
	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

**ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y CARGA LABORAL DEL PUESTO DE  
CROMATOGRAFÍA EN EL LABORATORIO DE LA REFINERÍA  
BARRANCABERMEJA – ECOPETROL S.A**

**ANDRÉS LEONARDO CASTRO ZALDÚA**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA  
2.010**

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

**ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y CARGA LABORAL DEL PUESTO DE  
CROMATOGRFÍA EN EL LABORATORIO DE LA REFINERÍA  
BARRANCABERMEJA – ECOPETROL S.A**

**ANDRÉS LEONARDO CASTRO ZALDÚA**

***Trabajo de Grado para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL***

***Director***

**Msc. CARLOS EDUARDO DÍAZ BOHORQUEZ**

**Docente Escuela de Estudios Industriales y Empresariales**


***Co-Director***

**Msc. JUDITH ROCIO SANTA JAIMES**

**Coordinadora Inspección de Calidad GRB**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA**

**2.010**

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## AGRADECIMIENTOS


A mis padres Pedro Antonio y Luz Mary, por ser un gran ejemplo de superación, por demostrar cuán grande puede ser el amor de un padre comprometido y responsable, por su entrega diaria, por su apoyo sin dimensiones, por su confianza ciega.

A mis hermanos Diego, Lina, Sarita y Angelita, que son mi principal motivo de existencia, por endulzar mi vida con su compañía ya que gracias a ellos y a pesar de las distancias nunca me he sentido solo, por volverme adicto a un abrazo caluroso y a un beso inesperado.

A mis grandes amigos, los que me acompañaron desde adentro y fuera de las aulas de clase, a Pedro Esparza, a Cindy Bautista, a Diana Munive, a Fabio Tavera y Montañez, y a todos aquellos que se alegran conmigo al alcanzar este mérito importante para mi vida.

A los pocos pero grandes maestros que la vida puso a disposición, por hacerme ambicioso al enseñarme la manera de hacer realidad los más fantásticos e imposibles sueños. A Judith por hacer viable este proyecto, al profesor Carlos por dirigirlo desde el alma mater, al profesor Edwin Garavito por su ayuda desinteresada y honesta.

A mis familiares y allegados, Muchas Gracias.


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## TABLA DE CONTENIDO


INTRODUCCIÓN .....	18
1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	20
1.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	20
1.2 DEFINICIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.3 ALCANCE.....	22
1.4 OBJETIVOS.....	23
1.4.1 Objetivo General .....	23
1.4.2 Objetivos Específicos .....	23
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	24
2.1 ECOPETROL S.A.....	24
2.1.1 Reseña Histórica.....	24
2.1.2 Constitución Legal y Tamaño de la Empresa.....	25
2.1.3 Plan Estratégico .....	27
2.1.2 Clientes .....	28
2.2 COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD .....	29
2.1.1 Organigrama .....	30
2.1.1 Sistema de Gestión de Calidad.....	30
2.1.1 Tecnología.....	31
3. MARCO TEÓRICO .....	33
3.1 ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE TRABAJO .....	33
3.2 ESTUDIO DE TIEMPOS.....	34
2.1.1 Estudio de tiempos por cronómetro.....	35
2.1.1 Datos Estándares.....	36
2.1.1 Muestreo de trabajo .....	37
3.3 ANÁLISIS DE CAPACIDAD.....	38

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

3.4 DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS.....	41
3.5 TÉCNICAS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS .....	42
3.6 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD .....	43
4. DIAGNÓSTICO OPERATIVO DEL ÁREA DE CROMATOGRAFÍA.....	46
4.1 ANÁLISIS DE ACTIVIDADES PROGRAMADAS EN EL PUESTO DE CROMATOGRAFÍA .....	47
4.2 SELECCIÓN DE REFERENCIAS VITALES .....	47
4.3 RECONOCIMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	48
4.4 DIAGRAMA DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS .....	52
5. ESTUDIO DE TIEMPOS.....	54
5.1 PREMUESTRA .....	56
5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS .....	58
5.3 DIAGRAMAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS.....	59
5.4 CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN .....	63
5.5 IMPACTO DE LAS POLÍTICAS DE NEGOCIACIÓN CON LOS CLIENTES	65
6. ANÁLISIS DE CAPACIDAD.....	69
6.1 TIEMPOS POR CRONÓMETRO .....	69
6.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LOS RECURSOS FÍSICOS .....	72
6.2.1 Capacidad Teórica .....	72
6.2.2 Capacidad Instalada.....	72
6.2.3 Capacidad Disponible .....	72
6.2.4 Capacidad Necesaria.....	73
6.2.5 Capacidad Utilizada .....	74
6.3 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL TÉCNICO DEL PUESTO .....	75
6.3.1 Capacidad Teórica .....	78
6.3.2 Capacidad Instalada.....	78
6.3.3 Capacidad Disponible .....	78
6.3.4 Capacidad Necesaria.....	78
6.3.5 Capacidad Utilizada .....	78


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

7. SIMULACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	80
7.1 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SISTEMA .....	80
7.1.1 Población.....	81
7.1.2 La línea de espera.....	81
7.1.3 Clientes .....	81
7.1.4 Descripción de los recursos .....	81
7.1.5 Servidor.....	82
7.1.6 Grupo de operaciones.....	84
7.1.7 Tiempos de Servicio.....	85
7.1.8 Proceso de llegadas.....	86
7.2 MEDIDAS DE DESEMPEÑO.....	87
7.1.1 Total de análisis realizados .....	87
7.1.2 Tiempo promedio de espera en fila .....	88
7.1.3 Tiempo promedio de servicio .....	88
7.1.4 Porcentaje de utilización de los recursos del sistema .....	88
7.3 CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO .....	89
7.3.1 Documentación: Errores encontrados en la Construcción del Modelo ...	90
7.4 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	92
8. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO.....	100
8.1 PROPUESTA 1.....	100
8.2 PROPUESTA 2.....	105
8.3 PROPUESTA 3.....	107
8.4 PROPUESTA 4.....	108
9. CONCLUSIONES .....	113
10. RECOMENDACIONES FINALES.....	115
11. BIBLIOGRAFÍA.....	116

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Representación Gráfica de la Refinería de Barrancabermeja y la función del Laboratorio de Análisis Químico .....	21
Gráfica 2. Organigrama de Ecopetrol .....	27
Gráfica 3. Organigrama de la Coordinación de Inspección de Calidad.....	31
Gráfica 4. Carga Laboral de los turnos analizados en la muestra .....	58
Gráfica 5. Intervalos de Confianza para los porcentajes de ocupación .....	67
Gráfica 6. Modelo gráfico del sistema de producción del laboratorio .....	88
Gráfica 7. Tiempo de servicio del producto ASTM D 2163 .....	94
Gráfica 8(a). Intervalo de Confianza para el tiempo de servicio en Turno A .....	95
Gráfica 8(b): Intervalo de Confianza para la desviación estándar para los datos agrupados del tiempo de servicio del producto ASTM D 2163 .....	95
Gráfica 9. Análisis de Varianza para las medias de los datos agrupados del tiempo de servicio del ASTM D 2163 .....	96
Gráfica 10. Intervalos de Confianza de la propuesta evaluados en cada turno de trabajo .....	102

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Gráfica 11(a). Cambios de estado del técnico en sistema durante 1000 min de simulación ..... 104

Gráfica 11(b). Cambios de estado del técnico en la propuesta de mejoramiento durante 1000 min de simulación ..... 104

Gráfica12. Macro para el cálculo de los indicadores de confiabilidad ..... 111

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los métodos realizados en el puesto de análisis de Cromatografía durante un año de operación .....	48
Tabla 2. Resultados en la premuestra del estudio de tiempos .....	57
Tabla 3(a) Resultados generales del Estudio de tiempos .....	59
Tabla 3(b) Resultados generales del estudio de tiempos .....	59
Tabla 4. Medidas de desempeño de la gráfica de control en Turno A .....	61
Tabla 5. Medidas de desempeño de la gráfica de control reajustada Turno A .....	62
Tabla 6. Medidas de desempeño de la gráfica de control en Turno B .....	62
Tabla 7. Medidas de desempeño de la gráfica de control en Turno C .....	63
Tabla 8. Conjunto de tiempos de operación en cromatografía .....	65
Tabla 9. Estimación de Intervalos de Confianza para los porcentajes de ocupación de los turnos de trabajo .....	67
Tabla 10. ANOVA para el porcentaje de ocupación para los tres turnos de trabajo .....	68
Tabla 11. Prueba Tukey para los porcentajes de ocupación .....	68


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Tabla 12. Medidas de desempeño de la Premuestra.....	70
Tabla 13. Observaciones de toma de tiempos por cronómetro .....	71
Tabla 14. Resumen del Estudio de tiempos por cronómetro .....	71
Tabla 15. Equipos de producción del Laboratorio .....	73
Tabla 16 Cantidades de producción planeadas .....	76
Tabla 17 Cantidad de análisis desarrollados en febrero del 2010 en los tres turnos de trabajo.....	82
Tabla 18. Equipos para la construcción del modelo de simulación.....	83
Tabla 19. Agrupación de las operaciones para cada estación de trabajo.....	84
Tabla 20. Tiempos de servicio definidos como variables aleatorias .....	85
Tabla 21. Comparación de las medidas de desempeño del sistema real y el modelo.....	91
Tabla 22. Elección de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la tasa de llegadas .....	92
Tabla 23. Medidas de desempeño para 10 réplicas de simulación.....	96
Tabla 24. Intervalos de Confianza para Validación del Modelo de Simulación .....	98




	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Tabla 25. Medidas de desempeño para 6 réplicas de simulación.....	98
Tabla 26. Intervalos de Confianza a 6 réplicas para Validación del Modelo de Simulación .....	99
Tabla 27. Definición de tamaño de lote para llegadas en turno A.....	101
Tabla 28. Evaluación de la primera propuesta de mejoramiento .....	102
Tabla 29. Evaluación del TMO y TMD como medidas de desempeño de la primera propuesta de mejoramiento .....	104
Tabla 30. Evaluación de la segunda propuesta de mejoramiento.....	106
Tabla 31. Reducciones de capacidad.....	114

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## LISTA DE ÁNEXOS

ANEXO A. Diagramas de Proceso.....	118
ANEXO B. Resumen del estudio de tiempos por muestreo de trabajo .....	124
ANEXO C. Gráficas del control estadístico del Parámetro “P” .....	127
ANEXO D. Resumen de Tiempos por cronómetro. ....	129
ANEXO E. Tiempo en Máquina por tipo de análisis.....	136
ANEXO F. Programa de Análisis de Producción .....	137
ANEXO G. Gráfica del promedio móvil del tiempo de servicio .....	138
ANEXO H. Reporte de indicadores de Confiabilidad .....	147

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y CARGA LABORAL DEL PUESTO DE CROMATOGRAFÍA EN EL LABORATORIO DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA - ECOPETROL S.A\*.

**AUTOR:** CASTRO ZALDÚA, Andrés Leonardo\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** Cromatografía.  
Análisis Químico.  
Control de Producción.  
Simulación de Procesos Productivos.

### DESCRIPCIÓN:

En el negocio de la Refinación de Hidrocarburos, los requerimientos de producción están enfocados a mantener y elevar estándares de Calidad a un Costo razonable y con restricciones como la preservación del medio ambiente, las garantías a sus trabajadores para mantener un óptimo clima laboral, etc.

La refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja es un importante complejo industrial Colombiano, desde donde se llevan a cabo procesos de refinación de hidrocarburos. Allí se cuenta con el laboratorio de análisis químicos, el cual es el encargado de medir la calidad de los productos y procesos de la refinería.


El proyecto consiste en analizar la capacidad de producción del área de cromatografía iniciando con un reconocimiento y posterior estudio de los procesos productivos; se procede a medir la duración de las actividades a través de un estudio de tiempos por cronómetro, a determinar un porcentaje de ocupación de los trabajadores por medio de un estudio de tiempos por muestreo de trabajo, y a calcular la capacidad de realización de análisis químicos.

Con el fin de medir y controlar las posibles decisiones que se puedan tomar en aras de mejorar los niveles de producción en el área de cromatografía, se diseña un modelo de simulación bajo el lenguaje SIMAN en el software Arena. Dicho modelo pasa por un proceso de verificación y otro de validación para ajustar sus medidas de desempeño, y hacer que éstas sean acordes con el comportamiento del sistema de producción real. Se plantean unas propuestas de mejoramiento, se hacen unas conclusiones y se exponen unas recomendaciones futuras.

---

\* Proyecto de Grado. Práctica Empresarial

\*\* Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Estudios Industriales y Empresariales; Programa de Ingeniería Industrial; Carlos Eduardo Díaz Bohorquez, Director de Proyecto.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## SUMMARY

TITLE: ANALYSIS OF CAPABILITY AND WORKLOAD OF THE CHROMATHOGRAFY AREA IN THE CHEMICAL LABORATORY OF THE REFINERY BARRANCABERMEJA - ECOPETROL S.A<sup>♦</sup>

AUTHOR: CASTRO ZALDÚA, Andrés Leonardo<sup>♦♦</sup>.

KEYWORDS: Chromathography.  
Chemical Analisys.  
Production control.  
Simulation of Production Processes.

### DESCRIPTION:

In the business of refining hydrocarbons, the production requirements are aimed at maintaining and raising standards of quality at a reasonable cost and restrictions as the preservation of the environment, guarantees for its workers to maintain an optimal working environment, etc.

Ecopetrol's refinery in Barrancabermeja is a major Colombian industrial complex from which oil refining processes are carried out. There, it has the chemical analysis laboratory which is responsible for measuring the quality of products and refinery processes.

The project is to analyze the production capacity of the area beginning with a recognition chromatography and the study of production processes, we proceed to measure the duration of activities through a time study for timing, to determine an occupancy rate worker through a sample study of working time and calculate the capability to perform chemical analysis.

In order to measure and control the possible decisions that can be taken towards improving production levels in the area of chromatography, it's designed a simulation model in SIMAN language in the software arena. This model involves a process of verification and a validation to adjust their performance measures and make these consistent with the behavior of real production system. Finally, it presents some proposals for improvement, make some conclusions and outlines some future recommendations.

---


<sup>♦</sup> Draft Grade. Business

<sup>♦♦</sup> Industrial University of Santander, Physical Mechanical Faculty of Engineering, School of industrial and business studies, Industrial Engineering Program, Carlos Eduardo Diaz Bohorquez, Project Manager.

### TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

OBJETIVO	RESULTADO
Conocer los procesos de análisis químico para caracterizarlos en un diagnóstico que incluya los diagramas de operaciones y de recorrido.	Cumplido en el desarrollo del capítulo 4.
Definir los tiempos requeridos para las operaciones que se llevan a cabo mediante un estudio de tiempos.	Cumplido en el desarrollo del Capítulo 5 y en las sección 6.1 del capítulo 6.
Identificar los factores que puedan incidir en la cantidad de muestras realizadas mediante un diseño de experimento.	Cumplido en el Capítulo 5, sección 5.5 (se aclara que no se hace un experimento estadístico sino que se plantea análisis de varianza a partir de los resultados obtenidos por el estudio de tiempos por muestreo de trabajo).
Asociar los tiempos de operación a variables aleatorias para ser usados en la construcción de un modelo de simulación	Cumplido en el capítulo 7, sección 7.1.7
Calcular la capacidad instalada para validar el comportamiento del modelo de simulación con el del sistema real	Cumplido en el capítulo 6, secciones 6.2 y 6.3.
Evaluar las propuestas de mejoramiento que se hayan generado durante el desarrollo del presente proyecto, a fin de elegir la de mayor conveniencia.	Cumplido en el desarrollo del capítulo 8

*Fuente: Autor del Proyecto.*

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## INTRODUCCIÓN


El desafío quizá más grande al que se deben enfrentar las empresas es el de tomar del entorno variante las oportunidades de mejoramiento para la generación de valor, y Ecopetrol no difiere de esta situación, al estar inmerso en una Economía que exige alcanzar nuevos logros para asegurar competitividad, y así permanencia en el mercado.

En el negocio de la Refinación de Hidrocarburos, los requerimientos de producción están enfocados a mantener y elevar estándares de Calidad a un Costo razonable y con restricciones como la preservación del medio ambiente, las garantías a sus trabajadores para mantener un óptimo clima laboral, etc.

Siendo consciente de las circunstancias mencionadas en el párrafo anterior, la Vicepresidencia de Refinación y Petroquímica de ECOPETROL S.A demanda flexibilidad y respuesta al cambio a las entidades que la conforman para que enfoquen su operación en aras de alcanzar los objetivos y metas que conducen al crecimiento de la empresa.

La Coordinación de Inspección de Calidad desea examinar la actual capacidad instalada en su Laboratorio de Análisis Químico, para evaluar la forma como puede responder ante las exigencias mencionadas anteriormente. Este proyecto expone la manera como se le va a contribuir a la Coordinación en la consecución de este logro.


El presente proyecto comienza con un reconocimiento de la operación del puesto de Cromatografía, con el cual se hace un levantamiento del proceso por medio de diagramas de operaciones y de recorrido. Seguidamente se toma una medición

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

del trabajo a través de un estudio de tiempos, con el cual se estandariza la duración de las tareas que conllevan a la producción de los análisis químicos.

Con los estándares de tiempos y datos históricos del número de productos elaborados, se hace un análisis de la capacidad para identificar los recursos limitantes de producción y también medir la productividad de los activos instalados.

Como herramienta para la toma de decisiones, se expone la metodología con la cual se construye un modelo de simulación que, al validarlo, representa al sistema de producción actual y sirve como herramienta para medir el impacto de cualquier propuesta de mejoramiento, tal como se hace en el capítulo 8 al evaluar dos propuestas planteadas por los técnicos que trabajan en el puesto de análisis.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **1. FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL.**

El lugar de desarrollo del presente estudio es en la Refinería de Barrancabermeja, un gran sistema industrial donde 67 plantas de refinación de Hidrocarburos se organizan en un área aproximada de 254 hectáreas.

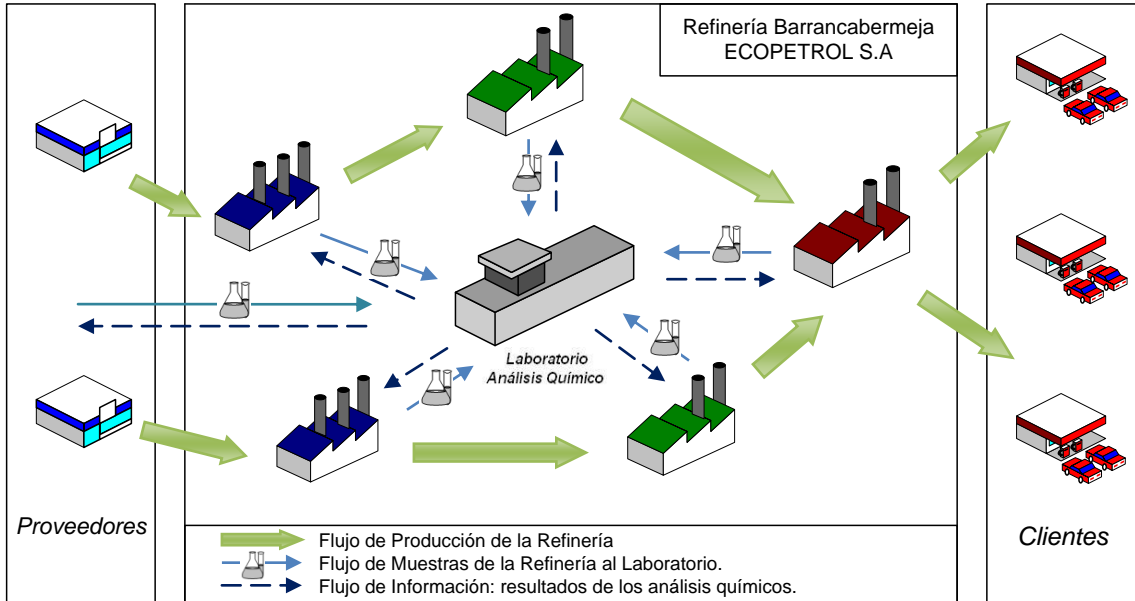
El complejo petrolero está organizado de la siguiente manera: La administración se centraliza en la Gerencia General conformada por dos grandes dependencias. La primera es la Gerencia de Producción cuyo fin es controlar todas las variables de los procesos petroquímicos asegurando una generación de valor basada en la transformación de las materias primas en productos disponibles para su posterior distribución y consumo. La segunda es la Gerencia Técnica desde donde se gestiona todo el apoyo requerido en los procesos productivos para asegurar una producción continua y confiable (mantenimientos, inspección y reposición de equipos, medición especializada de variables de procesos, etc.).

Dentro de la Gerencia Técnica se encuentra la Coordinación de Inspección de Calidad que es la encargada de administrar el Laboratorio de Análisis Químico, cuya finalidad es la de medir las características de calidad de las materias primas que llegan a la refinería (como crudos y gases vírgenes), productos en proceso (ya que son el parámetro para medir el desempeño de los procesos productivos en las diferentes plantas del complejo) y productos refinados disponibles para la venta. La gráfica 1 permite visualizar la refinería como un sistema productivo y muestra su relación con el Laboratorio.

Como medidas de desempeño del Laboratorio, se puede decir que durante el 2009 se tuvo un cumplimiento del 99,22% en un programa de análisis compuesto por más de 135 normas internacionales de alto impacto, su nivel de confiabilidad

reconocido a nivel mundial fue de 97,4%, y dejó un beneficio comprobado de 1,7 millones de dólares para la empresa.

Gráfica 1: Representación de la Refinería y la función del Laboratorio de análisis químico




Fuente: Autor del Proyecto.

El mercado de productos derivados del petróleo en Colombia muestra que en los últimos años la demanda de hidrocarburos ha tenido una tendencia creciente y esta situación hace que Ecopetrol decida elevar los niveles de producción. Además se sabe, que la cantidad de bienes producidos en la refinería guarda una relación directa con la cantidad de análisis que se hacen en el Laboratorio, lo que conlleva a la coordinación a administrar los recursos del laboratorio de tal forma que se aumente su nivel de servicio manteniendo y quizá mejorando los estándares de Calidad.

## 1.2. DEFINICIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La motivación principal de la Coordinación en llevar a cabo este proyecto es que actualmente no hay una metodología para medir la capacidad instalada y utilizada


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

del laboratorio. Por ende, es paradójico afirmar que los recursos (especialmente el Talento Humano) con los que se cuenta serán suficientes para atender con calidad los crecientes niveles de producción de la refinería, y no solo se hace referencia al aumento en la demanda del mercado, sino que dentro de los objetivos de crecimiento de Ecopetrol se incluye la apertura de nuevas plantas de refinación de las cuales se esperan obtener nuevos y diversos productos.

