfre	ppm	10					
Benceno	% v/v	0.7		0.6		0.7	0.6
Presión de vapor	kPa	50.9	50.6	53.8	52.8		53.5
NOR		97.0	96.3	97.3	97.3		97.9

Figura 4-1: Análisis de laboratorio a cada hora de muestreo.

Se pueden observar aquí los cuatro análisis que se hicieron a la matriz 97 RM, a las 11:00, 13:00, 17:00 y 21:00.

El análisis de las 11:00 hrs. (11:30 hrs.) dio como resultado para el NOR 97,3, al igual que el cálculo en el controlador a esta misma hora.

El análisis del RVP dio como resultado 52,8 Kpa, mientras que el cálculo a esta hora era de 51,1 Kpa. Esta diferencia de 1,7 Kpa es esperable puesto que el cálculo de esta especificación es el mas difícil y se espera según los análisis hechos, errores de aproximadamente 5,4%, lo que deja dentro de las pretensiones el análisis hecho.

El porcentaje de aromáticos analizado resulto de 37,8 % v/v, mientras que el cálculo decía a esa hora 35,2% v/v, con una diferencia de 2,6 % v/v, valor que difiere en 0,4 del cálculo que se realizó al poner el set-point del controlador en 35,5.

El cálculo del porcentaje de olefinas dio 10,1 % v/v que se estimo calculando una diferencia de aproximadamente 6 % v/v debido a un error en el cálculo del sistema que a posterior se solucionó.

Las condiciones se mantuvieron igual en el controlador esperando el análisis de las 13:00. Este dio como resultado de NOR, 97,3 al igual que el primer análisis y con 0,2 puntos de diferencia con respecto al cálculo a esa hora que estaba en 97,5. Este error esta dentro de los 0,34 que se calculó al analizar las tablas de cálculo.

El RVP de esta hora dio 53,8 Kpa en el análisis, mientras que el cálculo estaba en 51,6 Kpa. Mostrando una diferencia de 2,2 Kpa valor que esta dentro de lo esperado.

El porcentaje de aromáticos y olefinas no se realizó en este horario por problemas en laboratorio.

A raíz del bajo porcentaje de olefinas observadas en el primer análisis es que a las 15:00 hrs. se aumento el set-point de este controlador en 1,5 % v/v y el de RVP en 0,9 Kpa, quedando este ultimo en 51,9 Kpa. Este movimiento permitió que el controlador de RVP aumentara el flujo de LCN en aproximadamente 40 m³/día.

Con estos cambios ya realizados y en control, se tomo la muestra de las 17:00 hrs. Esta entrego como resultado un NOR de 96,3, lo que al observar el cálculo difiere en 1,1 puntos de NOR. Este mal resultado se llevo a las tablas de cálculo con los flujos de ese momento entregando un valor calculado de 97,4 al igual que el controlador en ese momento. Esta variación no es atribuible a un up-set de alguna planta involucrada o a una variación fuerte de algún flujo, por lo que se piensa que puede deberse a un error en la toma de la muestra o en el análisis de laboratorio o simplemente una falla del modelo de calculador.

El análisis de esta hora de RVP entrego como resultado 50,6 Kpa, mientras que el cálculo de esta variable a esa hora era de 51,7 kpa. Notándose una diferencia de 1,1 Kpa error aceptable para esta variable y marcando la tónica que se observó durante los análisis anteriores.

El porcentaje de aromáticos dio como resultado 37,6 % v/v, mientras que el cálculo establecía este en 35,2 % v/v. La diferencia de 2,4 es similar a la diferencia que se observó en el primer análisis y no sobrepasa el error esperado.

El porcentaje de aromáticos analizado fue de 10,8 % v/v marcando una diferencia de 0,7 % v/v con respecto a la primera muestra.

No se efectuó ningún movimiento en el NOR a raíz del análisis, esperando el análisis de las 21:00 hrs. para corroborar esta situación. En el RVP se aumenta el set-

point a 52,2 Kpa, 0,3 Kpa mas de lo que tenia esperando un aumento de esta especificación en el análisis siguiente. El movimiento de este set-point permitió al controlador aumentar los flujos combinados llegando a 100 m³/día más de flujo total.

A las 21:00 se tomaron las últimas muestras, dando como resultado en el NOR 97,0 octanos, a diferencia del cálculo que estaba a esa hora en 97,3. La diferencia de 0,3 es esperable y dentro de los límites. Esto aumenta aun más la posibilidad de que el análisis de las 17:00 hrs. este afecto un error de análisis o toma de muestra.

El RVP de esta hora dio 50,9 Kpa 0,3 Kpa mas que el análisis anterior, corroborando el aumento de set-point. El cálculo tenía a esta hora 52,1 Kpa con una diferencia de 1,2 Kpa similar al delta producido en este cálculo en el transcurso del día.

