

**ACTUALIZACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONTROL DE LAS CORRIENTES
INTERMEDIAS DE LA GERENCIA GENERAL DE LA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA**

TANIA LIZETH SANDOVAL JOYA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**ACTUALIZACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONTROL DE LAS CORRIENTES
INTERMEDIAS DE LA GERENCIA GENERAL DE LA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA**

TANIA LIZETH SANDOVAL JOYA

Trabajo de grado en la modalidad de práctica industrial, presentado para optar al
título de Ingeniero Químico.

Director

MARIO ALVAREZ CIFUENTES.

Ingeniero Químico, PhD.

Universidad Industrial de Santander

Co-director.

DEIBY QUINTERO CEPEDA

Químico.

ECOPETROL S.A

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2010

DEDICATORIA

*A Dios por otorgarme el regalo de la vida, la salud y la fortaleza
para afrontar cada etapa.*

*A mi madre por su gran ejemplo, amor, sacrificio y apoyo
incondicional para mi formación personal y profesional.*

A mis hermanas Deisy y Angélica por su cariño y confianza.

*A mis amigos por hacerme parte de sus vidas y compartir con ellos
momentos de alegría, en especial a Andrea, Karina, Laura, Adriana,
Julieth, , Silvia, Diana, Oscar, Pedro y Fabio.*

A Diego por su amor, constante apoyo y compañía.

Tania Lizeth Sandoval Joya.

AGRADECIMIENTOS

A Ecopetrol S.A y a la Coordinación inspección de calidad de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja por la oportunidad de realizar este trabajo de grado.

A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Química por mi formación personal y profesional.

A DEIBY QUÍNTERO, químico de la Coordinación Inspección de Calidad, Codirector de este proyecto.

A DIANA GOMEZ, química de la Coordinación Inspección de Calidad, por su amistad.

Al doctor MARIO ALVAREZ por su colaboración.

A mi familia y amigos por sus orientaciones y apoyo.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	1
2. CONCEPTOS TEÓRICOS	3
2.1 Calidad.	3
2.2 Control de Calidad.....	4
2.2.1 Gráficos de control.	5
2.2.2 Variación.	5
2.2.3 Tamaño de la muestra.....	6
2.2.4 Gráficos de control por variables [1,2].....	7
3. METODOLOGÍA	11
3.1 Visita a planta: Recolección de información por unidad de proceso.....	11
3.2 Recopilación de los datos históricos para los análisis realizados a las corrientes intermedias de cada una de las unidades de proceso.	13
3.3 Análisis estadístico de datos mediante el diagrama de control.	13
3.4 Validación de los límites de control.....	15
3.5 Información en flujo para consultas.	15
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	17
4.1 Actualización de los límites de control de las corrientes intermedias.	17
4.2 Determinación de los límites de control del 90% del total de las corrientes intermedias de las unidades de proceso.	18
4.3 Registro de la información en instrumentos asequibles y visuales para el personal de la refinería.....	19
4.3.1 Registro de la información en catálogos para cada departamento.....	19
4.3.2 Registro de la información en el SILAB.....	20
4.3.1 Registro de la información en los diagramas grandes de control.	22
CONCLUSIONES	23

RECOMENDACIONES.....24
BIBLIOGRAFÍA25

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1: Información sobre algunas corrientes de la planta de UOP I.....	12
Tabla 2: Comparación de los límites de control calculados a partir de los datos actuales y los establecidos previamente.....	18
Tabla 3: Cantidad de corrientes por departamentos de la Refinería.....	19

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Ejemplo del gráfico de control.....	9
Figura 2: Diagrama de flujo de la metodología realizada para el desarrollo de este trabajo.....	11
Figura 3: Diagrama de control para el análisis de microcarbón residual de la corriente 2700-1 gasóleo salida D-2703.....	14
Figura 4: Ventana emergente del sistema de SILAB en la consulta de datos reportados.....	21

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A: FACTORES PARA LOS GRÁFICOS X,R Y X,s.....	26
ANEXO B: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL DE PROCESOS POR VARIABLES.....	28
ANEXO C: PRUEBAS DE CONTROL.....	30
ANEXO D: INFORMACIÓN SOBRE LA CORRIENTE 2700-1 GASÓLEO SALIDA DE LA PLANTA UOPI.....	31
ANEXO E: DIAGRAMA DE CONTROL DE LA U-150 DE REFINACIÓN DE CRUDOS.....	34
ANEXO F: DESCRIPCIÓN DE LA DETERMIANCIÓN ESTADÍSTICA DE LOS LÍMITES DE CONTROL PARA LOS GRÁFICOS X,R.....	37
ANEXO G: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS CORRIENTES INTERMEDIAS DE LA REFINERÍA.....	42

RESUMEN

TÍTULO: “ACTUALIZACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONTROL DE LAS CORRIENTES INTERMEDIAS DE LA GERENCIA GENERAL DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA”*

AUTOR: SANDOVAL JOYA, TANIA LIZETH.**

PALABRAS CLAVE: Calidad, control de calidad, límites de control, análisis fisicoquímicos, corriente intermedia, variable continua, diagrama de Control por variables.

CONTENIDO:

La apertura de Ecopetrol a los mercados internacionales de crudo y gas ha consolidado como en uno de los objetivos más importantes para la empresa, el aseguramiento de la calidad en todas las corrientes intermedias de las refinerías de las cuales Ecopetrol opera. En los últimos años, el crudo que se procesa en la refinería de Barrancabermeja ha presentado sustanciales cambios en cuanto sus características químicas y físicas, por lo cual se hace indispensable actualizar los límites de control para todas las corrientes involucradas en las unidades de proceso, y de esta manera asegurar la calidad de los productos.

La metodología seguida para asegurar la calidad, inició con la visita a cada una de las plantas de la Refinería de Barrancabermeja para recolectar información sobre las corrientes y los resultados de los análisis físico-químicos que se hacen a cada una de estas. Posteriormente, se realizó el análisis estadístico de cada conjunto de datos a partir de los diagramas control por variables y se definieron los límites entre los cuales el proceso puede variar para mantener las características deseadas de los productos. Se determinaron los límites de control del 90% de las corrientes involucradas en las unidades de proceso de la refinería, permitiendo actualizar los valores establecidos 10 años atrás.

Toda la información consolidada permitió implementar tres herramientas de información: Catálogos, Diagramas grandes de control y reporte en sistema en línea SILAB. Estas herramientas tienen la característica de fácil manejo y accesibilidad, y permiten transmitir los límites de control a todo el personal de la refinería de Barrancabermeja.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Directores: QUINTERO CEPEDA, Deiby (ECOPETROL S.A), ÁLVAREZ CIFUENTES, Mario (Universidad Industrial de Santander).

ABSTRACT

TITLE: "CONTROL LIMITS UPDATING OF INTERMEDIATE CURRENTS OF THE BARRANCABERMEJA'S REFINERY GENERAL MANAGEMENT DEPARTMENT"*

AUTHOR: SANDOVAL JOYA, TANIA LIZETH. **

KEYWORDS: Quality, quality control, control limits, physicochemical analysis, intermediate current, continuous variable, control per variable chart.

CONTENT:

Ecopetrol's opening to international markets of oil and gas industry has established itself as one of the most important goals for the company as well as quality assurance in all the intermediate currents of refineries in which Ecopetrol operates. In recent years, the oil that is processed at the refinery in Barrancabermeja's refinery has presented substantial changes in its chemical and physical characteristics, therefore becomes essential to update the control limits for all the involved currents in the process units, and thereby ensure the quality of the products.

The methodology followed to ensure quality, began with a visit to each one of the plants at the Barrancabermeja's Refinery to collect information on currents and the results of physical-chemical analysis done to each one of them. Subsequently, statistical analysis was conducted on each set of data from control per variable charts, and were defined the limits within which the process may vary to maintain the desired characteristics of the products. The control limits of 90% of the currents involved in the process units at the refinery were determined allowing updating the values established 10 years ago.

All the consolidated information allowed implementing three tools of information: Catalogues, large control diagrams, and online system report SILAB. These tools feature easy handling and accessibility, and allow transferring the control limits to all the personnel of the refinery in Barrancabermeja.

* Research Work.

** Physicochemical Faculty, Chemical Engineering School, Directors: QUINTERO CEPEDA, Deiby (ECOPETROL S.A), ÁLVAREZ CIFUENTES, Mario (Universidad Industrial de Santander).

1. INTRODUCCIÓN

La refinería de Barrancabermeja es un complejo industrial completo capaz de integrar diferentes procesos para obtener varias líneas de productos que satisfacen al cliente final y abarca un gran mercado. A partir de la decisión de Ecopetrol S.A en convertirse en una empresa de marca mundial capaz de competir internacionalmente, nace la necesidad de llevar, no solo un control de calidad en los productos terminados sino además en las corrientes intermedias de las unidades que permita la optimización de todos los procesos involucrados.

ECOPETROL S.A. busca el mejoramiento continuo de los procesos y por tanto la optimización de todas las herramientas utilizadas en el control de calidad de los productos, de esta manera, mantiene actualizados los catálogos, sistemas en líneas, diagramas y todos los documentos que presenten información sobre calidad. En consecuencia, es fundamental actualizar los límites de control debido al cambio que han presentado los crudos explotados en los últimos años, modificándose así la reserva de la refinería y por ende las cargas de entrada o materia prima de las unidades de proceso en las que se inicia todo el complejo industrial. Esta actualización permitirá ejercer un verdadero control de calidad sobre cada una de las corrientes. Al mismo tiempo, se debe ampliar la información de manera tal que se registren rangos de control para todas ellas.