Lo citado anteriormente acarrea un impacto directo en la gestión de la Coordinación, por lo cual, un estudio técnico que incluya el análisis de la capacidad del Laboratorio y la medición de su carga laboral, sería una herramienta importante ya que primero, aportaría información acerca de si, con el recurso actual, se lograrán satisfacer o no los niveles de servicio al cliente y bajo qué condiciones, y segundo, se podrán evaluar diferentes alternativas de trabajo que le permitan a la Coordinación ser más eficientes y a su vez tomar decisiones de forma consecuente para responder frente a las metas trazadas en el marco estratégico de planeación de la empresa. Además, dado el caso en el que se compruebe la falencia de recursos actualmente o en el futuro, el proyecto mostrará ante la Gerencia General la situación y los recursos requeridos para una óptima operación.

### **1.3. ALCANCE**

Dado el volumen de la operación en el Laboratorio, el proyecto sólo se lleva a cabo en el área de Cromatografía. Este estudio incluye un análisis de los métodos y los procedimientos que allí se llevan a cabo, un posterior estudio de tiempos que conduzca a calcular la capacidad instalada y utilizada del área, y se incluye además un modelo de simulación que analiza posibles escenarios basados en propuestas de mejoramiento en pro de tomar decisiones.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	


## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar un Análisis de Capacidad en el Puesto de Cromatografía del Laboratorio de Análisis Químico de la Refinería en Barrancabermeja basado en una evaluación de los procesos y un estudio de tiempos para poder evaluar diferentes propuestas de mejoramiento que eleven su capacidad de producción.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Conocer los procesos de análisis químico para caracterizarlos en un diagnóstico que incluya los diagramas de operaciones y de recorrido.
- Definir los tiempos requeridos para las operaciones que se llevan a cabo mediante estudio de tiempos.
- Identificar los factores que puedan incidir en la cantidad de muestras realizadas mediante un diseño de experimento.
- Asociar los tiempos de operación a variables aleatorias para ser usados en la construcción de un modelo de simulación.
- Calcular la capacidad instalada para validar el comportamiento del modelo de simulación con el del sistema real.
- Evaluar las propuestas de mejoramiento que se hayan generado durante el desarrollo del presente proyecto a fin de elegir las de mayor conveniencia.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Dado el volumen colosal de procesos que se llevan a cabo en toda la empresa se considera necesario mencionar generalidades de Ecopetrol, pero se hace énfasis en los procesos productivos que se desarrollan específicamente en la Coordinación de Inspección de Calidad, la cual se encarga de administrar el laboratorio.


### **2.1. ECOPETROL S.A**

#### **2.1.1. RESEÑA HISTÓRICA**

La Empresa Colombiana de Petróleos nació de la reversión al Estado Colombiano de la concesión de mares el 25 de Agosto de 1.951. La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por International Petroleum Co. Intercol en 1956. En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	


La empresa funciona como sociedad de naturaleza mercantil, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines. En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo. En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A, una sociedad pública por acciones, internacionalizada y más competitiva. Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva Ecopetrol S.A., la Compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos). A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial<sup>1</sup>.

### **2.1.2. CONSTITUCIÓN LEGAL Y TAMAÑO DE LA EMPRESA.**

Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$11,63 billones registrada en 2008 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 37 petroleras más grandes

<sup>1</sup> Adaptación de Ecopetrol S.A <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=32&conID=36271>

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica. Al cierre del 2008, contaba con 6.074 trabajadores entre empleados directos de las nóminas convencional y directiva, los estudiantes en aprendizaje SENA y en práctica profesional (EPI).

ECOPETROL S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía. El domicilio principal de ECOPETROL S.A. es la ciudad de Bogotá D.C. pero podrá establecer filiales, subsidiarias, sucursales y agencias en el territorio nacional y en el exterior.

#### **a) Objeto Social**

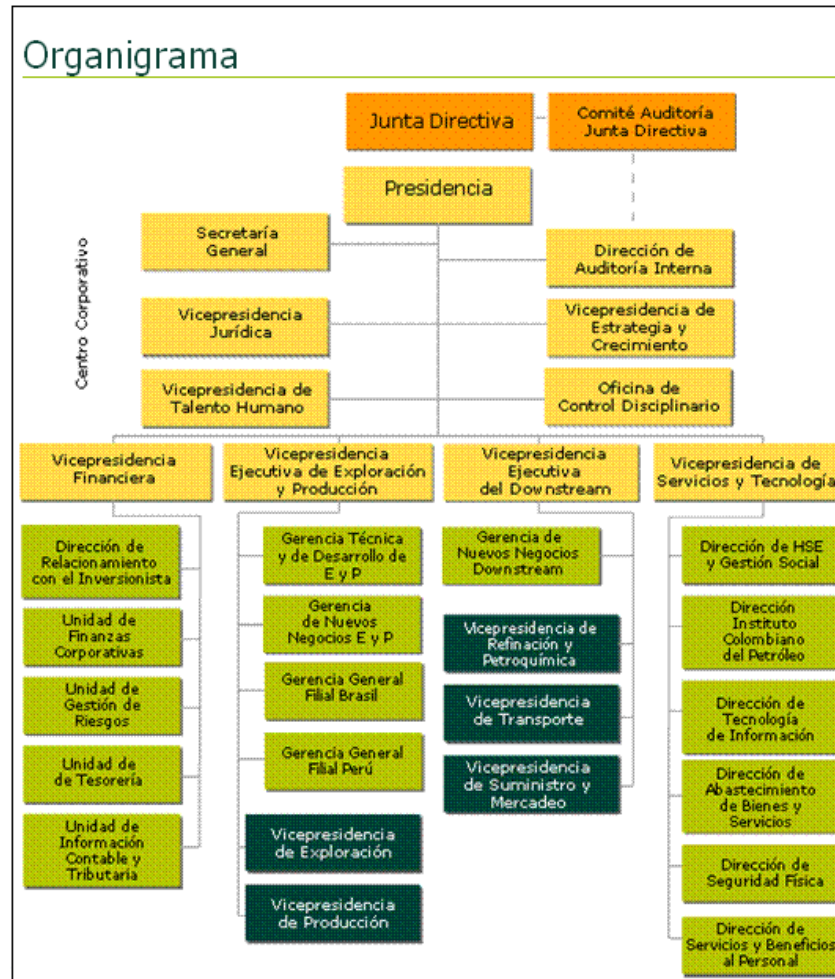
En cuanto al objeto social de Ecopetrol, éste consiste en el desarrollo, en Colombia o en el exterior, de actividades comerciales o industriales correspondientes o relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos<sup>2</sup>.

#### **b) Organigrama**

La gráfica 2 muestra la estructura organizativa general de la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL S.A.

<sup>2</sup> [http://www.ecopetrol.com.co/documentos/38400\\_Estatutos\\_Sociales\\_de\\_Ecopetrol\\_S\\_A\\_-\\_actualizados\\_reforma\\_estatutaria\\_06-11-2007.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/38400_Estatutos_Sociales_de_Ecopetrol_S_A_-_actualizados_reforma_estatutaria_06-11-2007.pdf)

Gráfica 2: Organigrama de Ecopetrol




Fuente: [www.ecopetrol.com.co](http://www.ecopetrol.com.co)

### 2.1.3. PLAN ESTRATÉGICO

#### a) Misión:

Descubrimos fuentes de energía y las convertimos en valor para nuestros clientes y accionistas, asegurando el cuidado del medio ambiente, la seguridad de los procesos e integridad de las personas, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operamos, con personal comprometido que busca la excelencia, su

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con nuestros grupos de interés<sup>3</sup>.

**b) Visión:**

Al año 2015, Ecopetrol será una empresa global de energía y petroquímica, con énfasis en petróleo, gas y combustibles alternativos reconocida por ser competitiva, con talento humano de clase mundial y socialmente responsable.

**2.1.4. CLIENTES**

Ecopetrol cuenta con una amplia gama de clientes nacionales e internacionales para la colocación de sus productos, ya sean crudos o derivados<sup>4</sup>.

Por segmentos, estos son sus clientes:

**a) Clientes Internacionales:**


Lo integran 50 clientes, ubicados en su mayoría en el Caribe y las costas norteamericanas del Golfo de México, con quienes se comercializan crudos y combustibles, todos de importante nivel en del mercado petrolero. Entre los más destacados se encuentran Shell, ExxonMobil y Refidomsa.

**b) Clientes Nacionales:**

Los combustibles líquidos son vendidos a los distribuidores mayoristas que operan en Colombia, quienes a su vez comercializan estos productos a la red minorista (estaciones de servicio). En la actualidad los distribuidores mayoristas nacionales son ExxonMobil, Terpel, ChevronTexaco, Petrobras, Brío, Petromil, Petrocomercial y Ayatawacop; estas últimas con cobertura para la costa norte del país.


<sup>3</sup> <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=31&conID=484>

<sup>4</sup> [http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Informe\\_Responsabilidad\\_Social\\_2006/atencion-clientes.htm](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Informe_Responsabilidad_Social_2006/atencion-clientes.htm)

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

El grupo de clientes que conforman las ventas de gas propano, está compuesto por 30 clientes en el país caracterizados por su rol de mayoristas, a quienes Ecopetrol entrega el producto para su distribución en los canales minoristas principalmente para uso doméstico. Algunos de ellos son Colgas, Andina de Gas, Portagas, Gasmag y Asogas.

El segmento más numeroso de clientes es el de los productos petroquímicos e industriales, integrado por cerca de 800 clientes pertenecientes a las más diversas industrias del país. Durante el 2006 Ecopetrol suministraron a la industria nacional productos como alquitrán aromático, asfalto, bases lubricantes, parafinas, polietileno, azufre, xileno, tolueno, ortoxileno y benceno. Algunos de los clientes de este segmento son Pintuco, Monómeros Colombo-Venezolanos, Pegaucho, Manufacturas y Procesos Industriales, Shell, ExxonMobil, Carboquímica, Plastilene, Cabot y Productos Químicos Panamericano.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **2.2. COORDINACION DE INSPECCION DE CALIDAD**

La Coordinación Inspección de Calidad de la Gerencia Refinería Barrancabermeja (GRB) hace parte de la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL S.A, forma parte de la Gerencia Técnica y presta servicios a las diferentes unidades de proceso y servicios industriales del Complejo. La Coordinación Inspección de Calidad está organizada internamente de tal manera que se identifican los Procesos de Gestión de la Calidad, Control de Producción y Soporte Operacional<sup>5</sup>.

En el laboratorio a su vez se reconocen los puestos de análisis de Octanos, Destilaciones, Cinemáticas, Parafinas, Ambiental, Cromatografía, Polietileno, Negros y Espectroscopía.

### **2.2.1. Organigrama**

En la gráfica 3, se muestra esquemáticamente el Organigrama Administrativo de la Coordinación Inspección de Calidad dentro de la Gerencia Técnica.