El porcentaje de aromáticos de la mezcla dio 37,8 % v/v al igual que en el primer análisis con diferencia de 0,2 % v/v respecto al análisis anterior. El cálculo a esa hora estaba en 35,5 % v/v con una diferencia de 2,8 similar que en el resto de la prueba.

Además de todos estos datos tomados también se noto a las 14:00 una disminución natural del DIPE de aproximadamente 25 m³/día, esta disminución altero el valor del NOR calculado poniendo a prueba la velocidad de cambios del controlador. Una baja de HCN, LCN e isomerato se hizo notar en cerca de 5 minutos para aumentar el NOR. Con esto aumento también el porcentaje de aromáticos, lo que hizo disminuir el flujo de reformato en cerca de 25 m³/día en poco más de 6 minutos. Como se muestra en la tabla de datos los flujos posteriormente se recuperaron automáticamente al reestablecerse el flujo de DIPE. Esta variación se muestra en el siguiente grupo de tendencias sacadas del sistema TDC-3000:

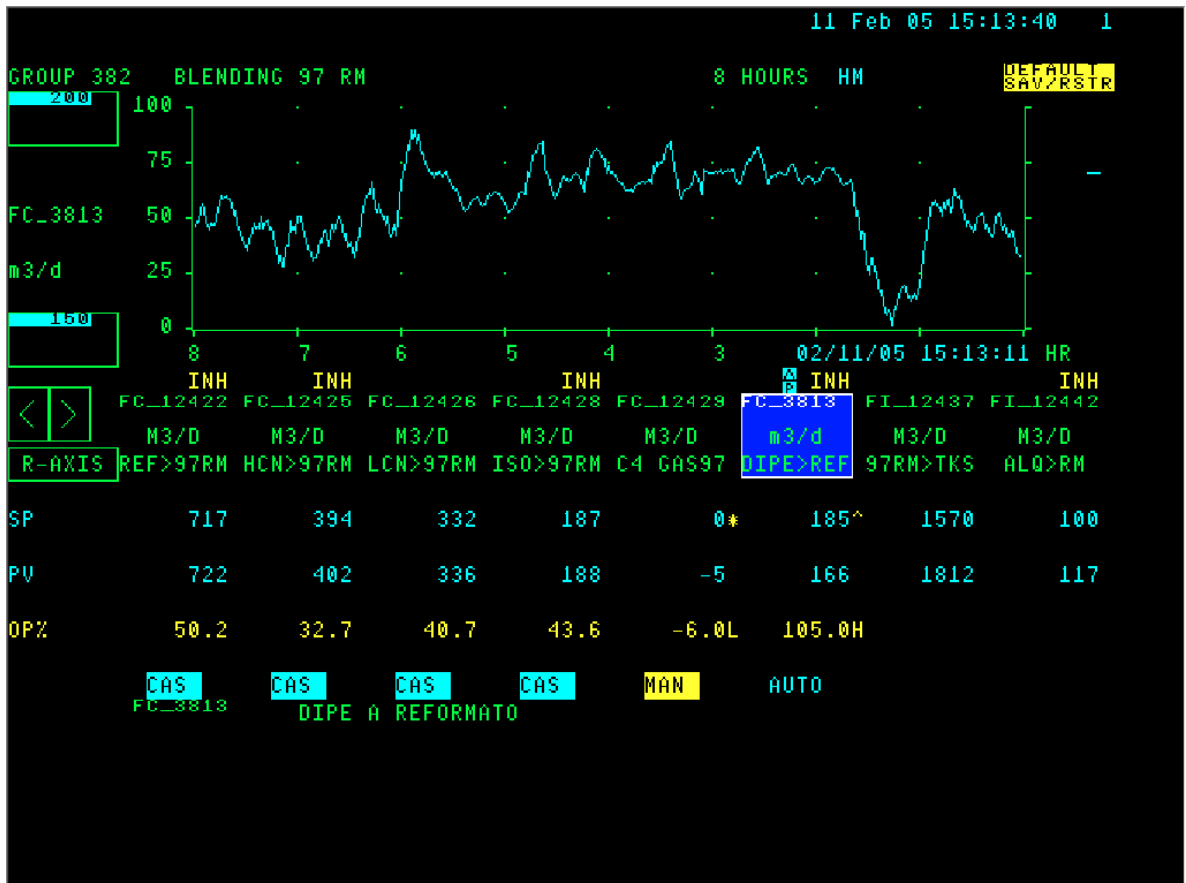


Figura 4-2: Variación de flujo de DIPE, sacada del sistema TDC-3000.