Entonces, la Coordinación Inspección de Calidad tiene como función realizar los análisis correspondientes a cada una de las corrientes que interviene en una unidad de proceso para lograr su caracterización y reportar los resultados obtenidos a través del sistema en línea denominado SILAB para su posterior consulta por operadores e ingenieros en planta. De igual forma, adjunta al sistema algunos límites de control establecidos 10 años atrás como producto del diseño con el fin de ejercer un control sobre las corrientes.

El objetivo principal de este trabajo es utilizar la estadística para determinar y actualizar los límites de control de los análisis realizados a todas las corrientes involucradas en las unidades de proceso de la Refinería de Barrancabermeja y consolidar dicha información en herramientas eficientes y asequibles al personal.

Finalmente, este proyecto permitió establecer los límites de control de más del 90 % de las corrientes que intervienen en cada una de las unidades de proceso de la Refinería y presentar esta información en tres herramientas diferentes: SILAB, catálogos y Diagramas Grandes de Control (DGC). Además permitió evidenciar la necesidad de crear un programa en línea que permita, a todo el personal, la consulta de los datos reportados por la Coordinación Inspección de Calidad de forma gráfica y que desde la planta se pueda calcular los rangos anualmente o cuando se presente cambios operacionales y/o en las composiciones de las corrientes de entrada a la unidad.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS

A continuación se dan algunos conceptos sobre calidad y se describen los métodos estadísticos para la determinación de los límites de control de las corrientes.

2.1 Calidad.

Para ECOPETROL S.A, la calidad se define como el grado de satisfacción que ofrece las características de un producto al cliente final, es decir, el cumplimiento de las especificaciones hechas por el mercado o cliente teniendo en cuenta el costo del mismo.

Con el aumento de la competencia a nivel mundial, el control y aseguramiento de la calidad se convierte en el objetivo más importante de ECOPETROL S.A, ya que a mayor conformidad con los productos ofrecidos se obtiene un incremento de las utilidades, al evitar costes cuantiosos por reproceso, y finalmente amplía la competitividad.

En este complejo industrial, la calidad no sólo puede referirse al control final del producto, en donde se desechan aquellos que no cumplen con la especificación dada, y tampoco se puede limitar a la inspección de materia prima o corriente de entrada que se quiere transformar. La necesidad de asegurarla constantemente en los productos para satisfacer un cliente final innovó el término pasando de la etapa de inspección a calidad total.

En el caso de la Refinería de Barrancabermeja, el control de las corrientes no sólo está orientado a la satisfacción final de los clientes, sino además cumplir con las características establecidas para el buen funcionamiento de los equipos y el

cuidado del medio ambiente, por tanto, tienen también atención aquellas corrientes que son de desecho o intervienen en algún equipo para permitir finalmente que el proceso se lleve a cabo, por ejemplo, el agua utilizada en las calderas para la producción de vapor.

Por último, es importante resaltar que para alcanzar la calidad total de un proceso se debe realizar un estudio basado en hechos que permita el análisis de datos con herramientas estadísticas que proporcionen el seguimiento de un proceso sistemático y así estandarizar las soluciones a los problemas encontrados[1].

2.2 Control de Calidad.

Se refiere a todos aquellos instrumentos implementados por la refinería que permiten el cumplimiento de las características deseadas de los productos [3]. La importancia de su aplicación radica en el control durante el proceso, de manera que impida la corrección de los productos defectuosos después de haberlos elaborados.

Una etapa importante en el control de la calidad es ejercida por la estadística. A través del tiempo y a partir de investigaciones se han establecido varias herramientas para localizar las causas de producción defectuosa y determinar la posibilidad para mejorar la calidad.

Los métodos estadísticos utilizados en el control de calidad son [1, 2,3]:

- Distribución de frecuencias.
- Gráficos de control.
- Métodos especiales
- Tablas de muestreo.

A partir de los métodos mencionados surgen siete herramientas básicas de estadística:

- Hoja de Control.
- Histograma.
- Diagrama de Pareto.
- Diagrama causa efecto.
- Análisis por estratificación.
- Diagrama de dispersión.
- Diagrama de Control.

La herramienta estadística básica utilizada para el control de las corrientes de las unidades de proceso de la Refinería de Barrancabermeja son los gráficos de control. A continuación se exponen los conceptos principales de esta

2.2.1 Gráficos de control.

La herramienta que más facilita el control de procesos son los gráficos de control, por tanto es la herramienta estadística más utilizada. Para aplicar los gráficos de control es fundamental conocer los principios de ésta.

Una carta de control es un gráfico que representa el seguimiento de una característica del proceso a estudiar [4], con límites de control estadísticamente determinados y denominados Límite de Control Inferior (LIC) y Límite de Control Superior (LCS). Además, se clasifica en Diagrama de Control de variables, si la variable a controlar es continua y medible, y Diagrama de Control por Atributos si la variable es cualitativa

2.2.2 Variación.

Un proceso está dentro de control estadístico cuando sufre pequeñas oscilaciones debidas al azar, son incontrolables e inherentes al diseño del proceso, estas variaciones se denominan aleatorias. Igualmente existen variaciones por causas asignables relacionadas con los operarios, máquinas o materiales que, al contrario de las aleatorias, causan la pérdida del control.

El objetivo principal de ECOEPTROL S.A al ejercer control de la calidad en los procesos, es la reducción de la variabilidad, y es allí donde tienen gran importancia los gráficos de control. Si un proceso está descontrolado, las condiciones de este se alteran y una parte significativa de la producción no cumple con las especificaciones. Entonces estos diagramas tienen como función detectar la aparición de la causa asignable en el tiempo más corto posible, identificarla y tomar las acciones correctivas para evitar la fabricación de gran cantidad de productos defectuosos.

Esta herramienta reduce los productos no conformes, disminuye el costo y aumenta la productividad. Además, ayuda a mantener el proceso previniendo la disconformidad causada por una producción obtenida a partir de la corrección de malos productos. Los gráficos de control también evitan hacer ajustes innecesarios cuando erróneamente consideran anormal una variación solo en base a pruebas periódicas sin relacionarlas a los gráficos de control [2].

Y por último, el uso de éstas gráficas se relaciona con los cálculos de las capacidades de proceso ya que dan información de los parámetros más importantes de éste y su estabilidad a través del tiempo. La capacidad de procesos permite a la refinería de Barrancabermeja, mejorar al conocer si un proceso, es capaz de elaborar los productos con las características indicadas, si está a punto de perder dicha capacidad o definitivamente no es capaz con el objetivo trazado.

2.2.3 Tamaño de la muestra.

Es un conjunto de elementos de una población que brinda información representativa de la misma. El tamaño es el número de observaciones realizadas por muestra. Para los gráficos de control por variables el tamaño de la muestra frecuentemente oscila entre 4 a 6, siendo 5 el valor más utilizado. Sin embargo, la selección de estos parámetros se basa en el concepto de subgrupamiento

racional, el cual consiste en escoger los elementos dentro de la población de tal manera que se recojan los cambios debido a causas internas y externas.

2.2.4 Gráficos de control por variables [1,2]

Se utiliza cuando las características de calidad son continuas y se pueden expresar como medias aritméticas. Los principales factores que se observan en este tipo de gráficos de control son la dispersión y la tendencia central. No es posible analizar la tendencia central si antes no se observa la dispersión.

Existen cuatro tipos diferentes de gráficos de control por variables:

- Gráfico de medias y rangos. (X y R)
- Gráfico de lecturas individuales.
- Gráfico de medias y desviación estándar. (X y S)
- Gráfico de medianas y rangos.

Los gráficos más recomendados son los pares X y R o X y S.

El gráfico de control X y S, es mucho más preciso que un X y R sobre todo cuando los tamaños de los subgrupos son mayores a 10 o no son iguales, sin embargo, solo se hará mención al gráfico de tipo X y R que fue implementado para el desarrollo del trabajo.

2.2.4.1 Gráficos de medias y rangos, X y R

Gráficos de medias y rangos con μ y σ desconocidas.

Para una muestra de tamaño n, la media se calcula: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ (1)

De acuerdo con el teorema de límite central, \bar{X} tiene una distribución normal, con una media μ y una desviación estándar σ/\sqrt{n} . Aún cuando la característica de calidad estudiada no tengan una distribución normal, si n es grande, las medias muestrales tienden a serlo.

Se escogen k subgrupos con los datos obtenidos en orden cronológico. Los subgrupos formados se hacen bajo el concepto de subagrupamiento racional, es decir, se deben formar de manera tal que si las causas asignables están presentes, haya la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo.

Se recomienda tomar por lo general entre 20 y 25 subgrupos con un tamaño que varía de 2 a 10 observaciones siendo 5 el número común más utilizado.

Se calcula la media de cada subgrupo \bar{X}_i :
$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

j = Medición 1, 2,3....10; i = Subgrupo 1, 2,3....25;

n = Cantidad de mediciones por subgrupo.

Se determina un estimado de μ , hallando el promedio de los subgrupos.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i \quad (3)$$

i = Subgrupo 1, 2,3....25; k= Cantidad de subgrupos.

El intervalo o recorrido está dado por: $R_i = Máximo - Mínimo \quad (4)$

Se calcula el promedio de los rangos de los subgrupos.

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad (5) \quad k = \text{cantidad de Subgrupos.}$$

Finalmente, los límites de control para la gráfica X se escriben como:

$$\text{Límite de control Superior: } LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad (6)$$

$$\text{Línea central: } LC_{\bar{X}} = \bar{X} \quad (7)$$

$$\text{Límite de control Inferior: } LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (8)$$

Para la gráfica R, los límites de control están dados por:

$$\text{Límite de control Superior: } LSC_R = \bar{R} D_4 \quad (9)$$

$$\text{Línea central: } LSC_R = \bar{R} \quad (10)$$

$$\text{Límite de control Inferior: } LIC_R = \bar{R} D_3 \quad (11)$$

A_2 , D_4 y D_3 , son tabulados en el anexo A.

A continuación se procede a graficar la media de cada subgrupo y los límites de control calculados:

Figura 1: Ejemplo del gráfico de control por variables.