### **2.2.2. Sistema de Gestión de Calidad**

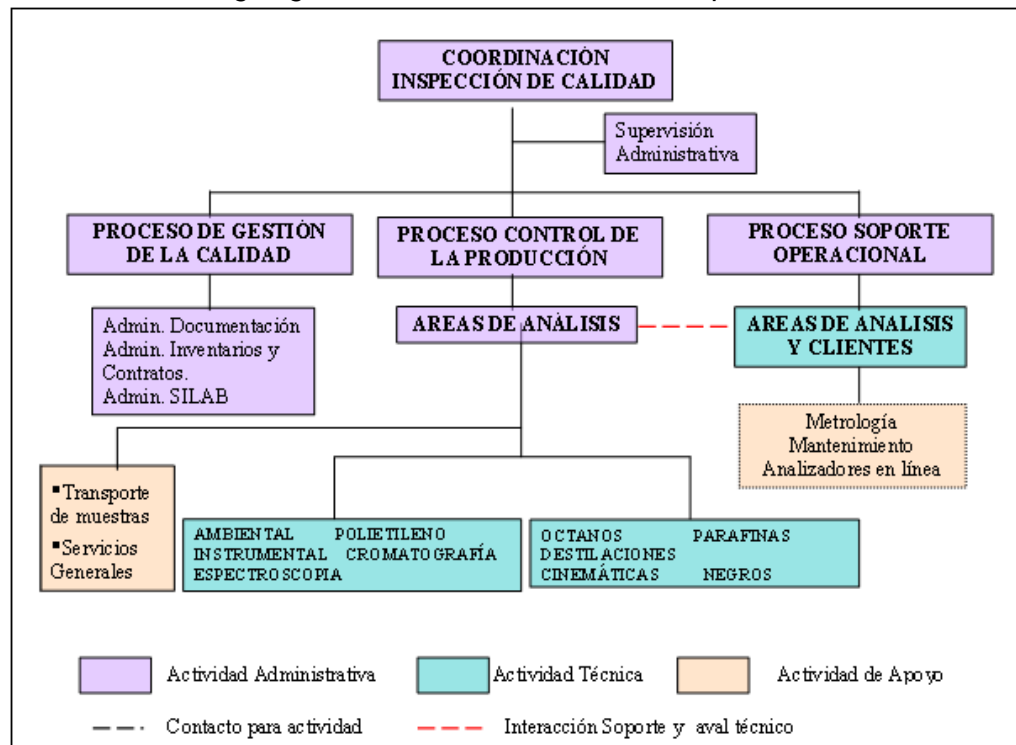
Basados en varios lineamientos del Sistema de Calidad de la Refinería, la Coordinación Inspección de Calidad tiene implementados los requisitos de la norma ISO IEC 17025 VERSION 2005 para de esta forma garantizar la confiabilidad y competitividad en los resultados con estándares nacionales e internacionales reconocidos.

Los objetivos principales del sistema son el de demostrar la capacidad de la GRB de producir en forma consistente productos que satisfagan las necesidades del

<sup>5</sup> La mayor parte de la información contenida en este capítulo proviene del documento “Diseño, implementación y documentación de los requisitos técnicos de la Norma NTC-ISO-IEC 17025 para el Laboratorio de Polietileno de la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL S.A”.

comprador y el de aumentar su satisfacción a través del cumplimiento sistemático de los planes de refinación acordados con la Vicepresidencia de Suministros y Mercadeo (VSM).

Gráfica 3: Organigrama de la Coordinación de Inspección de Calidad.




Fuente: Manual de Gestión de calidad ISO 17025 versión 2005.


### 2.2.3. TECNOLOGÍA

a) **Sistemas de Información:** La Coordinación Inspección de Calidad cuenta con los siguientes sistemas de información, los cuales son actualizados con Soporte Técnico HELP DESK<sup>6</sup> de ECOPETROL:

<sup>6</sup> Help Desk es un Outsourcing de los servicios telemáticos básicos, a través de la operación, administración, mantenimiento y soporte de la infraestructura de hardware, software y telecomunicaciones, de propiedad y/o a cargo de Ecopetrol S.A., entregada por la unión temporal Synapsis – Unisys. Para más información, dirijase a [http://www.synapsis-it.com/synapsis//pdf/Synapsis\\_Caso\\_de\\_exit\\_outsourcing\\_Ecopetrol.pdf](http://www.synapsis-it.com/synapsis//pdf/Synapsis_Caso_de_exit_outsourcing_Ecopetrol.pdf)

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- **SILAB “Sistema de Información del Laboratorio”:** Este sistema se utiliza para generar las muestras que se reciben en el Laboratorio, para ingresar, revisar y aprobar los resultados obtenidos en los diferentes análisis y otorgar el Vo.Bo. de los productos de venta de la GRB. Cuenta con diferentes perfiles de usuarios, los cuales son asignados según las responsabilidades del personal del Laboratorio. Para ingresar al sistema se requiere de un “password”, autorizado por el líder del Proceso de Control de la Producción y bajo el conocimiento del Coordinador.
- **Software de Equipos “Dedicados”:** Aplica al software perteneciente a equipos específicos. La gestión de actualización de estos paquetes informáticos la efectúa el funcionario encargado de cada área analítica apoyado en el personal de Soporte técnico HELP DESK y de acuerdo a las modificaciones de actualización que ofrezca el proveedor de cada equipo.
- **CDLAB-RIS:** Con este sistema de resultados, se puede observar la información generada por el Laboratorio, además de extraer de él, información suficiente de gestión organizacional para indicadores, gráficos de control, tendencias analíticas, certificados de calidad, etc. La Administración igualmente está a cargo de la Dirección de Informática y en el Laboratorio es el Administrador Funcional del SILAB.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

### **3. MARCO TEÓRICO**

Una vez trazados los objetivos de este estudio, se prosigue describiendo la fundamentación teórica en la que se basan los análisis y cálculos realizados. Esto con el fin de sustentar la procedencia de la teoría que da validez a dicho trabajo.

#### **3.1. ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DEL TRABAJO**

Tal como se plantea en el Análisis de los mejoramientos de los procesos productivos<sup>7</sup>, estos deben ser analizados y mejorados permanentemente a fin de obtener ventaja competitiva como un flujo de producción más ordenado, un mejor servicio al cliente teniendo en cuenta tiempos de entrega, inmediatez en la respuesta, etc., disminución de costos o proporcionar un ambiente adecuado con condiciones óptimas para el trabajo.


Para realizar este tipo de Análisis, el proceso productivo debe describirse inicialmente en forma textual y posteriormente, para facilitar su comprensión, debe representarse en forma gráfica o de diagrama. Los diagramas de análisis general son el diagrama de flujo y el diagrama de recorrido del proceso.

Los diagramas de análisis general pueden definirse como esquemas gráficos que permiten comprender en forma lógica y ordenada las diferentes fases o etapas ejecutadas una tras otra con el propósito de elaborar un producto o un entregable.

- Análisis de tipo detallado:

Quando dentro de un proceso productivo se detectan puestos de trabajo o secciones específicas en las cuales hay evidencia de problemas de baja

<sup>7</sup> ORTIZ P. Néstor Raúl. ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE LA EMPRESA: Técnicas para el mejoramiento de procesos productivos. 1 ed. Bucaramanga. 1999.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

productividad, se recomienda realizar un análisis detallado de las actividades que allí se ejecuten.

Como herramienta, se tiene el diagrama de actividades múltiples que es útil especialmente en aquellas situaciones en que uno o varios operarios manipulan unas o varias maquinas. Tienen como propósito identificar tiempos inactivos en el operario o en las máquinas, lo cual sirve de base para optimizar la asignación del trabajo.

- **Ciclo de Producción:**


Un ciclo de producción hace referencia al conjunto de actividades que se repiten durante la jornada de trabajo. Durante un ciclo se elabora una unidad de producción. En el desarrollo del trabajo en el laboratorio, se deben identificar los elementos que componen un ciclo de producción para cuantificar su longitud y su relación con los elementos de producción presentes en cada puesto de trabajo.

### **3.2. ESTUDIO DE TIEMPOS:**

El estudio de tiempos permite determinar la duración de las actividades en las que se llevan a cabo las operaciones más importantes en la transformación de las entradas a un sistema productivo<sup>8</sup>. Son de suma importancia los datos obtenidos en este estudio porque con ellos se calcula la capacidad utilizada del sistema y se puede programar la producción de forma tal que se puedan cumplir los objetivos guardando lineamientos de Calidad y Seguridad Industrial. Para poder establecer la duración de una tarea, se debe partir de tres premisas elementales:

---

<sup>8</sup>ORTIZ P. Néstor Raúl. ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE LA EMPRESA: Estudio de Tiempos. 1 ed. Bucaramanga. 1999.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- a) Debe existir un método previamente definido, el cual indica la manera como se ha de ejecutar el trabajo en cuestión.
- b) El operario debe desarrollar su actividad a un ritmo de trabajo normal (no muy despacio ni muy rápido).
- c) El Técnico o Analista seleccionado para un estudio de tiempos debe ser “calificado” en cuanto a la habilidad para desarrollar el trabajo, es decir, no ser muy experto, ni tampoco inexperto.


Según la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) un trabajador calificado se define como “aquel de quien se reconoce que tiene las aptitudes físicas necesarias, que posee la requerida inteligencia e instrucción y que ha adquirido la destreza y conocimientos necesarios para efectuar el trabajo en curso según normas satisfactorias de seguridad, cantidad y calidad”.

A continuación se presentan algunas técnicas desarrolladas para un estudio de tiempos:

### ***3.2.1. Estudio de Tiempos por Cronómetro:***

Esta técnica permite establecer la duración de una tarea a partir del registro de datos de tiempos que han sido cronometrados. Estos datos son el resultado de la observación de algunos ciclos de trabajo.

Un ciclo de trabajo es la sucesión completa de acciones necesarias para ejecutar una tarea y durante la cual se obtiene una unidad de producción (es importante recordar que unidad de producción no es necesariamente una unidad de producto, ya que es posible que en un ciclo se produzcan ocho piezas a la vez). El ciclo se inicia en un instante predefinido de la tarea (por ejemplo cuando el operario tome

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

una herramienta) y continúen hasta el mismo punto en la siguiente repetición de la tarea; de esta forma comienza el siguiente ciclo y así sucesivamente.

- **Valoraciones:** Es el proceso mediante el cual se determina el ritmo de trabajo del operario. De no llevarse a cabo una valoración, los tiempos obtenidos pueden alejarse de la realidad, pero hay que tener en cuenta que la medida es subjetiva porque el analista de tiempos debe comparar el ritmo de trabajo del operario que está observando con lo que él considere el ritmo normal.
- **Suplementos:** Asignar suplementos tiene como propósito obtener un valor “más real” del tiempo empleado por una persona al ejecutar su trabajo. Lo anterior tiene sentido porque el valor registrado por el cronómetro sólo hace referencia al tiempo efectivo de trabajo, sin embargo en la práctica, el operario eventualmente detiene su actividad para descansar, ir al baño, etc., lo cual altera los cálculos de los tiempos.


### **3.2.2. Datos Estándares:**

Los datos de tiempo estándar en su mayor parte son estándares de tiempo elementales tomados de estudios de tiempos que han demostrado ser satisfactorios. Estos estándares elementales se clasifican y archivan de modo que puedan ser encontrados fácilmente cuando se consideren necesarios.

Los datos estándares pueden ser de varios niveles de perfeccionamiento: movimiento, elemento o tarea. Cuanto más perfeccionado o refinado será el elemento de dato estándar, más amplio será su intervalo de uso.