Aproximadamente a las 14:00 hrs. se produce la baja de flujo del DIPE de 180 m³/día a 150 m³/día aproximadamente. Además pueden verse los controladores de flujo de la 97 RM en control de casada indicado en el rectángulo color calipso bajo los controladores y los set-point, las PV y las OP de cada uno sobre estos rectángulos.

En la siguiente grafica se muestran la reacción de los controladores ante esta baja de DIPE:

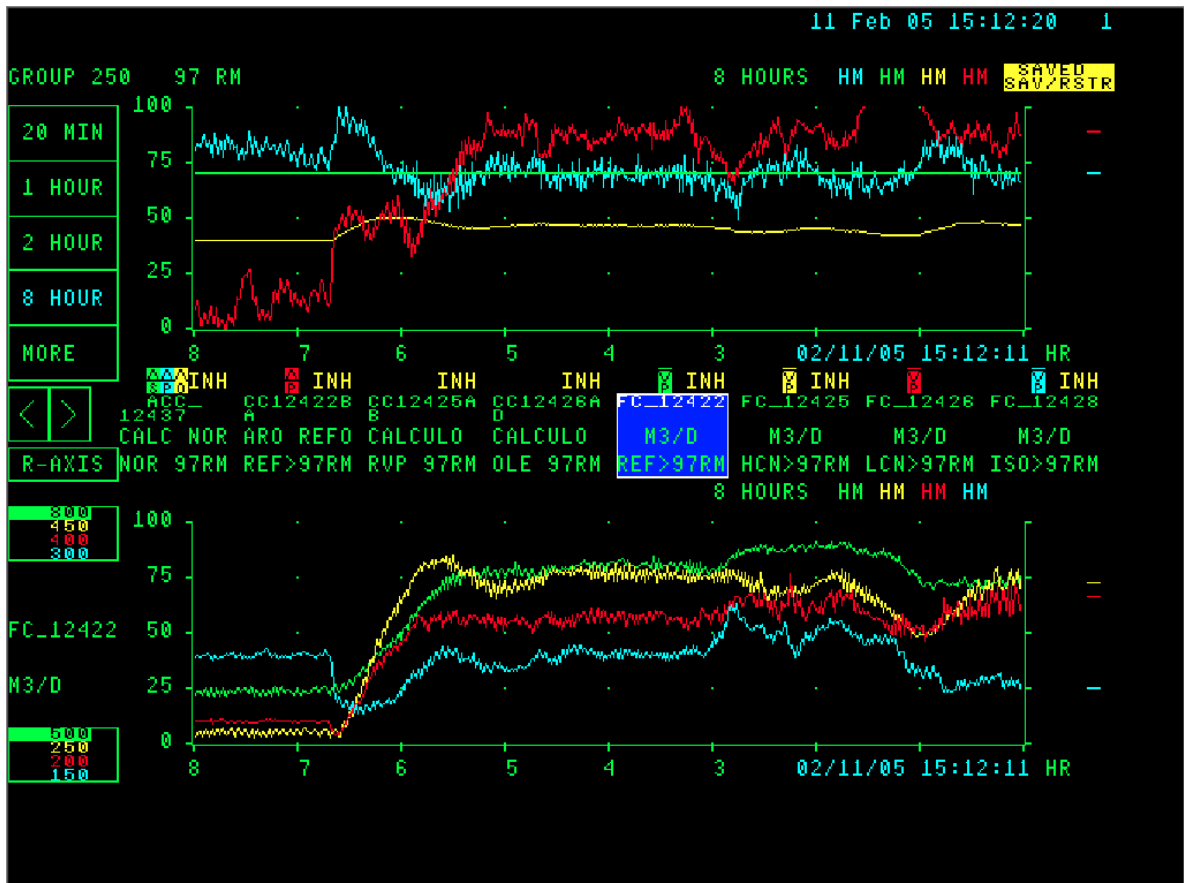


Figura 4-3: Flujos y cálculos durante la prueba, sacados del sistema TDC-3000.

Se puede observar la disminución casi inmediata de las corrientes de HCN, LCN e isomerato mostrados en la grafica inferior con colores amarillo, rojo y calipso respectivamente. Al recuperarse el flujo de DIPE se recuperan nuevamente el HCN y el LCN, no así el isomerato que queda en control de RVP por lo cual el reformato también se queda unos 20 minutos para posteriormente aumentar al valor inicial y más llegando al final de la prueba a 780 m³/día, esto se distingue con línea verde mostrando la disminución del flujo de reformato producto del aumento del porcentaje de aromáticos producido por el DIPE y la baja de las demás corrientes.