Fuente: Autor

Para determinar correctamente los límites de control se deben eliminar los puntos que estén por fuera de estos y calcularlos de nuevo. Con estos límites ya se puede ejercer el control del proceso y tener alarmas tempranas cuando un dato esté por fuera de ellos, permitiendo buscar y corregir el problema.

Finalmente el diagrama de flujo a seguir en la realización de los diagramas de control se puede ver en el anexo B.

Así mismo se puede obtener información acerca de la pérdida de control del proceso, siempre y cuando el diagrama se realice periódicamente y se tengan en cuenta las siguientes observaciones gráficas (ver anexo C).

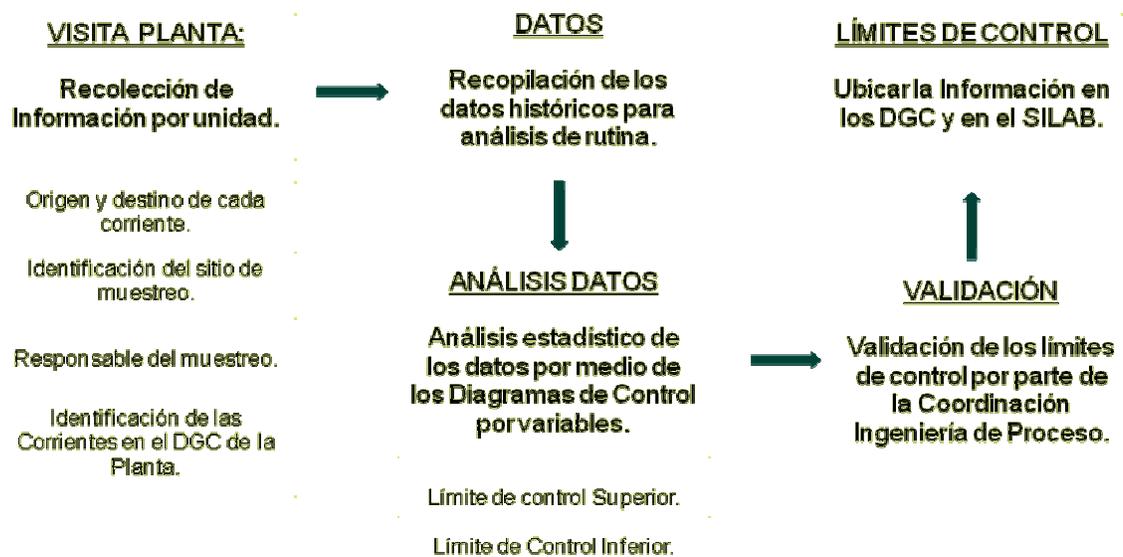
- Dos de tres puntos consecutivos caen a un mismo lado de la línea central de la zona A o más allá.
- Cuatro de cinco puntos consecutivos caen a un mismo lado de la línea central en la zona B o más allá.
- Nueve puntos consecutivos caen a un lado de la línea central.
- Seis puntos consecutivos ascendiendo o descendiendo.
- Catorce puntos consecutivos ascendiendo y descendiendo alternativamente.
- Quince puntos consecutivos dentro de la zona C (arriba y debajo de la línea central).

Los límites de control no se deben confundir con las especificaciones ya que estos últimos están basados en los requerimientos del producto y los primeros sólo permiten controlar el proceso para reducir la variación que más adelante permitirá cumplir con los parámetros requeridos.

3. METODOLOGÍA

En la figura 2 que expone la metodología desarrollada para determinar los límites de control de las corrientes de cada unidad de proceso y la recopilación de información para el seguimiento y aseguramiento de la calidad.

Figura 2: Diagrama de la metodología realizada para el desarrollo del trabajo.



Fuente: Autor

3.1 Visita a planta: Recolección de información por unidad de proceso.

Se realizó la visita a cada una de las unidades de proceso según su distribución por departamentos de la Gerencia General de Refinería de Barrancabermeja. En la visita guiada por operadores asignados por planta se observaron las diferentes etapas del proceso. A partir de ésta, se obtuvo información del origen y destino de cada corriente involucrada en la unidad y la identificación de todos los puntos de muestreo de las corrientes que son llevadas de rutina al laboratorio, dicha

identificación se asoció a las líneas de toma-muestra o al instrumento de control más cercano (Ver anexo D y G).

Como información adicional para asegurar el proceso de calidad se indicó el responsable de tomar la muestra de cada corriente específica, debido a que la mayoría de unidades están divididas por patios y se tiene un operador de turno encargado de cada uno de ellos. Igualmente se contó con la ayuda de los operadores para identificar las corrientes observadas en un diagrama de proceso denominado Diagrama Grande de Control DGC. A continuación se presenta en la tabla 1, un ejemplo de la información obtenida de las corrientes de la planta UOP I:

Tabla 1: Información sobre algunas corrientes de la planta de UOP I.

CORRIENTE	ORIGEN	DESTINO	SITIO MUESTREO	RESPONSABLE
2700-1 GASÓLEO SALIDA D-2703 (Carga Combinada)	Casa Bombas Ay B	R-2701	Salida D-2703	Técnico patio de FCC
2700-10 GASES DE COMBUSTIÓN	R-2702	Atmósfera	Torre Silenciadora	
2700-12 CATALIZADOR REGENERADO UBAL	R-2702	R-2701	Bajante Catalizador Regenerado.	
2700-15 AGUA CALDERA	Planta eléctrica	D-2708	D-2708	
2700-7 SLURRY FT-2701 BALANCE	Fondo T- 2701	VBR II, K- 2804.	Descarga P-2703	
2700-5 ACEITE LIVIANO DE CICLO T-2701	T-2702	K-2704/K- 2705.	Salida E-2710, FIC 27017.	

Fuente: Autor

3.2 Recopilación de los datos históricos para los análisis realizados a las corrientes intermedias de cada una de las unidades de proceso.

La Coordinación Inspección de calidad pacta un acuerdo de servicios con las plantas sobre los análisis que deben realizarse a cada una de las corrientes de la refinería, indicando la periodicidad del análisis de las mismas. De este acuerdo se obtiene el Programa de Análisis por planta.

A partir de la revisión del programa de análisis por planta se descargan los datos históricamente reportados en el SILAB para cada corriente. Por último, se consultan los límites de control previamente establecidos en el sistema y/o por los planes de calidad en los que involucran algunas corrientes intermedias.

Los datos que se obtienen de SILAB, vienen tabulados en tablas de Excel y son descargados por el nombre exacto de la corriente. Dicha tabla aparece la fecha y hora del reporte del dato, así como los resultados de cada uno de los análisis realizados.

3.3 Análisis estadístico de datos mediante el diagrama de control.

Para definir el diagrama de control que permitirá determinar los límites de las corrientes de las unidades es importante resaltar que el proceso se lleva en forma continua y las características más críticas de cada corriente son cuantitativas, por tanto se puede medir continuamente la variable que se quiere controlar.

Debido a lo expuesto en el párrafo anterior se determinaron los límites de control a partir de los gráficos X-R. Estos valores no sólo brindan información a las personas encargadas de la ingeniería de las unidades sino además al operador que está en constante contacto con esta. Los operadores de planta tienden a manejar mejor el concepto de promedio, es decir, se enfocan más en el dato promedio que debe dar el análisis y no por las desviaciones u otros parámetros estadísticos, por tanto el gráfico X-R brinda más información al personal en

plantas. Como se mencionó en el marco teórico para el gráfico X-R, los límites superior e inferior están representados por encima y por debajo respectivamente de la media de los datos, convirtiéndose ésta en la línea central del proceso.

Antes de realizar los gráficos de control se analizó que todos los datos tuviesen una tendencia definida y se eliminó cualquier dato extremo que estuviera totalmente por fuera de la tendencia utilizando la norma ASTM E- 178 – 08 Standard Practice for Dealing With outlying Observations.

A continuación se presenta el gráfico de la corriente intermedia 2700-1 GASÓLEO SALIDA D-2703 de la planta de cracking UOPI:

Figura 3: Diagrama de control para el análisis de micro-carbón residual de la corriente 2700-1 gasóleo salida D-270.

Gráfico de control X:

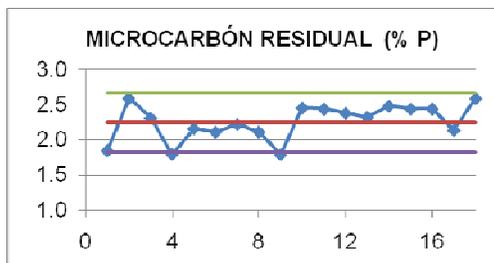
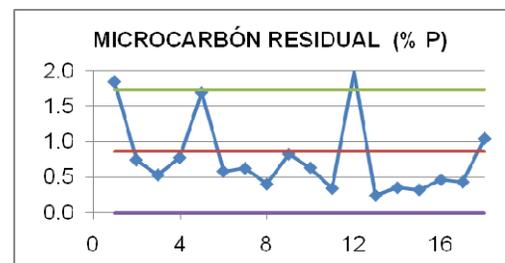


Gráfico de control R:



Adicionalmente se tuvo en cuenta los límites de control inferior que toman el valor de cero, por ejemplo, la cantidad de azufre en una corriente de gasóleo como carga combinada de entrada debe ser ≤ 1.8 ppm siendo cero el valor óptimo. No obstante, no se puede reportar valores en cero porque los métodos analíticos utilizados tienen límites de detección. Estos últimos hace referencia al valor mínimo a partir del cual se puede detectar una característica de la sustancia evaluada. Entonces, reportar valores inferiores a los mínimos de detección es un error y puede llevar a conclusiones incorrectas.