### **3.2.3. Muestreo de Trabajo:**

El muestreo de trabajo es una técnica que se utiliza para investigar las proporciones del tiempo total dedicadas a las diversas actividades que componen

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

una tarea, actividad o trabajo<sup>9</sup>. Los resultados del muestreo sirven para determinar tolerancias o márgenes aplicables al trabajo, para evaluar la utilización de las máquinas y para establecer estándares de producción. El muestreo de trabajo es un método que con frecuencia proporciona la información con mayor rapidez y a un costo considerable menor que por técnicas cronométricas.

En la etapa inicial del estudio de tiempos por muestreo de trabajo, se toma una muestra pequeña (premuestra) de la ocupación del recurso para así, calcular el número de observaciones que debe tener el estudio.

Se parte teniendo en cuenta un estimado del error estándar que sea aceptable para la proporción de la ocupación del técnico de turno (Ya que se cree que es el recurso limitante de capacidad del servidor).

La siguiente ecuación expresa dicho error:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

Donde:


$\sigma_p$  = Desviación Estándar de un porcentaje

$p$  = Proporción verdadera de ocurrencias del elemento que se busca, expresado como un decimal.

$q = 1 - p$ ; es la probabilidad de la no ocurrencia del evento  $p$

$n$  = Número total de observaciones en las que se basa el estudio para estimar al valor de  $p$ .

<sup>9</sup>NIEBEL, Benjamín. INGENIERÍA INDUSTRIAL Métodos, Tiempos Y Movimientos: Estudios de muestreo de trabajo. 3 ed. México D.F: Alfaomega 1988

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Haciendo una evaluación aproximada con una premuestra para estimar el valor de la proporción que se busca ( $\hat{p}$ ), y conociendo el error estándar permisible, será posible calcular  $n$  haciendo la siguiente sustitución:


$$n = \frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{\sigma_p^2} \quad (1)$$

En las fases de realización del muestro estadístico de trabajo, se contemplan las siguientes actividades:

- a) Determinación de las frecuencias de las observaciones: depende del número de observaciones requeridas y de los límites de tiempo aplicados al desarrollo de los datos.
- b) Observación y registro de los datos: Se lleva a cabo el trabajo de campo observando los elementos que componen al servidor y registrando su desempeño. Para tal fin, se deben desarrollar formatos que agilicen el proceso de recolección y aseguren la información.
- c) Cálculo y análisis de resultados: Para el análisis, se utilizan herramientas como los diagramas de control estadístico de proceso cuyo fin es determinar los elementos extraños que alteran el cálculo del estadístico  $\bar{p}$ .

### **3.3. ANÁLISIS DE CAPACIDAD:**

La capacidad del sistema de producción define los límites competitivos de una unidad de producción. De manera específica, establece la tasa de respuesta de la empresa para con sus clientes basándose en su estructura de costos, la composición de su personal, su nivel tecnológico, sus requisitos de gestión y apoyo al personal, y la estrategia general de inventarios. Si la capacidad no es adecuada, una empresa puede perder competitividad al comprometerse con

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

niveles de producción que no va a ser capaz de cumplir, y así, perder clientes y salir del mercado<sup>10</sup>.

Al estudiar la capacidad de un sistema productivo, hay que tener en cuenta los siguientes términos y diferenciarlos:

- a) Capacidad Teórica: La capacidad teórica de un puesto de trabajo es la capacidad máxima de producción que se puede realizar y está prevista con las máquinas y equipos instalados. La forma de calcular esta capacidad es mediante la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^m w_i (365,25) 24$$

Donde  $w_i$  es la cantidad de máquinas en el puesto de trabajo.


- b) Capacidad Instalada: Es la capacidad máxima de producción menos las paradas con una antelación programada como mantenimientos, revisiones, etc. La manera de calcularla se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^m w_i (365,25) 24 - G_1 ; \quad \text{Donde } G_1 = \sum_{i=1}^m g_{ij}$$

Y  $g_{ij}$  será el mantenimiento programado en la máquina  $i$  del taller  $j$ .

- c) Capacidad Disponible: En relación con la capacidad instalada, la capacidad disponible es menor debido a los días no laborales del año, pérdidas por ausentismo, pérdidas organizacionales y pérdidas por factores de fuerza mayor; teniendo en cuenta el número de turnos y horas por turno. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

<sup>10</sup> KALENATIC, Dusko. APLICACIONES COMPUTACIONALES EN PRODUCCIÓN: Análisis y programación de capacidades de los medios de trabajo. 1 ed. Bogotá Fondo editorial Universidad Francisco José de Caldas 1993

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

$$\sum_{i=1}^m w_i \cdot Dh \cdot Tdh \cdot Ht - (G_1 + G_2 + G_3 + G_4)$$

Donde:

- Dh = Días hábiles del año laboral
- Tdh = Turnos de trabajo por cada día hábil laboral
- Ht = Horas de trabajo que constituyen a un turno de trabajo.
- G<sub>1</sub> = Mantenimiento programado.
- G<sub>2</sub> = Inasistencia, vacaciones, incapacidad, permisos (justificados o no).
- G<sub>3</sub> = Organizacionales: Cursos, capacitaciones, Reuniones sindicales, etc.
- G<sub>4</sub> = Factores externos: Naturales, agua, luz, etc.

d) Capacidad necesaria: es la capacidad que se debe realizar dependiendo de las posibilidades del mercado, del tiempo de producción y la capacidad disponible. La capacidad necesaria indica cuanto se debe utilizar la capacidad en determinado período de tiempo para realizar determinado plan de producción.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QP_{ij} \cdot Tst_{ij}$$

Donde:


- QP<sub>ij</sub> = Cantidades planeadas de producción
- Tst<sub>ij</sub> = Tiempo Estándar de operación

e) Capacidad utilizada: Representa su utilización real en determinado período de tiempo, o sea, la producción real expresada en unidades de capacidad.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QR_{ij} \cdot Tr_{ij}$$

Donde:

- QR<sub>ij</sub> = Cantidades reales de producción.
- Tr<sub>ij</sub> = Tiempo real de operación de la máquina i.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

f) Capacidad máxima: Es la capacidad de producción más alta que se puede obtener cuando se emplean de manera óptima los recursos productivos. Sin embargo, al alcanzar una capacidad máxima de producción de un sistema productivo, se corre el riesgo de hacer un uso deficiente de sus recursos (por ejemplo, incrementos en los costos de energía, horas de trabajo extraordinarias, mayores costos de mantenimiento, etc.). Su cálculo se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QO_{ij} \cdot To_{ij}$$


Donde:

- $QO_{ij}$  = Cantidades óptimas de producción.
- $To_{ij}$  = Tiempo real de operación de la máquina i.

### 3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Un experimento estadístico es una serie de pruebas en las que se hacen cambios programados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la variable de respuesta en su salida. El objetivo global en la mayoría de los casos en los que se diseña un experimento estadístico es en desarrollar un sistema robusto, es decir, un proceso que sea afectado en forma mínima por fuentes de variabilidad externa.

El diseño de experimentos es usado en los estudios de producción y capacidad para optimizar los niveles de producción que puede llegar a tener un sistema, ya que mediante el diseño de experimentos, se determinan los niveles claves para elevar la medida de la variable de respuesta en los factores importantes, por ejemplo, se puede estudiar qué tipo de operario tiene niveles de producción más alta, o que turnos de trabajo son significativamente mejores para trabajar porque

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPEPETROL S.A	

generan más unidades producidas, o se pueden diferenciar los niveles de calidad entre dos o más maquinas que desarrollen un mismo proceso<sup>11</sup>.

### 3.5. TÉCNICAS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

- PREMISAS:

Un **modelo** es un dispositivo que ayuda al investigador a predecir o explicar el comportamiento de un fenómeno, experimento o suceso. El término modelo puede tener diferentes significados para distintas personas y la representación de un modelo puede ser distinta<sup>12</sup>.


En la construcción de un modelo, se sintetiza en pocas variables el funcionamiento de un aspecto complejo, y puede lograrse por medio de la sistematización de las siguientes fases de construcción del modelo:

- a) **Conceptualización:** Es la Comprensión Mental del sistema, hay que definir de los elementos que componen el sistema abstracto y las relaciones que hay entre ellos.
- b) **Formulación:** Representación por medio del Lenguaje Formal.
- c) **Evaluación:** Establecer criterios para Evaluar la veracidad del modelo como representante del estudio del sistema y emitir un juicio de aceptación.

La **simulación** consiste en construir una herramienta que actúe como el sistema de interés en algunos aspectos importantes. La construcción se hace basada en interrelaciones hipotéticas entre variables del sistema tratando de darles validez a estas relaciones con ayuda de los datos tomados del sistema real. La simulación permite ver claramente los efectos en los que el sistema real es sometido a causa de la varianza ocurrida en procesos estocásticos. Los expertos en optimización de

<sup>11</sup> MONTGOMERY, Douglas c. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS. 2 Ed. México D.F: Limusa Wiley. 2004

<sup>12</sup> Adaptado de: KELTON, David. SIMULATION WITH ARENA. Boston: Mc Graw-Hill. 1998.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

procesos aconsejan simular porque la simulación es un experimento de las interrelaciones complejas de un sistema productivo que estudia las causas y los efectos en algún cambio de los mismos, permite verificar las soluciones de los modelos analíticos de inventarios y manejo de costos.

Como requerimientos para simular se necesita información como:


- Diagrama de Flujo
- Distribución de Planta
- Flujo de Materiales
- Recursos utilizados
- Inventarios de Producción
- Objetivos de administración
- Planeación del Horizonte de Producción y/o Operaciones.

Como beneficios, se puede simular para:

- Reducción de Costos.
- Mejoramiento en el Diseño de los puestos de trabajo.
- Identificación de los recursos cuellos de botella
- Medición del impacto de las alternativas para aumentar la capacidad de los recursos cuellos de botella
- Incremento del “Throughput”
- Reducción de Inventarios
- Clientes Satisfechos
- Calidad Total

### **3.6. MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD:**

La filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad contiene un enfoque sistémico para diseñar programas de mantenimiento que aumenten la

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

confiabilidad de los equipos a un mínimo costo y riesgo; para ellos, se combinan aplicaciones de mantenimiento preventivo, predictivo y monitoreo de condiciones. El objetivo es conservar en funcionamiento el sistema productivo y predecir sus momentos y causas de falla para anticipar las acciones necesarias en aras de recuperar la capacidad productiva del sistema<sup>13</sup>.

### 3.6.1. Indicadores de Confiabilidad:

Teniendo en cuenta los estudios de confiabilidad de la Asociación Colombiana de Ingenieros, los indicadores de confiabilidad se definen como mediciones del funcionamiento o desempeño de un sistema o un recurso en específico, con el fin de analizar su servicio, compararlo y también, permiten medir la efectividad de las decisiones que se tomen en aras de mejorar la disponibilidad del mismo.