En la grafica superior se muestra con línea calipso el cálculo realizado por el controlador de NOR y sus oscilaciones incluyendo la debida al DIPE. Con línea verde en la misma grafica se muestra el set-point de este mismo controlador en 97,4. Con línea amarilla, se muestra la salida (OP) de este controlador que actuara sobre los set-point del HCN, LCN e isomerato. Aquí se distinguen las oscilaciones de este parámetro del controlador, que principalmente se deben al flujo de DIPE. Con línea roja se grafica el cálculo del porcentaje de aromáticos y su oscilación producto del DIPE, este control produce la disminución del reformato.

4.2. SEGUNDA PRUEBA DEL CONTROLADOR

Con fecha 19 de Julio del 2005 y a las 18:00 se consigue autorización para la puesta en servicio del controlador por un transcurso de cuatro horas con análisis de laboratorio a las 21:00 de las cuatro especificaciones.

Se procede de la misma manera que con la primera prueba, llevando los datos actuales a la tabla de cálculo para estimar los set-point a controlar.

Tabla 4-4: Condiciones en segunda prueba del controlador.

Línea 97 RM	flujos m ³ /día	Vol., %	AROMÁTICOS % v/v	OLEFINAS % v/v	BENCENO m/m	10% ASTM °C	50% ASTM °C	90% ASTM °C	NOR	Azufre ppm	RVP Kpa
G-530	0	0	25	30	0,7	56	91	173	91,4	300	-
LCN	370	21,7	0,5	38	0,2	29,2	43	58	94,2	22	103,6
HCN	100	5,9	37	11,5	1,2	101,8	139	193	89,5	105	11,9
Reformato	700	40,9	80,1	1,5	1,5	100	133	160	104	-	46,7
DIPE	170	9,9	-	-	-	67	68	69	112	-	35,0
Isomerato	370	21,6	-	-	-	48	68	92	83	-	73,3
Alquilato	0	0	-	-	-	74	105	170	95,1	-	45,0
BUTANO	0	0	-	-	-	1,1	1,2	1,3	96	-	350,0
Total 97 RM	1710	100	35,1	9,5					98,3		64,6
Real Laboratorio			37,4	9,2					98,1		58,2

Según lo planteado por la jefatura para esta prueba se busca no variar mucho los análisis de laboratorio para que los usuarios del sistema no se den cuenta de las variaciones y solo sirva para emitir el presente informe. Por lo anterior es que se buscaron set-point similares a los valores que los calculadores están entregando.

Para el set-point del controlador de NOR se estimo que 98,0 octanos dejaría el valor de este cercano al ultimo análisis de laboratorio 98,3 octanos dejando un margen de error de +/- 0,34%.

Para el RVP se dejo un set-point igual al máximo de la especificación, ya que con la combinación de los flujos este análisis disminuye tanto que no alcanza a limitar ningún flujo. El set-point queda en 69 Kpa. Mirando la diferencia de 6,4 Kpa entre el análisis y el cálculo, el valor esperado de esta especificación de controlar los 69 Kpa es de 62,6 Kpa.

La mezcla actual con 100 m³/día de HCN hace que el porcentaje de aromáticos de la mezcla sea bajo con respecto a la proporción de flujos de mi sistema, por lo tanto al poner en servicio el controlador esta especificación debiera subir. Para prevenir una fuerte disminución del reformato en la mezcla por esta especificación, es que el set-point del porcentaje de aromáticos se deja en 36% v/v. Aunque este cálculo tiene un delta de

2,3 % v/v, no se tomará en cuenta, ya que a la hora del análisis el cálculo estaba en 37 % v/v. Este delta se produjo por una disminución paulatina del flujo de DIPE. Se espera que el valor de laboratorio de muy cerca al valor calculado por lo planteado anteriormente.

El porcentaje de olefinas se le da un set-point de 11 % v/v debido a la exactitud con que se ha comportado el cálculo en los análisis previos. Este valor difiere en 0,3 % v/v con respecto a al valor real de laboratorio, por lo que se espera que este análisis de cercano al valor calculado.

Se procede a poner en control de cascada los controladores de flujo de HCN, LCN, reformato e isomerato a las 18:05 hrs. del día 19 de julio del 2005, tomando datos del sistema cada aproximadamente 30 minutos, partiendo con estos a las 06:00 donde los datos todavía eran los que la planilla de cálculo Excel de ingeniería exigía.

La tabla de datos de la prueba se muestra a continuación:

Tabla 4-5: Datos de la segunda prueba.

Hora	Fujos volumetricos (m ³ /d)						Total
	reformato	HCN	LCN	isomerato	Alquilato	DIPE	
18:00	700	100	370	370	0	170	1710
18:30	692	370	410	293	0	160	1925
19:00	640	300	315	230	0	161	1646
19:30	660	369	375	255	0	162	1821
20:00	650	350	362	250	0	166	1778
20:30	655	350	360	251	0	170	1786
21:00	655	350	370	250	0	165	1790
21:50	651	350	360	247	0	170	1778

En la tabla se muestran los valores de flujo parcial mientras el controlador estuvo en servicio. Se tomaron datos de estos cada aproximadamente 30 minutos censando también la suma de los flujos, donde se optimizó en aproximadamente 60 m³/día el flujo total de gasolina 97 RM. Las celdas de color amarillo indican las condiciones en las cuales se tomo el muestreo de gasolina.