De acuerdo a lo anterior, se revisaron todos los límites de detección de cada uno de los métodos analíticos utilizados en la Coordinación Inspección de calidad y posteriormente se modificaron los límites de control con valores en cero .Toda esta información fue anexada al catálogo y diferenciada para la comprensión de la misma. (Ver anexo D).

Para algunos métodos de ensayo fue imposible determinar el valor de detección aún así, lo importante es evitar que se reporten datos en cero y se decidió establecer como límite de control inferior al menor valor reportado en el histórico.

3.4 Validación de los límites de control.

La Coordinación Ingeniería de Proceso brinda apoyo técnico a cada una de las unidades, por tanto, toda la información recolectada se llevó a revisión con el Ingeniero de la planta correspondiente. Los datos validados por esta coordinación están resaltados en el catálogo (se diferencia con color rojo) y en algunos casos fueron modificados de acuerdo a condiciones de operación, cuidado de equipos y medio ambiente, dónde se debe cumplir el valor óptimo establecido a partir del análisis de ingeniería.

Para las corrientes menos críticas no se logró la revisión por parte del Ingeniero de Procesos, por ende, los datos son netamente obtenidos de los gráficos de control sin modificaciones y se resaltan en color negro para diferenciarlos.

3.5 Información en flujo para consultas.

Después de recolectar gran cantidad de información sobre las corrientes que intervienen en el proceso, lo más importante es saber registrarla y transmitirla de

tal manera que todo el personal de la Refinería de Barrancabermeja pueda consultarla y entenderla.

Las tres herramientas básicas que tiene la Refinería de Barrancabermeja para hacer el registro de los valores obtenidos como límites de control son:

- Catálogo de límites de control de las corrientes intermedias de la GRB.
- Sistema en línea SILAB.
- Diagramas grandes de control.

3.5.1 Catálogo de los límites de control de las corrientes de la GRB.

Originalmente la coordinación inspección de calidad contaba con un catálogo denominado “catálogo de límites de control de las corrientes de la GRB”, realizado 10 años atrás. Entonces, la información obtenida a partir de este trabajo se registró en un catálogo para ser consultado por el equipo de esta coordinación. Conjuntamente, se elaboraron catálogos para todos los departamentos de la Refinería que contenían una breve descripción de los procesos de cada planta, los valores de los límites de control expresados en tablas y los gráficos de control de los análisis más críticos de las corrientes.

3.5.2 Diagramas grandes de control.

Los diagramas grandes de control (DGC) son diagramas de procesos de las unidades de cada una de las plantas y están ubicados en el cuarto de control. Este diagrama, además de mostrar la secuencia lógica de pasos de un proceso, anexa el número de identificación de cada uno de los equipos utilizados en la planta, las válvulas y los indicadores de presión, temperatura, nivel, etc.

Durante las visitas a planta se observó que estos diagramas eran la herramienta visual más utilizada por el personal para realizar sus labores cotidianas, partiendo de esta idea se decidió plasmar sobre ellos los límites de control de las corrientes más críticas involucradas en las diferentes unidades de proceso. En primer lugar se identificaba la corriente con un número y en una tabla en el extremo inferior del diagrama se señalaban los límites para cada análisis fisicoquímico con las unidades correspondientes.

En el anexo E se presenta una sección del diagrama de control de la unidad U-150 de refinación de crudos, donde se observan la corriente identificada y con la información de los límites de control de la corriente más crítica.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Actualización de los límites de control de las corrientes intermedias.

Los límites obtenidos a partir de los gráficos de control realizado para las corrientes intermedias de las unidades de proceso permitieron actualizar todos los límites reportados por SILAB desde hace varios años. Debido al cambio en las cargas de entrada y por ende las corrientes de salida de una unidad de proceso a otra, los valores típicos de la analítica correspondiente a cada corriente han cambiado, y es necesario que se ajuste a los datos recientes.

Una de las plantas a las cuales se actualizaron de manera drástica los límites de control son las plantas de crackeo catalítico, ya que a ellas llegan las diferentes cargas de mezclas de crudo y son estas mezclas las que han venido variando en los últimos años. La diferencia entre los límites que existía y los límites calculados resalta la importancia de mantener actualizada la información en línea y de tener en cuenta los cambios que presenta las materias primas o corrientes de entrada a través del tiempo.

A continuación se comparan los límites para los metales presentes en la carga a las unidades de la Planta de UOP I de crackeo catalítico con los valores determinados a partir de este trabajo:

Tabla 2: Comparación de los límites de control calculados a partir de datos actuales con los establecidos previamente.

Corriente	Análisis	Parámetro	Límite antiguo	Límite calculado	Unidades
2700-1 Gasóleo salida D-2703 (Carga Combinada)	ASTM D 5002 API-Densímetro digital.	API	20-22	19-23	Grados API
	ASTM D 4530 Micro-carbón Residual	Micro-carbón	1-2	1.5-2.5	% Peso
	ASTM D 6352 Rango de Ebullición.	Punto Inicial de Ebullición.	450-500	300-430	°F
2700-12 Catalizador regenerado Ubal.	ASTM D 1977 Ni, V en catalizador (A.A)	Níquel	1500-2000	1500-4500	mg/Kg
		Vanadio	2500-3500	2500-5500	mg/Kg
		Sodio	2500-3000	2500-4000	mg/Kg

Fuente: Autor

4.2 Determinación de los límites de control del 90% del total de las corrientes intermedias de las unidades de proceso.

Cómo se mencionó en el capítulo anterior, los límites de control definidos y reportados en línea hasta el momento de iniciar el trabajo representaban solo el 30 % del total de las corrientes intermedias de todas las unidades de proceso y en su mayoría son corrientes de productos finales.

En la tabla 3 se presenta información sobre la cantidad de corrientes intermedias de la Refinería con los límites de control determinados a partir de este trabajo.

Tabla 3: Cantidad de corrientes por departamentos de la Refinería.

Departamento	N° de plantas	N° de Unidades	N° de Corrientes	Corrientes con límites de control.
Refinación de Fondos.	4	4	36	30
Cracking I.	2	7	49	45
Cracking II.	2	10	65	60
CRACKING III	2	4	60	55
Refinación de crudos.	7	7	83	75
Petroquímica.	2	7	40	40
Parafinas y fenol.	1	7	53	45
Gestión integral del riesgo.	1	1	12	12
Servicios industriales balance.	3	3	29	25
Servicios industriales refinería.	2	10	60	55
TOTAL			487	442

Fuente: Autor.

Como se mencionó en capítulos anteriores, cada corriente tiene designado un determinado número de análisis físico-químicos para su posterior caracterización. La tabla 3 muestra que se estableció límite de control, por lo menos de un análisis físico-químico, al 90% de las corrientes intermedias de la refinería pertenecientes al programa de análisis de control de calidad. Además, el 50% de los límites de control determinados fueron validados y corregidos por la Coordinación de Ingeniería de Procesos.

4.3 Registro de la información en instrumentos asequibles y visuales para el personal de la refinería.

4.3.1 Registro de la información en catálogos para cada departamento.

Se logró recopilar gran cantidad de información sobre las corrientes de las unidades de cada una de las plantas, de manera tal que permite identificar

fácilmente las corrientes. El catálogo está dirigido a los departamentos y se especifican las plantas y unidades que pertenecen a cada uno. Al inicio se resalta una breve descripción de la unidad y a continuación en forma de tablas se presenta toda la información. Finalmente se anexan los gráficos de control de cada una de las corrientes.

La información en las tablas está diferenciada por colores, lo que permite al personal conocer la procedencia de cada uno de los datos consultados, además, al ser representados por medio de gráficos permite un análisis más rápido de los mismos. En resume, los catálogos elaborados presentan mucha más información que el catálogo inicial y la transmite de una forma más práctica.

La adición de los límites de detección de los métodos analíticos utilizados para identificación y caracterización de las corrientes es una información valiosa, ya que, por más exacto que un método sea siempre tendrá un mínimo valor a partir del cual sus resultados serán válidos. De esta manera se garantiza el cumplimiento de las normas, la estandarización del reporte de los datos y la validez de la información reportada.

4.3.2 Registro de la información en el SILAB.

La Coordinación Inspección de Calidad facilita y registra la información en línea por medio de SILAB, programa que reporta los datos y además los límites de control u observaciones. Este sistema puede ser consultado por todo el personal de la Refinería tan solo con tener el nombre de la corriente para la cual quiere información. Este programa reporta el dato en rojo en caso de no cumplir con el límite previamente establecidos. Aunque el programa ya tenía registrado límites de control para varias corrientes, no llegaba más de 30%. Este trabajo permitió determinar los límites de control de casi el 90% de las corrientes de todas las unidades de proceso que conforman la Refinería de Barrancabermeja. Ver anexo D.

Al momento de finalizar el trabajo se logró registrar en línea tan solo el 10% de la información recopilada sobre los límites de control. Sin embargo es un gran avance, ya que permite al operador observar alarmas cuando el dato reportado sobre los análisis de caracterización se encuentre por fuera de los límites de control establecidos.

En la figura 4 se observa cómo los datos son resaltados en rojo si el valor reportado no coincide con los límites establecidos, además, existe una sección en la cual se muestra el límite de control que corresponde para dicho análisis.

Figura 4: Ventana emergente del sistema SILAB en la consulta de datos reportados.