- Tiempo medio entre fallas (MTBF): Es uno de los indicadores más útiles para el estudio del comportamiento de los equipos o componentes ya que facilita evaluar la eficiencia del mantenimiento. También se define como el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. La fórmula con la cual se obtiene este indicador es la siguiente:


$$MTBF = (TTO - TTR) / \# \text{ fallas}$$

Donde: TTO = Tiempo Total Operado

TTR = Tiempo Total en Reparación

# fallas = Número de fallas ocurridas durante el tiempo evaluado.

<sup>13</sup> Certificación de confiabilidad. Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM. 2008.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- Tiempo Medio Para Reparar (MTTR): Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad. Su cálculo se hace de la siguiente manera:

$$MTTR = TTR / \# \text{ fallas}$$

- La confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema, equipo o producto desempeñe su función de una manera satisfactoria por un período de tiempo determinado, siendo utilizado bajo ciertas condiciones específicas de operación. Matemáticamente, la confiabilidad es la tasa de fallas de un equipo que se calcula de la siguiente manera


$$\text{Confiabilidad} = e^{-\lambda t}$$

Donde:  $\lambda$  = Tasa de fallas = N° de Fallas / Intervalo de tiempo (t) = 1 / MTBF

- Disponibilidad: Es la probabilidad de un sistema de estar en condiciones de funcionamiento en determinado tiempo. El sistema no debe haber tenido fallos, o bien, en caso de haberlos tenido, debe haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento.

La disponibilidad es una función que permite calcular el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. La disponibilidad no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar. Este indicador se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Disponibilidad} = MTBR / (MTBR + MTTR)$$

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

#### 4. DIAGNÓSTICO OPERATIVO DEL ÁREA DE CROMATOGRAFÍA


En el área de cromatografía, los niveles de producción durante el año 2.009 fueron de más de 45.000 análisis químicos. Para alcanzar dicha cantidad, en el puesto de trabajo se debe laborar las 24 horas del día dividido en tres turnos de trabajo:

- Turno A: De 6:00am a 2:00pm
- Turno B: De 2:00pm a 10:00pm
- Turno C: De 10:00 pm a 6:00am

En cada turno hay un operario bajo el cargo de “*Técnico de Laboratorio*” que es el responsable de llevar a cabo las tareas operativas del puesto y cuyas funciones están definidas en el Manual de Gestión de Calidad ISO 17025 Versión 2005.

Las funciones de los técnicos no se limitan solamente a hacer los análisis químicos, ellos también deben ejecutar planes de mantenimiento preventivo para los cromatógrafos, atender a los ingenieros de procesos que vienen de las plantas a verificar los resultados no esperados de los análisis, asistir a reuniones diarias de la Coordinación, etc. Analizando dichas funciones, las tareas del puesto de trabajo se pueden clasificar en 2 grupos:

- Funciones con una programación definida: Son las funciones que componen el desarrollo de todos los procedimientos de análisis químicos que son programados y demás actividades que de antemano a su ejecución, se tiene una programación de ocurrencia, como por ejemplo la calibración de los equipos y la verificación de los estándares con la Norma ASTM.
- Funciones eventuales y/o contingentes: Son funciones que deben desarrollar los Técnicos cuya planeación no ha sido definida pero están contempladas en

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

el manual de funciones de dicho cargo, por ejemplo: Realizar análisis de productos donde se emite un visto bueno para su venta, atender clientes de las unidades productivas del complejo, asistir a reuniones eventuales por parte de la administración de la coordinación, etc.

#### **4.1. Análisis de actividades programadas en el puesto de Cromatografía**

Quizá la labor principal de los técnicos en los diferentes puestos de trabajo del Laboratorio es la de desarrollar procedimientos químicos que midan las características de calidad de los productos, y sabiendo que en la mayoría de las veces, dichos procedimientos tienen una planeación, se hace necesario hacer una administración de los métodos de trabajo para obtener ventaja competitiva. Además, administrando estas funciones se hace un futuro estudio de tiempos que permita medir la capacidad del puesto de trabajo y la carga laboral del técnico en turno.

Hay que tener en cuenta que los procedimientos químicos que son observados en el estudio de métodos son los que arrojan como resultado un informe requerido para un cliente o hacen parte del mantenimiento preventivo de los Cromatógrafos y que para llevarlos a cabo se requiere un consumo de hora máquina y/o hora hombre en su ejecución.

#### **4.2. Selección de Referencias Vitales**

En la actualidad, los métodos de análisis del puesto de cromatografía conforman un grupo de 28 procedimientos aproximadamente, con un volumen de producción cerca a los 45.000 métodos en el año. La tabla 1 muestra los métodos bajo los cuales se llevaron a cabo los análisis químicos en el puesto de trabajo durante el año 2009 en los cuales se registraron un total de 49.483 análisis desarrollados.

La tabla 1 también incluye una frecuencia relativa (*f.r*) la cual revela el porcentaje que cada método de análisis implica en el marco muestral de datos analizados. Se observa que no todos los métodos tienen una frecuencia de ocurrencia similar, lo que conlleva a pensar que no es necesario examinar todos los análisis.

*Tabla 1. Resumen de los métodos realizados en el puesto de análisis de Cromatografía durante un año de operación.*


	<b>METODO</b>	<b>n</b>	<b>f.r</b>	<b>f.r.a</b>		<b>METODO</b>	<b>n</b>	<b>f.r</b>	<b>f.r.a</b>
1	ASTM D 2163	11871	23,99%	23,99%	12	UOP 394	787	1,59%	94,25%
2	ASTM D 1838	10892	22,01%	46,00%	13	ASTM D 5580	752	1,52%	95,77%
3	ASTM D 4424	4196	8,48%	54,48%	14	ASTM D 1946	683	1,38%	97,15%
4	ASTM D 6667	4132	8,35%	62,83%	15	ASTM D 2158	257	0,52%	97,67%
5	ASTM D 2712	3533	7,14%	69,97%	16	ASTM D 2504	297	0,60%	98,27%
6	ASTM D 5504	2900	5,86%	75,83%	17	UOP 555	242	0,49%	98,76%
7	UOP 603	2271	4,59%	80,42%	18	ASTM D 4492	178	0,36%	99,12%
8	ASTM D 3054	1955	3,95%	84,37%	19	ASTM D 2360	153	0,31%	99,43%
9	ASTM D 1945	1806	3,65%	88,02%	20	ASTM D 6304	124	0,25%	99,68%
10	ASTM D 5186	1440	2,91%	90,93%	21	ASTM D 1319	109	0,22%	99,90%
11	ASTM D 3797	856	1,73%	92,66%	22	ASTM D 5453	49	0,10%	100,00%

*Fuente: SILAB*

Por medio de la ley de Pareto, se identifican los pocos elementos que representan las referencias vitales y analizando las tareas de dichos elementos es posible hacer un análisis de los métodos de trabajo de los procedimientos de análisis químico de una forma objetiva y poco dispendiosa, y es por esto que en la tabla 4.1 se anexó la frecuencia relativa acumulada (*f.r.a*).

#### **4.3. Reconocimiento del Proceso Productivo:**

A pesar que los técnicos son muy autónomos en su trabajo, los procedimientos para el desarrollo confiable de los análisis químicos que se hacen en el laboratorio


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

están estandarizados por dos organizaciones internacionales mayoritariamente encargadas de normalizar la elaboración de dichos análisis a fin de medir la incertidumbre en el resultado. Las dos Organizaciones citadas anteriormente son la “American Society for Testing and Materials” (ASTM), y la Compañía “Universal Oil Products” (UOP).


En la relación 80/20 de Pareto, 8 de los 26 métodos de análisis (el 30.78% del total de métodos) abarcan el 81.37% de todas las tareas programadas del puesto de Cromatografía. Durante la observación de las actividades de estos 8 métodos y apoyándose en el conocimiento de los técnicos, los procedimientos de análisis químico que son planeados se pueden clasificar en los siguientes 4 grupos de proceso:

1. Procedimiento para muestra de Gases: La bala donde está contenida la muestra se inspecciona con el fin de asegurarse que haya muestra en el recipiente y que tenga una rotulación clara que permita su identificación. La muestra se inyecta en un Cromatógrafo previamente preparado el cual lleva a cabo el proceso de separación física. Al finalizar el análisis y desde un computador, el técnico calcula los valores de referencia del método, hace las respectivas comparaciones con resultados estándares y sube nuevamente al sistema de información el resultado que esperan los funcionarios de la planta de donde es proveniente la muestra. Este procedimiento incluye los siguientes métodos<sup>14</sup>:
  - ASTM D 2163: Es un análisis químico que permite determinar la composición de los gases licuados de petróleo (GLP).

<sup>14</sup> Libro anual de estándares ASTM Vol. 05.01

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- ASTM D 6667: Es un procedimiento que permite determinar la cantidad de azufre volátil total en hidrocarburos gaseosos y gases licuados del petróleo. Su diferencia radica en la aplicación de técnicas como la fluorescencia ultravioleta.
  - ASTM D 2712: Análisis químico que mide las trazas de hidrocarburos en propileno concentrado.
  - ASTM D 5504: Este método de ensayo es fundamentalmente para la determinación de componentes volátiles que contengan azufre en combustibles gaseosos de alto contenido de metano como el gas natural. Ha sido aplicado exitosamente a otros tipos de muestras gaseosas incluyendo aire, gas combustible, vertedero y digestor.
  - UOP 603: Este método aplica para la determinación de bajas concentraciones (0.5 a 500 mol-ppm) de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en hidrogeno de alta pureza y en otras muestras en fase gaseosa.
  - ASTM D 3054: Este método de ensayo determina las impurezas de hidrocarburos típicamente encontradas en el ciclohexano.
2. Procedimiento para muestra de Líquidos: La muestra llega en una botella con 300 ml de producto aprox. La botella se inspecciona para revisar que la muestra cumpla con las condiciones de calidad exigidas por el laboratorio en la realización de los análisis, además se mira que la identificación sea clara. Seguidamente se transfiere una cantidad de un estándar interno a un balón aforado o un Vial y posteriormente se pesa y se registra el dato. Después se transfiere una cantidad de muestra formando una mezcla que debe ser

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

nuevamente pesada y registrada. Una vez se ha preparado la mezcla en el vial, este se lleva al Cromatógrafo de líquidos donde se deja correr el análisis y los resultados son analizados y registrados por el técnico de turno en el sistema de información para que los operadores de la planta de donde es proveniente la muestra revisen los resultados. Este procedimiento incluye los siguientes métodos:


- ASTM D 5580: Es un método cromatográfico que permite determinar la cantidad de aromáticos pesados y aromáticos totales en gasolina terminada.

### 3. Procedimiento para Análisis de Corrosión

- ASTM D 1838: Este ensayo detecta en el gas licuado del petróleo, la presencia de componentes que pueden ser corrosivos para el cobre. Se sumerge una lámina de cobre pulida en aproximadamente 100 ml de la muestra y se expone a una temperatura de 37.8°C (100°F) durante una hora en un cilindro diseñado para la presión de trabajo. Al final de este período se retira la lámina de cobre, se compara y ubica en una de las cuatro clasificaciones de los estándares de corrosión de cobre.

4. Procedimiento para Análisis de Humedad de Productos: No hay ningún método contenido en el análisis Pareto, pero se analizan porque son un pequeño grupo de métodos que se desean estudiar ya que se cree que en la elaboración de un solo análisis se consume mucho tiempo de los técnicos. El método más común de Humedad es el ASTM D 6304 que permite determinar los materiales extraños que se encuentran presentes en los gases licuados del petróleo a una temperatura superior a los 38°C.

La razón principal por la cual se agrupan los métodos de trabajo de los productos en estas 4 clases, es debido a que las actividades que estructuran el desarrollo de

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

los análisis son muy parecidas y se hace tal afirmación teniendo en cuenta los siguientes criterios asociadores pero diferenciadores a la vez:


- El estado físico de las muestras es el mismo (Gas o líquido), por ende, los equipos donde se desarrollan los análisis son iguales. Esto guarda una relación de hombre-máquina similar.
- Los recipientes contenedores de las muestras que llegan al puesto de trabajo son iguales, por lo que actividades tales como inspeccionar y preparar la muestra, o limpiar el recipiente requieren de las mismas acciones al ser realizadas.