Lo observado en esta tabla es el cambio de la proporción de la mezcla de los flujos, donde se aumenta el HCN en virtud del isomerato, mientras que el reformato disminuye por efecto del aumento del porcentaje de aromáticos del cual es responsable el HCN. La mezcla realizada por el controlador optimizó el flujo total de gasolina 97 RM en aproximadamente 60 m³/día con 50 m³/día menos de reformato en la mezcla, dando la posibilidad e ocupar este producto de alto valor en otra mezcla.

Mirándolo de otro punto de vista, se ocuparon alrededor de 250 m³/día mas de HCN para la mezcla, este producto es pobre en especificaciones, por lo que la mezcla

total se realizo disminuyendo un producto de excelente calidad como el reformato y aumentando un producto de mala calidad como el HCN.

Los cálculos realizados por la planilla a cada muestreo de datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4-6: Cálculos realizados por la planilla a cada muestreo de datos.

Hora	Calculo de especificaciones según tabla			
	NOR	RVP	Olefinas	Aromaticos
18:00	98,3	64,6	9,5	35,1
18:30	97,5	58,6	10,8	36
19:00	98,3	57	10	38
19:30	97,7	57,4	10,7	36,6
20:00	97,9	57,4	10,5	36,7
21:30	97,9	57,3	10,5	36,7
21:00	97,9	57,6	10,7	36,6
21:50	97,9	57,3	10,5	36,7

El muestreo de datos se realizo cada 30 minutos aproximadamente. A las 19:00 hrs. se aumenta el set-point del porcentaje de aromáticos a 36,4 % v/v para prevenir una disminución inminente del flujo de reformato.

La puesta en servicio del controlador, generó gran impacto tanto en los flujos como en las especificaciones, producto de la gran diferencia de flujos que existía en el momento en que se puso en servicio. Esta inercia duró aproximadamente una hora después de ponerlo en servicio.

Los análisis de laboratorio realizados, junto con los de las horas previas a la puesta en servicio, se muestran en la siguiente ilustración sacada directamente del programa que ocupa laboratorio para difundir los análisis:

Sample List							
Description	Units						
Unidad		REFORMACION	REFORMACION	REFORMACION	REFORMACION	REFORMACION	REFORMACION
Punto de Muestreo		97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO	97 Linea R METRO
Fecha		19/7/05	19/7/05	19/7/05	18/7/05	18/7/05	18/7/05
Hora		21:00	13:00	05:00	21:00	13:00	05:00
Observaciones 1							
Muestra extra							
Numero de Secuenc		430549	430522	430431	430388	430339	430256
Status		Complete NoText	Complete NoText	Incomplete NoText	Complete NoText	Complete NoText	Complete NoText
Nulo por							
Sample Arrival Time							
Benceno	% v/v	0.6	0.7	0.8	1.0	0.8	0.8
Presión de vapor	kPa	52.6	58.6	59.6	58.2	57.7	58.2
NOR		98.0	98.1	98.5	98.1	97.5	97.7
Punto inicial	°C	37			34		
10 %	°C	59			54		
30 %	°C	73			66		
50 %	°C	95			84		
70 %	°C	134			128		
90 %	°C	167			162		
95 %	°C	183			174		
Punto final	°C	207			204		
Recuperado	% v/v	98.0			98.0		
Residuo	% v/v	1.0			1.0		
Pérdida	% v/v	1.0			1.0		
Olefinas	% v/v	10.9			9.2		
Aromáticos	% v/v	37.2			37.4		
Azufre	ppm	6			5		

Figura 4-4: Análisis de laboratorio realizados y las horas de muestreo.

El programa de laboratorio permite ver los análisis realizados a las 21:00 el día 19 de Julio al igual que los de las 13:00, 05:00 del mismo día y 21:00 del 18 de julio.

Los análisis fueron similares a los entregados el día anterior, de acuerdo al objetivo planteado antes de iniciar la prueba.

El análisis del NOR dio 98 octanos, con una diferencia de 0,1 con respecto al cálculo realizado a esa hora, aunque el set-point del controlador estaba en 98 octanos.

El análisis de RVP dio 52,6 Kpa, con 5 Kpa de diferencia con respecto al cálculo. Este error es esperado teniendo como error estimado un 5,4% en los análisis previos.