Registros encontrados : 9

Componente	Resultado	Unidad	Límites	Ingresado en	Ingresado por	Observaciones	Límites
MICROCARBON RESIDUAL	0.62	g/100g	N/A	19/05/2009 09:26:25 a.m.	E0224144		
AZUFRE	0.86	g/100g	OUT	19/05/2009 06:49:11 a.m.	E0224144		AZUFRE ≤0.7
AZUFRE EN PPM	8647	mg/kg	N/A	19/05/2009 06:49:12 a.m.	E0224144		Texto
NIQUEL	2.929	mg/kg	N/A	20/05/2009 04:06:40 p.m.	E0224145		
VANADIO	5.357	mg/kg	N/A	20/05/2009 04:06:40 p.m.	E0224145		
HIERRO	0.894	mg/kg	N/A	20/05/2009 04:06:40 p.m.	E0224145		
SODIO	0.425	mg/kg	N/A	20/05/2009 04:06:40 p.m.	E0224145		
GRAVEDAD API	23.2	Grados API	IN	19/05/2009 06:49:25 a.m.	E0201586		
DENSIDAD A 15 °C	913.90	kg/m3	N/A	19/05/2009 06:49:25 a.m.	E0201586		

Por último, la adición de los límites de detección de los métodos utilizados para analizar las corrientes permitió observar la necesidad de realizar un cambio en el sistema. Este cambio está relacionado con el reporte de valores en cero cuando el método de ensayo no lo permita, ya que para valores inferiores a los límites de detección deberían aparecer mensajes, como por ejemplo: “NO DETECTABLE”. Y así garantizar la validez de la información reportada.

4.3.1 Registro de la información en los diagramas grandes de control.

Los diagramas grandes de control, al estar a la vista constante del personal, se convierte en una gran herramienta visual para presentar información a cerca de la calidad de las corrientes que ha diario tienen que revisar.

En la mayoría de los seres humanos, la adquisición de conocimientos se logra a través de medios visuales, por tanto, se busca implementar herramientas que sigan esta dirección. Estos gráficos grandes son una forma de seguir transmitiendo la información y aportar a la capacitación de personal, especialmente del nuevo.

Un ejemplo de los diagramas de control se presenta el anexo E, allí se identifica cada corriente y los límites de control de las más críticas.

CONCLUSIONES

Se determinaron los límites de control al 90% de las corrientes intermedias de las unidades de proceso de la Refinería de Barrancabermeja, permitiendo actualizar los límites de control establecidos 10 años atrás.

Se recopiló información sobre los puntos de muestreo de cada una de las corrientes pertenecientes al programa de análisis de la “Coordinación de inspección de calidad”, para facilitar la identificación de éstos en futuros proyectos relacionados con temas del muestreo y muestras representativas.

A partir de toda la información consolidada, se logró implementar tres herramientas de control: catálogos, Reporte en línea (SILAB) y Diagramas Grandes de Control. Estas herramientas tienen como característica el fácil manejo y accesibilidad para el personal de la Refinería de Barrancabermeja.

RECOMENDACIONES

Actualizar anualmente los límites de control para la analítica de las corrientes intermedias de GRB teniendo en cuenta la variabilidad de las cargas de crudo.

Implementar herramientas para consultar en línea los diagramas de control de las corrientes críticas de las unidades de proceso de la GRB o por lo menos que el reporte de los datos se realice de forma visual cuyo gráfico recopile los valores reportados para los últimos 15 días.

Difundir la información recopilada a los Ingenieros de Proceso y Operadores de Planta para obtener mayor provecho de la data obtenida de los análisis del laboratorio.

Adecuar el SILAB para reporte de datos inferiores al límite de detección permitido por los métodos de ensayo utilizados en la analítica del laboratorio de la GRB para advertir los casos en los cuales el método no aplica o la sustancia que se quiere analizar en la corriente no es detectable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BANKS, Jerry. Control de calidad. 1 ed. México D.F.: Limusa, 2005. 211-240 p.
- [2] ESCALANTE, Edgardo. Seis Sigma: Metodologías y técnicas. 1 ed. México, D.F.: Limusa, 2006. 194-200 p.
- [3] FIGENBAUM, A. Control total de la calidad: Ingeniería y administración. 1 ed. México, D.F.: Continental, 1963. 290-320 p
- [4] ECOPETROL, Refinería Gerencia Complejo Barrancabermeja, Proceso de mejoramiento continuo: Herramientas básicas de la calidad. (Rev. 2000).
- [5] Norma ASTM E-178 08 “Standard Practice for Dealing With Outlying observations”, Quality and Statistics, ASTM, United States, 2008.
- [6] Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad. FUNDIBEQ. Diagrama de control por variables. [Citado Noviembre, 2009] Disponible en internet:http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/graficos_de_control_por_variables.pdf.

ANEXO A: FACTORES PARA LOS GRÁFICOS X,R Y X,s.

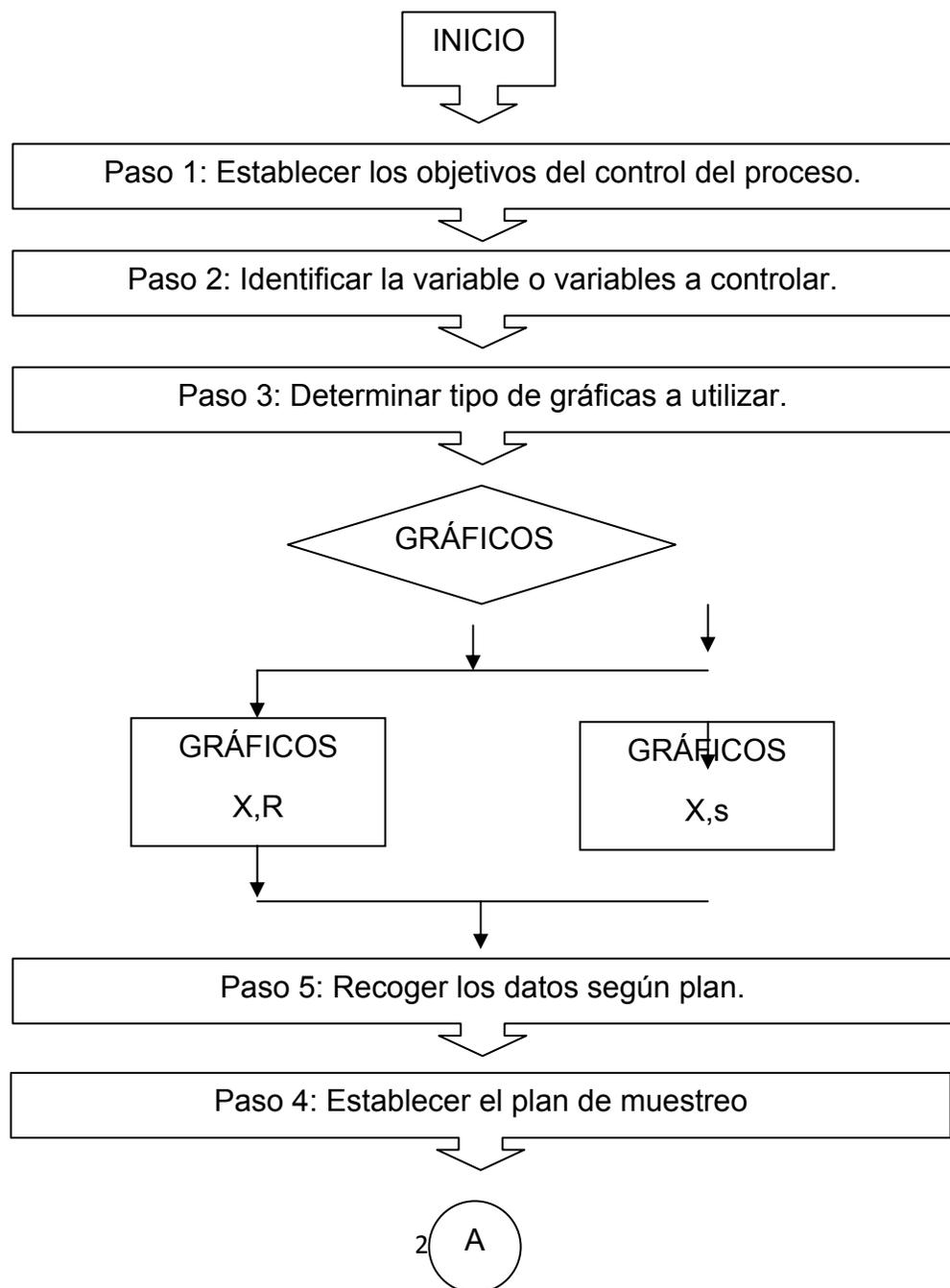
Tabla 1: Coeficientes para el gráfico de control X,R.