#### **4.4. Diagramas de los Procesos Productivos:**


En el anexo A del presente informe, se incluyen los 4 diagramas generales de las operaciones donde están incluidos los métodos que conforman el Pareto. Estos diagramas son una colección de las actividades e inspecciones que actualmente hacen los técnicos en el desarrollo de los procedimientos.

También está incluido el diagrama de recorrido general que muestra un plano de la distribución física del laboratorio, del cual, se hace necesario hacerlas siguientes aclaraciones:

- Línea de desluzamiento 1: Muestra el recorrido que hace el técnico al llevar las muestras desde la recepción al punto de red del SILAB con el fin de registrar su llegada. Es un recorrido que debe hacerse para todas las muestras que llegan a cromatografía.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- Línea de desplazamiento 2: Indica el recorrido que se hace al llevar la muestra al respectivo equipo de análisis. Esta distancia depende del tipo de análisis que se deba hacer para asignarlo a su respectivo equipo.
- Línea de desplazamiento 3: Es un retorno que hace el técnico desde el equipo al punto de red del SILAB. Generalmente, el técnico debe regresar para especificar las condiciones de desarrollo del análisis. Además, es en el punto de red desde donde se acciona el equipo para que comience a trabajar.
- Línea de desplazamiento 4: Es la ruta a seguir una vez el análisis químico ha sido desarrollado. Bajo esta ruta se lleva el recipiente a la cabina de extracción y se deja en el punto de recepción para su respectivo abandono del sistema.


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **5. ESTUDIO DE TIEMPOS:**

Teniendo en cuenta las observaciones previas del análisis de los métodos desarrollados en el puesto de trabajo, el tipo de estudio de tiempos que se va a llevar a cabo es MUESTREO DE TRABAJO porque es la técnica que más se ajusta a la investigación de las proporciones del tiempo total dedicadas a diferentes actividades que conforman una tarea, actividad o trabajo. Además, esta técnica suministra más información útil para analizar la carga laboral ya que permite calcular tiempos tipo, medir la eficiencia de operadores, determinar porcentajes de suplementos de una tarea, etc.

Para establecer el consumo de la mano de obra directa, se deben definir claramente las actividades en las que se considera a un Técnico de Laboratorio en el estado ACTIVO. Dichas actividades fueron clasificadas y definidas de la siguiente manera:

- 1) Desarrollo de Análisis de Gases.
- 2) Desarrollo de Análisis de Corrosión.
- 3) Desarrollo de Análisis de Líquidos.
- 4) Desarrollo de Análisis de Humedad.
- 5) Atendiendo al Público: Por lo general, el técnico del área dedica parte de su tiempo útil en atender inquietudes de los técnicos de otras áreas, de los supervisores del laboratorio, de los profesionales de la coordinación, y algunas veces también atiende a los operadores de las diferentes plantas quienes van personalmente a revisar los resultados de los análisis.
- 6) Registro de datos en el sistema: Aquí, el técnico está registrando la recepción de muestras, o calculando datos, o analizando resultados, o cualquier otra actividad donde se dedique a la analítica química o donde sea indispensable el SILAB.


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- 7) En reunión: Generalmente son reuniones sistemáticas programadas o reuniones convocadas por el supervisor de turno (las más comunes) a las que los técnicos deben asistir.
- 8) Limpieza de Balas: Las balas son los recipientes donde vienen contenidas las muestras en estado gaseoso (cerca del 85% del total de muestras que llegan a cromatografía). Es una actividad que se le quiere hacer seguimiento ya que si se evidencia un alto porcentaje de ocupación de los técnicos debido a esta actividad, se podría evaluar una propuesta en la que se derogue la limpieza de las balas a otra persona con el fin de suavizar la carga del técnico de turno.

De igual forma se deben definir claramente los estados en los que se clasifica la inactividad de los técnicos:

- 11) Suplementos: Es el momento en el que el técnico está atendiendo sus necesidades personales, se incluye actividades como ir a almorzar, ir al baño, etc.
- 12) Sin Carga: No hay requerimientos de análisis pendientes, por tal razón el técnico dedica su tiempo a hacer otras actividades que difieren del fin productivo del laboratorio.
- 13) Atendiendo asuntos no laborales: También se identificaron momento en los que el técnico detiene sus necesidades por atender más que todo cuestiones familiares o compromisos personales.
- 14) Fuera del Lugar de Trabajo: El técnico se encuentra por fuera del puesto de análisis sin una justificación razonable.

La manera como se determina el porcentaje de utilización de los equipos es similar a la de los técnicos, tiene la misma importancia y es más sencillo definir los múltiples estados en los que los equipos se consideran en estado ACTIVO o INACTIVO:

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- 1) Activo: Se considera en estado activo el equipo que se encuentra en preparación para hacer un análisis o está analizando una muestra.
- 2) Sin carga Laboral: El equipo se encuentra disponible pero no está realizando ningún análisis debido a que no hay requerimientos de servicio pendiente por parte de los clientes.
- 3) Fuera de Servicio: Es un estado de inactividad en el cual el equipo entra a mantenimiento preventivo o correctivo y deja de estar disponible.

En el Anexo B están disponibles los formatos que fueron diseñados en el estudio de tiempos. En el formato “Recolección en Campo” se indica el momento en el que se debe hacer la observación y posterior registro del dato acerca del estado del Técnico en turno y de los equipos de análisis químico. El dato del momento en el que se debe hacer la observación fue generado utilizando el generador de números aleatorios de Microsoft Excel. También está el Formato de “Reporte Diario de Muestreo de trabajo” donde se resumen las actividades, con sus respectivos porcentajes en las que el técnico invirtió su tiempo, y se incluye además el estado de ocupación de los cromatógrafos.

### **5.1. PREMUESTRA:**

Siguiendo la metodología del muestreo de trabajo, se tomó una premuestra entre el 23 de febrero al 26 de Marzo del 2010. Se hizo una evaluación del desempeño de los seis técnicos de turno en un total de 1281 observaciones, las observación se realizaron de manera aleatoria en intervalos de tiempo de 10 minutos. La Tabla 2 muestra los resultados resumidos de la premuestra, donde  $n$  indica la cantidad de observaciones tomadas a cada Técnico con su correspondiente porcentaje de tiempo activo. También, se incluye un dato del error asociado al nivel de confianza requerido por el analista de tiempos, el cual, se obtiene mediante la ecuación 5.1:

$$\varepsilon_{MUESTRA} = Z \sqrt{\frac{pq}{n}} \quad (5.1)$$

Para un nivel de confianza del 95%, el valor del estadístico de prueba Z es 1,96. Las medidas de desempeño de la premuestra son:

- $\overline{Valoración} = 97.45$
- $\bar{p} = \left( \sum_{i=1}^6 p_i n_i \right) * \frac{\overline{Valoración}}{100} = 67,68\%$
- $\bar{q} = 1 - \bar{p} = 1 - 0,6768 = 32,32 \%$
- Duración de la premuestra = 216 horas.

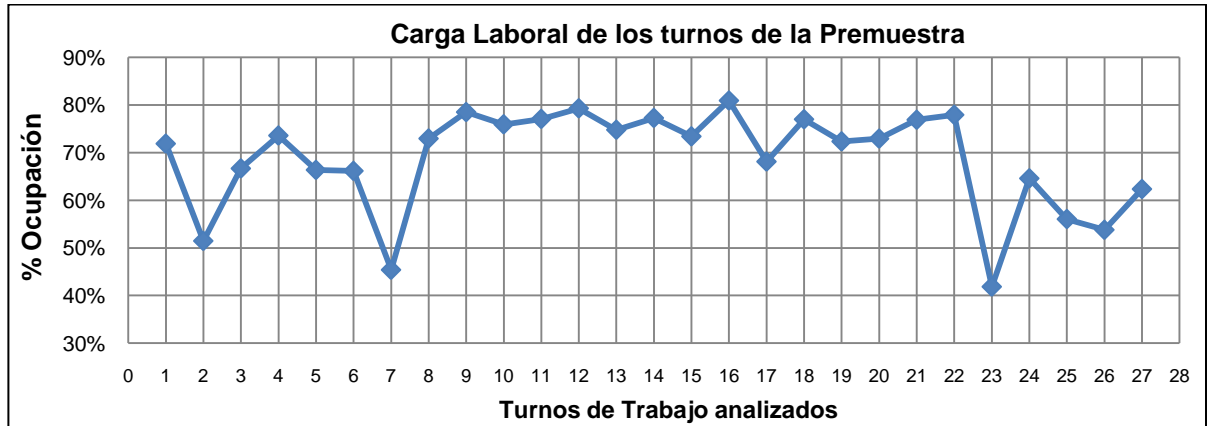
Tabla 2. Resultados en la premuestra del estudio de tiempos.

PREMUESTRA												
TURNO	Técnico 1		Técnico 2		Técnico 3		Técnico 4		Técnico 5		Técnico 6	
	n	% Oc.	n	% Oc.	n	% Oc.	n	% Oc.	n	% Oc.	n	% Oc.
A	45	71,86%	186	75,80%	-	-	45	74,96%	93	75,06%	-	-
B	48	69,48%	144	76,42%	48	66,67%	144	71,79%	96	74,66%	96	72,36%
C	48	42,06%	96	48,43%	-	-	48	47,75%	96	51,99%	48	62,08%
total	141	60,91%	426	69,84%	48	66,67%	237	67,52%	285	67,16%	144	68,94%
Error	8,22%		4,45%		13,61%		6,08%		5,56%		7,71%	

Fuente: Autor.

La gráfica 4 presenta un resumen del porcentaje de ocupación de cada turno de trabajo observado. Esta gráfica es una representación visual prematura de la variabilidad de carga laboral entre los turnos de trabajo. Es de gran utilidad para detectar los elementos cuyo comportamiento tiende a ser diferente, por ejemplo, los turnos 2, 7 y del 23 al 27 tienen caídas significativas en su porcentaje de ocupación y éstas ameritan a un análisis más profundo.

Gráfica 4. Carga Laboral de los turnos analizados en la premuestra.




Fuente: Autor del Proyecto.

## 5.2. RECOLECCIÓN DE DATOS:

Los datos faltantes fueron obtenidos mediante un trabajo en campo realizado entre el 5 al 22 de Abril del 2010, se hicieron las observaciones de tal forma que se siguieran registrando datos de todos los Técnicos desempeñándose en los diferentes Turnos. Entre el 23 de Febrero al 22 de Abril, se recogieron un total de 2060 observaciones en 44 turnos de trabajo; la duración del estudio fue de 352 Horas. El Anexo B contiene un resumen más detallado de la información obtenida.

La tabla 3(a) presenta la cantidad total de datos recogidos durante el estudio de tiempos agrupados por técnicos. Algunos técnicos presentan un porcentaje de error superior al 5%, pero se consideran datos aceptados porque su diferencia es despreciable, también se tiene en cuenta que la información agrupada de los turnos presentados en la tabla 3(b) (cuyos datos muestran la información resumida por turnos), tienen un error inferior al 5%.

Tratando de buscar los motivos por los que hay tanta variación en el porcentaje de ocupación, el estudio de tiempos se fragmenta analizando por separado a cada

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

técnico y a cada turno respectivamente. Ahora, el nivel de confianza permitido en cada turno y para cada técnico es del 95% dejando como error permitido un 5%.