El análisis de olefinas dio lo esperado, 10,9 % v/v, mostrando una diferencia de 0,2 % v/v con respecto al cálculo.

El porcentaje de aromáticos de la mezcla resultó en 37,2 % v/v, con una diferencia esperada de 0,6 % v/v.

Como análisis general, se puede decir que la optimización del flujo total se puede seguir aumentando, ya que el análisis de NOR de la mezcla así lo permite. De esta forma disminuyendo en 0,2 o 0,3 el set-point del controlador de NOR podemos aumentar en aproximadamente 100 o 200 m³/día de flujo total de 97 RM. Esta prueba no se pudo realizar por el tiempo autorizado de prueba que me dieron.

Aquí se muestra la imagen del programa PI que toma algunos datos del sistema TDC-3000 se uso solo lectura.

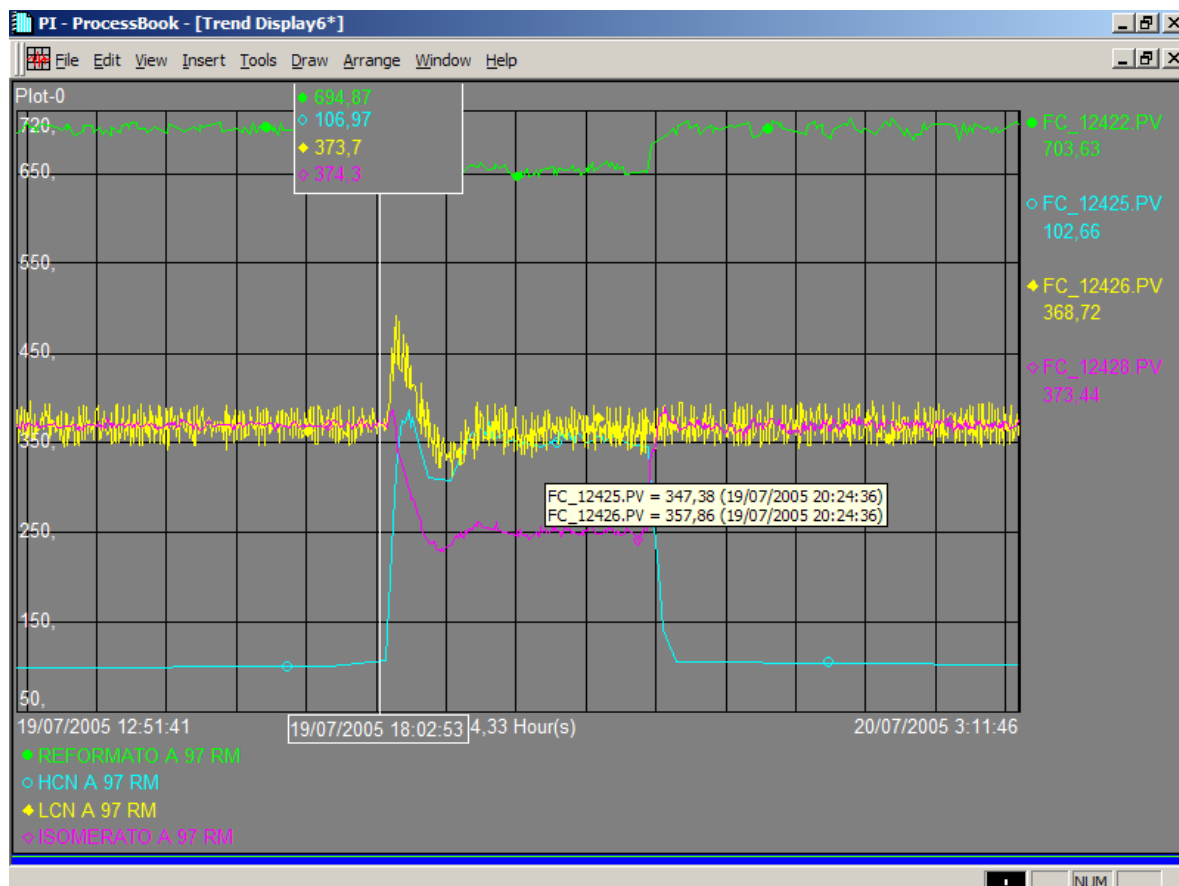


Figura 4-5: Imagen del programa PI que muestra los flujos en control.

Se puede observar la variación de los flujos controlados de HCN, LCN, reformato e isomerato. La línea vertical blanca indica la hora a la que se puso en servicio el controlador.