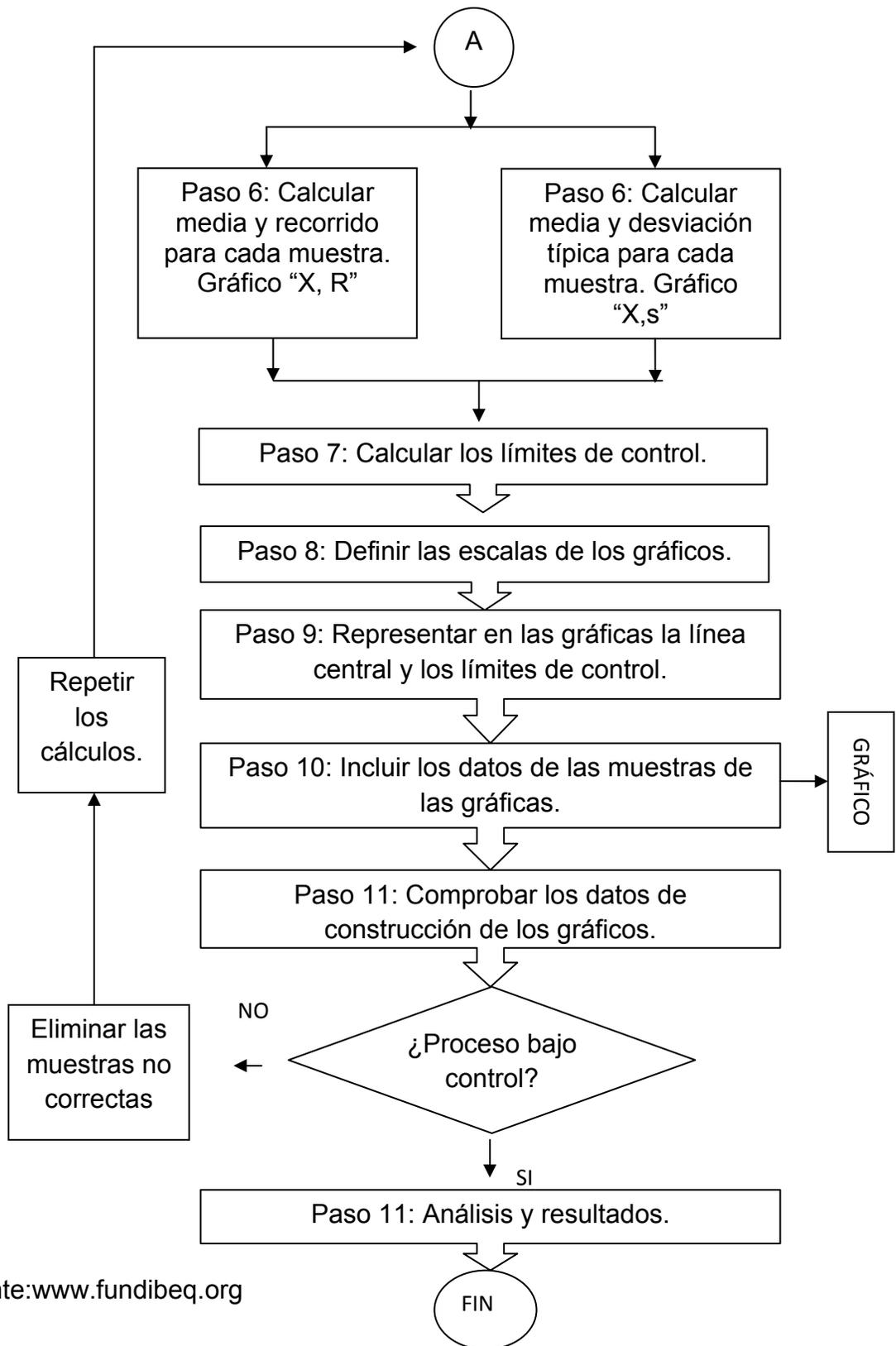
n	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.575	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.717	3.078

Tabla 2: Coeficientes para el gráfico de control X,s.

n	A ₃	B ₃	B ₄	C ₄
2	2.659	0	3.267	0.7979
3	1.954	0	2.568	0.8862
4	1.628	0	2.266	0.9213
5	1.427	0	2.089	0.9400
6	1.287	0.030	1.970	0.9515
7	1.182	0.118	1.882	0.9594
8	1.099	0.185	1.815	0.9650
9	1.032	0.239	1.761	0.9693
10	0.975	0.284	1.716	0.9727

ANEXO B: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL DE PROCESOS POR VARIABLES.





Fuente: www.fundibeq.org

ANEXO C: PRUEBAS DE CONTROL

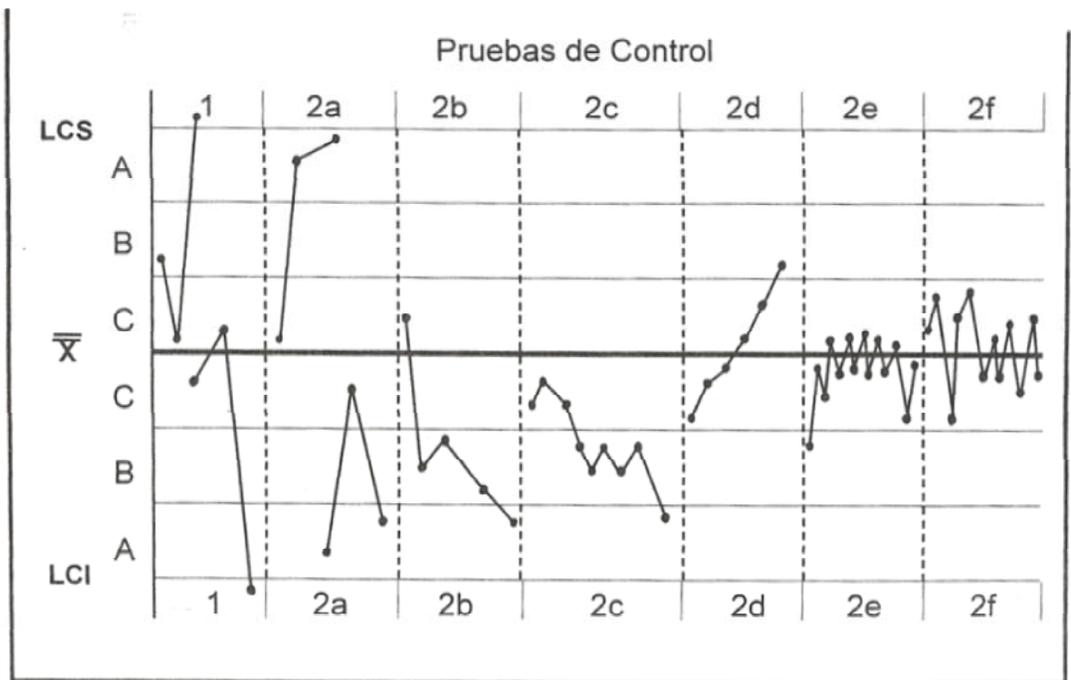


Figura 1: Gráfico sobre pruebas de control.

**ANEXO D: INFORMACIÓN SOBRE LA CORRIENTE 2700-1 GASÓLEO SALID
DE LA PLANTA DE UOP I.**

N°	Corriente	Origen	Destino	Sitio muestreo	Responsable	Análisis	Parámetro	Límite Inferior	Límite Superior	Unidades
1	2700-1 GASÓLEO SALIDA D- 2703 (Carga Combinada)	Casa Bombas Ay B	R-2701	Salida D-2703	Técnico patio de FCC	ASTM D5002 API- DENSIMETRO DIGITAL	API	19	23	Grados API
						ASTM D 4294 AZUFRE	Azufre	0.015	<=1	g/100g
						ASTM D 4530 MICROCARBON RESIDUAL	Carbón.	1.5	2.5	g/100g
						ASTM D 5708 METALES POR PLASMA	NIQUEL	0.4	3.5	mg/Kg
							SODIO	0.01	6	mg/Kg
							VANADIO	0.7	4.5	mg/Kg
							HIERRO	0.01	3	mg/Kg
						ASTM D 6352 DISTRIB. RANGO EBULL. CROMAT	PIE	300	430	°F
							5%	500	609	°F
							10%	576	676	°F
							50%	810	916	°F
							60%	847	986	°F
							70%	857	1053	°F
80%	940	1127	°F							
90%	1012	1176	°F							
95%	1078	1228	°F							
PFE	1074	1300	°F							

Inicialmente, la información es registrada en los catálogos por medio de tablas donde se diferencia por colores el origen de cada dato:

Rojo: Se resalta con este color los datos que fueron validados y aprobados por la coordinación de ingeniería de procesos. En algunos casos los límites determinados estadísticamente fueron modificados por razones de operación, cuidados de equipos o del medio ambiente.

Negro: Los datos resaltados en negro son aquellos límites de control obtenidos netamente a partir de los gráficos de control. En la etapa de validación de los datos no se lograron revisar todos los valores, por tanto, se acordó con la coordinación ingeniería de proceso examinar las corrientes más críticas.

Azul: Los datos en azul representan los límites de detección del método de ensayo utilizado en el análisis de las propiedades de las corrientes involucradas en las unidades de proceso de la refinería.

Verde: En algunos métodos de ensayo no se lograron definir los límites de detección por lo tanto el límite de control inferior se obtuvo del mínimo valor reportado en los históricos.

ANEXO E: DIAGRAMA DE CONTROL DE LA U-150 DE REFINACIÓN DE CRUDOS.

Los diagramas grandes de control son elaborados en Microsoft visio y posteriormente impresos para ser ubicados en los cuartos de control de cada planta. A continuación se presenta dos pantallazos de una pequeña sección del diagrama de grande control de la U-150 de refinación de crudos. La primera imagen muestra la enumeración de las corrientes críticas presentes en el proceso y el siguiente gráfico expone la sección del diagrama en la que aparece la tabla con sus con sus correspondientes límites.