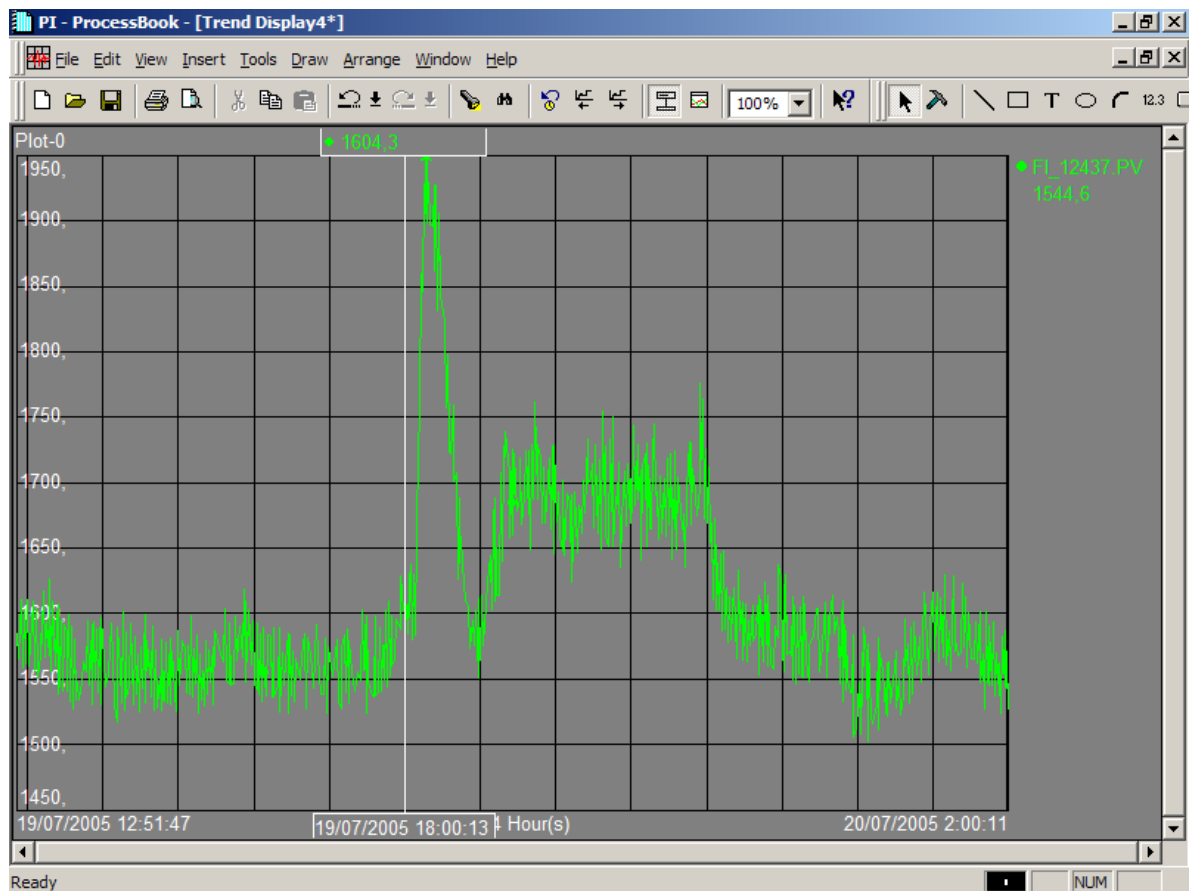


Figura 4-6: Imagen del programa PI que muestra alza de flujo total de gasolina 97 RM.

En esta imagen se muestra el alza en el flujo total de gasolina 97 RM. Este medidor de flujo censa la matriz 97 RM y tiene un error de medición con respecto a la suma de los flujos, solo se toma en cuenta para graficar el flujo en este programa, ya que ningún punto del controlador diseñado está en dicho programa.

4.3. DISCUSIÓN DE PRUEBAS

En la primera prueba realizada los resultados estudiados son muy buenos respecto al objetivo general del presente trabajo, puesto que el flujo total de gasolina 97 RM aumentó considerablemente respecto a lo que tenía. Esto generará un gran impacto económico por el significativo aumento de ganancias que se pueden tener solo por este ítem. (El presente trabajo no contempla análisis económicos, estos de igual forma se harán para presentar el trabajo realizado dentro de ENAP Refinerías Aconcagua). Además de la considerable ganancia por aumento de volúmenes, esta también el hecho de poder disminuir los márgenes de calidad que hoy en día se tienen que tomar, por el irregular comportamiento de los flujos de DIPE y alquilato, entre muestreos.

Lo negativo de la primera prueba fue el tercer análisis de NOR, después de estudiar todas las variables involucradas e incluso conversaciones con personal de laboratorio, llegué a la conclusión que existió un error experimental en el análisis, pero además de esto, debí tomar alguna previsión respecto al tema, aumentando el set-point del controlador de NOR, asumiendo que el análisis de laboratorio podía estar en parte correcto.

Sin duda, la falta de experiencia me jugó una mala pasada, pretendiendo controlar las especificaciones exactamente en los valores máximos establecidos por ley y no tomando en cuenta el error de los calculadores mas el error del controlador por efecto de la inercia de este sobre los flujos de gasolinas debido al largo camino que recorre la señal de salida antes de llegar al controlador de flujo. Es por esto que actualmente las pruebas se realizan poniendo un set-point de 97,7 en el NOR, de tal forma que un error de 0,35% en el cálculo mas un error de 0,2 por inercia del controlador en sus oscilaciones nos den como resultado un NOR de 97,2 mínimo en situaciones en que la inercia del calculador mas el error del cálculo estén presentes a la hora del muestreo. Además los aromáticos se controlan en 37 % v/v en el set-point del controlador, con un punto de diferencia por seguridad, aunque este cálculo tiene un error pequeño. Las olefinas se controlan en 11 %v/v, también con diferencia de un punto con respecto al máximo permitido y el RVP en valores mucho menores que la máxima especificación, por ser este cálculo el de mayor error. De esta forma el controlador entrega seguridad y robustez al sistema, ya que controla las especificaciones, maximiza el flujo, y además posee un margen de error que permite al operador de este, no tener que estar controlando o chequeando las variaciones minuto a minuto.

Esta experiencia ganada fue aplicada en la segunda prueba, la que dio resultados excelentes en el sentido de la exactitud de los cálculos, aunque a la hora de comparar el

flujo total, se observa una pequeña alza. Esta pequeña alza, sin duda es posible aumentarla disminuyendo en a lo menos 0,3 es set-point del NOR, esto según cálculos estimativos aumentaría el flujo total en aproximadamente 100 m³/día, lo que significa un verdadero aumento de ganancias por efecto del aumento de volumen.

CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo, se concluye que es posible automatizar el blending de gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana obteniendo una gasolina final que cumple los requerimientos legales de especificaciones.

Esto se logró creando un lazo de controladores y calculadores que limitando el ingreso de productos que afecten una u otra especificación maximiza el volumen diario de la mezcla de gasolinas y delimita la calidad de la corriente final según el usuario lo requiera. Este control permitirá disminuir la pérdida producida por regalo de calidad y aumentará las ganancias relativas al volumen total de gasolina 97 octanos para la Región Metropolitana.

El controlador fue probado en dos oportunidades ratificando el excelente desempeño de este en cuanto a la maximización del flujo y el control de especificaciones.

Se realizó un largo estudio de los cálculos empleados para la predicción de las especificaciones, basándose en este análisis se pudo demostrar la veracidad de estos para posteriormente ser empleados en el diseño de los controladores de especificaciones.

La implementación del controlador en el sistema de control distribuido ocupado en ENAP Refinerías Aconcagua, TDC-3000, fue quizás el paso de mayor complejidad, debido al desconocimiento general del sistema. Los controladores fueron creados similares a controladores existentes y los calculadores ocupando variaciones en los cálculos originales para que el sistema los admitiera. El presente trabajo no contempla la elaboración detallada de cada punto dentro del sistema TDC-3000, ya que el conocimiento público de esta información puede generar problemas dentro del sistema y de la empresa.

El lazo de control creado deja abierta la posibilidad de mejoras, como lo podrían ser en un futuro los analizadores en línea, estos podrían reemplazar a los cálculos y el control se ejercería directamente sobre la variable censada por estos instrumentos. Además se le pueden adicionar el control del porcentaje de bencenos, como el de azufre, de la misma forma que en el control del NOR y el RVP combinados.

El control diseñado es de fácil entendimiento y sencillo en su actuar, ya que limita los flujos dependiendo de que contaminante o especificación aportan a la mezcla total.

En una etapa posterior a este trabajo, se comenzará a trabajar en un controlador de similares características para la maximización de la gasolina 93 octanos para la Región Metropolitana.

El controlador creado satisface todas las necesidades y metas planteadas en los objetivos generales del presente trabajo y los objetivos personales planteados al inicio de este proyecto. Las pruebas realizadas así lo confirman y en la actualidad me encuentro paralelamente diseñando un informe para ser presentado en ENAP Refinerías Aconcagua, para su aprobación y puesta en marcha.

BIBLIOGRAFÍA

- Manual de la planta de Reformación Continua, CCR. [1]
- Manual de la planta de HDG. [2]
- Manual de la planta de DIPE, Oxypro. [3]
- Manual de la planta de Isomerización, Penex. [4]
- Manual de la planta de Alquilación. [5]
- Manual del sistema de control distribuido TDC-3000 de Honeywell.
- Análisis y Diseño de Experimentos. Gutierrez Pulido, De la Vara Salazar. Edición Mc Graw-Hill, 2003.