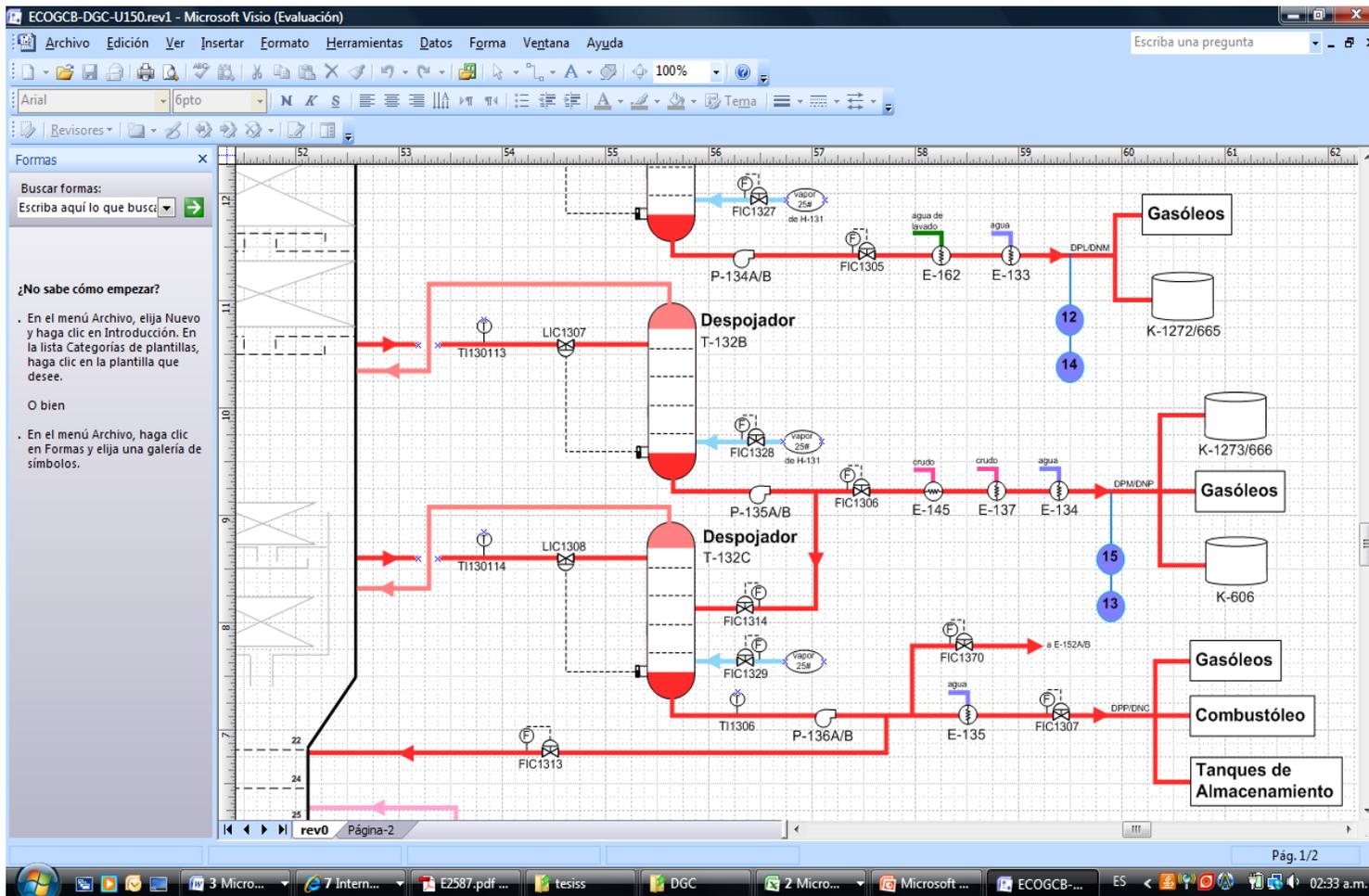


Figura 1: Sección del diagrama de control de U-150

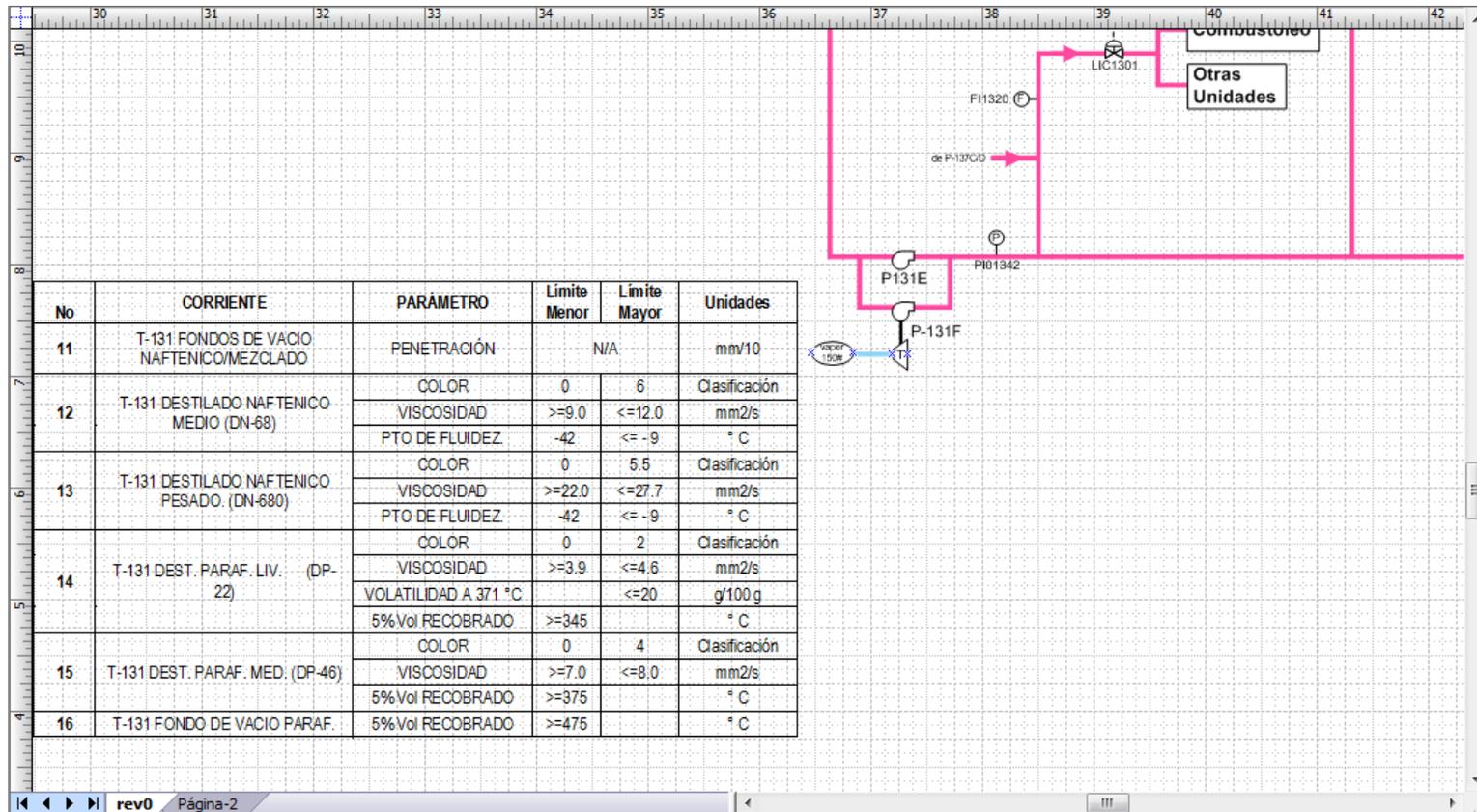


Figura 2: Tabla de límites adjunta al diagrama de control de la unidad U-150.

ANEXO F: DESCRIPCIÓN DE LA DETERMINACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS LÍMITES DE CONTROL PARA EL GRÁFICO X,R.

Gráficos de medias y rangos con media μ conocida.

Para una muestra de tamaño n , la media se calcula:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

\bar{X} tiene una distribución normal, con una media μ y una desviación estándar σ/\sqrt{n} , de acuerdo del teorema de límite central. Aún cuando la característica de calidad estudiada no tenga una distribución normal, si n es grande, las medias muestrales presentan una distribución normal según el teorema de límite central.

A partir de lo anterior, se sabe que $P\left(\mu - Z_{\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\bar{X}} \leq \bar{X} \leq \mu + Z_{\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\bar{X}}\right) = 1 - \alpha$

Entonces, la probabilidad de que una media muestral caiga entre el límite superior de control superior (LSC) e inferior (LIC) está dada por:

$$LSC = \mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} = \mu + \frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}}$$

$$LIC = \mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} = \mu - \frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{\sqrt{n}}$$

Gráficos de medias y rangos con μ y σ desconocidas.

Para se debe realizar k subgrupos con los datos obtenidos en orden cronológico. Los subgrupos formados deben basarse en el concepto de subagrupamiento

racional , es decir, se debe escoger los subgrupos de manera tal que si las causas asignables están presentes, haya la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo.

Se recomienda tomar más de 20 subgrupos, por lo general 20 y 25. El tamaño del subgrupo varía de 2 a 10, y depende del subagrupamiento racional, es común tomar 5 mediciones.

Se calcula la media de cada subgrupo \bar{X}_i ,

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

j = Medición 1, 2,3....10; i = Subgrupo 1, 2,3....25;

n = Cantidad de mediciones por subgrupo.

Se determina un estimado de μ , hallando el promedio de los subgrupos.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i$$

i = Subgrupo 1, 2,3....25; k= Cantidad de subgrupos.

El intervalo o recorrido está dado por

$$R_i = \text{Máximo} - \text{Mínimo}$$

La distribución del recorrido relativo W, se expresa a continuación y es una función de n.

$$W = \frac{R}{\sigma}$$

La media o valor esperado de W está dado por d_2 , el cual se encuentra tabulado en el anexo A.

Se calcula el promedio de los rangos de los subgrupos.

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

k= cantidad de Subgrupos.

Y se determina σ :

$$E(\sigma) = \hat{\sigma} = E\left(\frac{R}{W}\right) = \frac{E(R)}{E(W)} = \frac{E(R)}{d_2}$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Los límites para la gráfica X,

Si se utiliza $\bar{\bar{X}}$ como un estimado μ , \bar{R}/d_2 como un estimado de σ , y $Z_{\alpha/2}$ se fija igual a 3:

$$\text{Límite de control Superior: } LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + \frac{3\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Línea central: } LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{Límite de control Inferior: } LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \frac{3\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}}$$

Entonces se puede decir que $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$

Los valores para A_2 está tabulado en la anexo A.

Los límites de control se escriben como:

$$\text{Límite de control Superior: } LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Línea central: } LC_{\bar{X}} = \bar{X}$$

$$\text{Límite de control Inferior: } LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

Para la gráfica R, los límites de control están dados por:

$$\text{Límite de control Superior: } LSC_R = \bar{R} + 3\sigma_R$$

$$\text{Línea central: } LSC_R = \bar{R}$$

$$\text{Límite de control Inferior: } LIC_R = \bar{R} - 3\sigma_R$$

Si $W = \frac{R}{\sigma}$, entonces $R = \sigma w$, ahora $\text{Var}(R) = \text{Var}(\sigma w) = \sigma^2 \text{Var}(w)$, tomando raíz cuadrada de ambos miembros:

$$\sigma_R = \sigma \sigma_W, \text{ donde } \sigma_W = d_3, \text{ por tanto } \sigma_R = d_3 \sigma.$$

Se obtiene un estimado de σ_R a partir de $\hat{\sigma}_R = d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)$

Se escriben de nuevo los límites de control de la gráfica R así:

$$\text{Límite de control Superior: } LSC_R = \bar{R} + 3d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)$$

$$\text{Línea central: } LSC_R = \bar{R}$$

Límite de control Inferior: $LIC_R = \bar{R} - 3d_3 \left(\frac{R}{d_2} \right)$

Entonces: $D_3 = 1 - 3 \left(\frac{d_3}{d_2} \right)$ y $D_4 = 1 + 3 \left(\frac{d_3}{d_2} \right)$

Los límites de control se escriben así:

Límite de control Superior: $LSC_R = \bar{R}D_4$

Línea central: $LSC_R = \bar{R}$

Límite de control Inferior: $LIC_R = \bar{R}D_3$

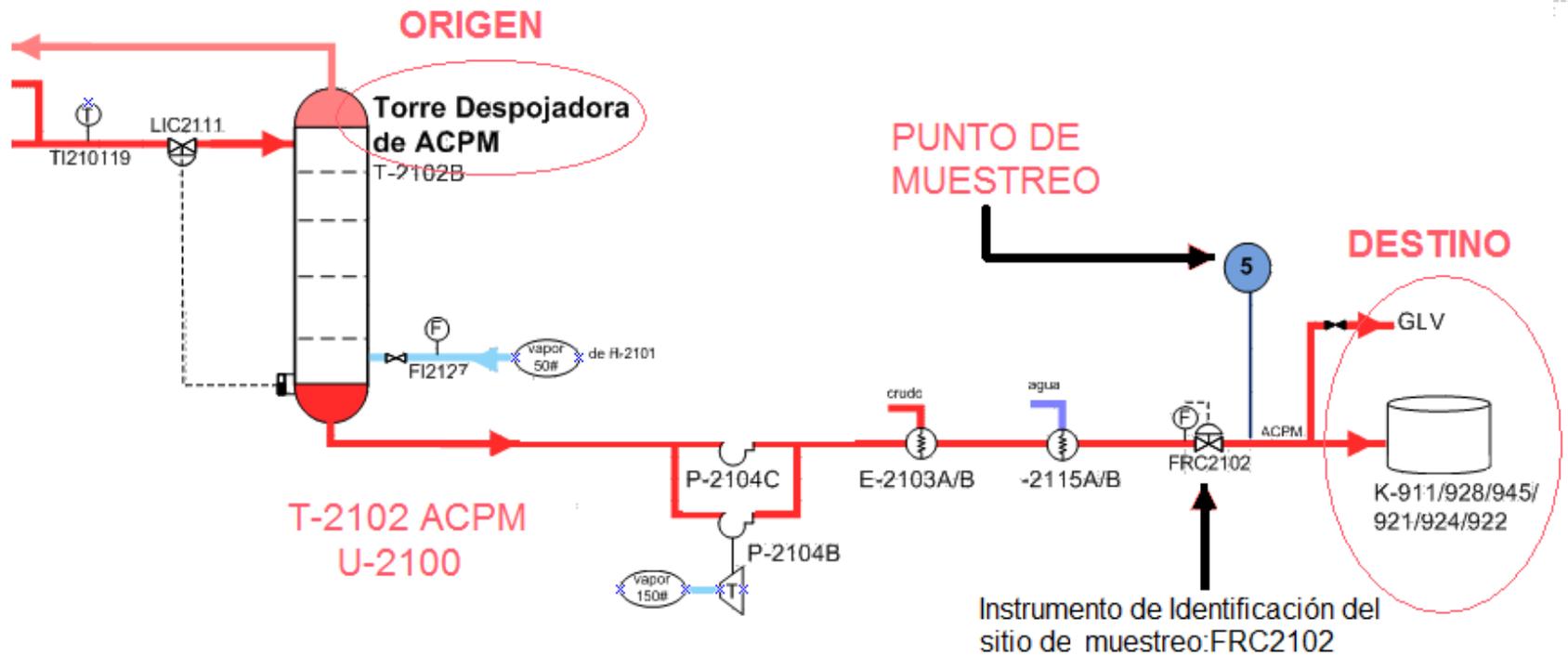
D_4 y D_3 , son tabulados en el anexo A.

ANEXO G: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS CORRIENTES INTERMEDIAS DE LA REFINERÍA.

A partir de las visitas a planta se logró recopilar información importante para el control de calidad de las corrientes. Se establecieron, para cada una, las unidades de origen y destino, los puntos de muestreo y el personal responsable de este.

En la Figura 1, se presenta, como ejemplo, la corriente T-2102 ACPM U-2100 y se señala la torre despojadora de ACPM como unidad de origen y los tanques de recibo como unidades de destino final. El punto de muestreo se identifica con el número 5, para luego ser referenciado en la tabla donde se expresan los límites de control correspondiente a dicha corriente. Sin embargo, el punto de muestreo no cuenta con un dispositivo toma-muestra para hacer la referencia, por tanto, la identificación del sitio se realiza con el tag (número de identificación) del instrumento de medición y control más cercano.

Además, se presenta en la figura 2, una sección del diagrama para la unidad 2100 donde se identifican los sitios de muestreo para las corrientes involucradas en esta unidad. Para las muestras de algunas corrientes, se utiliza dispositivos especiales, en este caso, la identificación del sitio se reporta exactamente el equipo exacto.(Ver figura 3)



5	T-2102 ACPM U-2100	95 % Vol R	<=680	° F
		PFE	<=734	° F

Figura 1: Información recopilada para la corriente T-2102 ACPM U-2100.

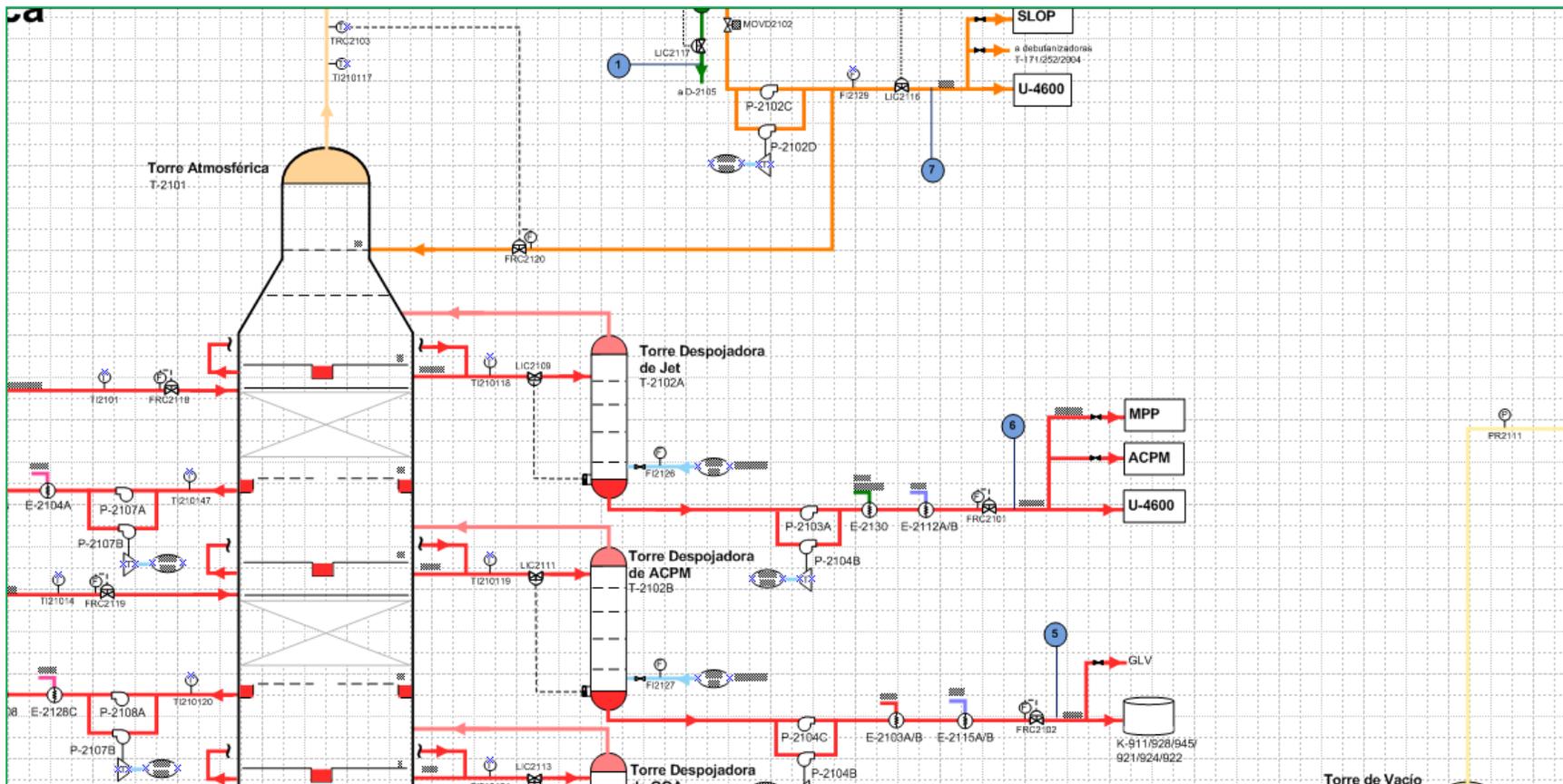


Figura 2: Sección del diagrama de control de la unidad 2100.



Figura 3: Dispositivo toma-muestra.