*Tabla 3(a). Resultados generales del Estudio de tiempos.*

TOTAL												
TURNO	Técnico 1		Técnico 2		Técnico 3		Técnico 4		Técnico 5		Técnico 6	
	n	% Oc.	n	% Oc.	N	% Oc.	n	% Oc.	n	% Oc.	n	% Oc.
<b>A</b>	135	56,88%	186	75,80%	179	69,83%	88	73,11%	185	78,06%	135	70,04%
<b>B</b>	96	69,95%	144	76,42%	96	70,73%	144	71,79%	144	77,20%	96	72,36%
<b>C</b>	96	50,93%	96	48,43%	48	41,70%	48	47,75%	96	51,99%	48	62,08%
<b>total</b>	327	58,97%	426	69,84%	323	65,92%	280	68,08%	425	71,88%	279	69,47%
<b>Error</b>	5,44%		4,45%		5,27%		5,57%		4,36%		5,51%	

*Tabla 3(b) Resultados generales del estudio de tiempos.*


TURNO	n total	p	q	Desv. Estándar	Error
<b>A</b>	908	71,15%	28,85%	10,83%	3,01%
<b>B</b>	720	73,49%	26,51%	7,53%	3,29%
<b>C</b>	432	50,47%	49,53%	7,20%	4,81%
<b>TOTAL</b>	2060	67,63%	32,37%	12,13%	2,06%

*Fuente: Autor del Proyecto.*

### **5.3. DIAGRAMAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

Los diagramas de Control utilizados en el control estadístico de calidad se pueden adaptar con facilidad a los estudios de muestreo de trabajo. Como este estudio trata con porcentajes o proporciones de tiempo activo, el diagrama “p” se emplea con mucha frecuencia.

Para la aplicación de esta técnica, se debe tener clara la teoría de lo diagramas de control y en un proyecto como este, no es un objetivo citarla con profundidad y es por esta razón que a continuación se mencionan generalidades.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Como principal característica de un diagrama de control está la definición de sus valores límites llamados *Límite Superior de Control (LSC)* y *Límite inferior de Control (LIC)*, entre estas líneas, se encuentra la *Línea Central (LC)* que representa la característica muestral sin ninguna alteración de la desviación estándar. La manera como se calculan estos valores es siguiendo el modelo:

$$LSC = E(C) + k\sqrt{\text{Var}(C)} \qquad LC = E(C) \qquad LIC = E(C) - k\sqrt{\text{Var}(C)}$$

Este modelo define a  $E(C)$  como la media de la característica de calidad,  $\sqrt{\text{Var}(C)}$  como la desviación estándar y  $k$  es el número de desviaciones estándar aceptables en que los límites se pueden alejar de la Línea Central. Al adaptar el modelo al control de las proporciones, los límites se definen de la siguiente manera:

$$\cdot LSC = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \qquad \cdot LC = p \qquad \cdot LIC = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Donde  $p$  representa el parámetro del porcentaje de ocupación y  $n$  número de observaciones en cada turno (si el número de observaciones no es el mismo en todos los turnos, este valor será el promedio de las observaciones). Se aceptan tres desviaciones estándar como una práctica común debido a que si el parámetro  $p$  se distribuye aproximadamente de forma normal, la probabilidad de asegurar que un proceso está bajo control cuando las observaciones se encuentran entre sus límites es de 99,74%.

Ahora, al aplicar esta teoría en el estudio de muestreo de trabajo, se inicia asegurando que no se conoce algún valor representativo del porcentaje de ocupación y por ende la línea central estará representada por el valor estimado  $\bar{p}$ , además, la prueba de hipótesis que se adopta es que si algún dato cae por fuera de los límites de control, se puede decir que dicho dato no será representativo y

no será tenido en cuenta para la estimación del parámetro “p”. Al eliminar los datos que no sean representativos, los límites de control y la línea central de tendencia deben ser reajustados calculando nuevamente el estimado  $\bar{p}$  y la desviación estándar muestral.

La representación visual de las gráficas de control está incluida en el Anexo C, y se prosigue a dar una explicación de cada turno de trabajo analizado:

- **TURNO A:** Su estudio está compuesto por 20 turnos analizados, la tabla 4 resume las medidas de desempeño más importantes. La gráfica de control indica que hay turnos que se encuentran por fuera de los límites de control y que estos datos deben tener alguna justificación para presentar una distancia mayor a las 3 desviaciones estándar de la línea central. Los turnos del 9 al 11 presentan una tendencia decreciente y al buscar la justificación de dicho comportamiento, se encontró que durante esos días, la refinería tuvo problemas de energía eléctrica lo que ocasionó una apagada repentina de las plantas que representaban una alta demanda de trabajo.

*Tabla 4. Medidas de desempeño de la gráfica de control en Turno A*

<b>Medidas de Desempeño Turno A</b>			
<b>n</b>	45,4	<b>LSC</b>	91,32%
$\bar{p}$	71,15%	<b>LC</b>	71,15%
$\sigma_p$	6,72%	<b>LIC</b>	50,98%

*Fuente: Autor del Proyecto.*

El porcentaje de ocupación del turno 16 parece estar muy cerca del actual límite de control y al reajustar los límites se teme que dicho valor quede por fuera. En los registros de operación del Laboratorio, no hay una razón por la cual este turno presente este índice de ocupación tan bajo, solo se conoce que ese día no llegó la totalidad de muestras pactadas en la rutina de trabajo ni llegaron muestras adicionales para análisis de visto bueno. Se decide que

este dato debe ser eliminado ya que sin conocer una razón válida, se sabe que el laboratorio hace parte de un sistema productivo donde hay muchos factores que alteran las operaciones y la producción, y que es probable que un valor como el del turno 16 no sea representativo para estimar  $p$ .

Al eliminar los datos que se consideran poco representativos y al reajustar las líneas del diagrama de control, la tabla 5 presenta las nuevas medidas de desempeño.

Tabla 5. Medidas de desempeño de la gráfica de control reajustada Turno A.

Medidas de Desempeño Turno A			
<b>n</b>	45,44	<b>LSC</b>	94,97%
$\bar{p}$	75,95%	<b>LC</b>	75,95%
$\sigma_p$	6,34%	<b>LIC</b>	56,93%

Fuente: Autor del Proyecto.

- TURNO B: Su estudio está compuesto por 15 turnos analizados. En la gráfica del Anexo C se observa que no hay ningún dato que salga de los límites de control, esto nos permite deducir que toda la muestra de dicho turno es representativa y que no es necesario realizar reajustes a las medidas de desempeño. La tabla 6 resume las medidas de desempeño más importantes.

Tabla 6. Medidas de desempeño de la gráfica de control en Turno B.

Medidas de Desempeño Turno B			
<b>n</b>	48	<b>LSC</b>	92,72%
$\bar{p}$	73,63%	<b>LC</b>	73,63%
$\sigma_p$	6,36%	<b>LIC</b>	54,53%

Fuente: Autor del Proyecto.

- TURNO C: Este turno se estudió analizando una muestra de 9 turnos de trabajo. Al igual que el estudio del Turno B, su respectiva gráfica de control no presenta observaciones de turnos que dejen de ser representativas porque se

encuentren por fuera de los límites de control, por tanto no se puede afirmar que la muestra deje de ser representativa para dar un valor estimado del porcentaje de ocupación y por ende, no se hace ningún reajuste de los límites de control. La tabla 7 presenta las medidas de desempeño más importantes en la construcción de la gráfica de control.

Tabla 7. Medidas de desempeño de la gráfica de control en Turno C.

Medidas de Desempeño Turno C			
<b>n</b>	48	<b>LSC</b>	74,56%
$\bar{p}$	52,95%	<b>LC</b>	52,95%
$\sigma_p$	7,20%	<b>LIC</b>	31,33%

Fuente: Autor del proyecto.

#### 5.4. CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN


Para obtener un valor de los tiempos básicos y tiempos tipos de operación, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\text{tiempo básico} = \frac{\% \text{ de Actividad} * \text{Duración del estudio} * \text{Prom. Valoraciones}/100}{\text{Número de unidades o servicios generados}}$$

$$\text{tiempo tipo}^{15} = \frac{\text{tiempo básico}}{(1 - \text{Porcentaje de Suplementos})}$$

- Duración del estudio: El estudio se realizó desde el 23 de Febrero al 22 de Abril del 2010. En total, el trabajo de campo duró 352 horas (21120 minutos).
- El conjunto de tiempos se definen de la siguiente manera:

<sup>15</sup> Fuente: ORTIZ Néstor Raúl, ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE PROCESOS DE LA EMPRESA. 2008.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- a) El tiempo básico 1 es el tiempo que invierte el técnico en la realización de cada análisis respectivamente, están incluidas tareas como limpiar, revisar, retirar etiquetas, pulir las láminas de corrosión, etc.
  - b) El tiempo básico 2 es el tiempo básico 1 más un porcentaje de tiempo adicional por actividades que se relacionan con el manejo de la información en el SILAB. Por ejemplo, podemos citar actividades como registrar el ingreso de las muestras, registrar los resultados de los análisis, etc. Este tiempo se excluye del tiempo básico 1 debido a que durante el muestreo no fue posible asociar la ejecución de estas actividades al desarrollo de un análisis en específico. El tiempo básico 2 es el que determina la verdadera duración de todas las tareas contempladas en el diagrama de operaciones.
  - c) El tiempo básico 3 es el tiempo que incluye el porcentaje de tiempo correspondiente a las actividades que mantienen ocupados a los técnicos, como por ejemplo atender a las personas, o hacer aseo en el puesto de trabajo. Se decide hacer la diferencia con el tiempo básico 2 porque estas actividades no hacen parte del desarrollo de análisis químicos y si consumen tiempo activo de los analistas.
  - d) El tiempo tipo es el tiempo que incluye los tiempos activos, los tiempos inactivos y los suplementos.
- El siguiente cuadro presenta información necesaria para el cálculo de los tiempos básicos como el porcentaje de actividad y los análisis realizados durante el estudio:

N°	Descripción	p*Val Prom/100	c/dad análisis producidos
1	Análisis de Gases	15,10%	1066
2	Corrosión	10,25%	328
3	Análisis Líquidos	3,04%	117
4	Humedad	1,49%	33

La tabla 8 presenta el cálculo del conjunto de los tiempos requeridos para hacer un análisis adecuado de la carga laboral de cromatografía.

*Tabla 8. Conjunto de tiempos de operación en cromatografía.*

Tiempos en Minutos						
Tipo de análisis		c/dad	t.bás1	t.bás 2	t.bás 3	t. total
1	Análisis de Gases	1066	2:43	3:44	4:33	7:50
2	Corrosión	328	6:00	8:15	10:03	17:17
3	Análisis Líquidos	117	4:59	6:51	8:20	14:21
4	Humedad	33	8:40	11:56	14:32	25:00


*Fuente: Autor*

Los tiempos presentados en la tabla 8 son los tiempos del desarrollo de un análisis que pertenezca a un proceso en general, pero dicha tabla no muestra el tiempo que dura el desarrollo de un análisis incluyendo los tiempos en máquina.

### **5.5. IMPACTO DE LAS POLÍTICAS DE NEGOCIACIÓN CON LOS CLIENTES:**

Uno de los intereses por los cuales se realizó este proyecto, fue el de estudiar las causas que afectan la cantidad de análisis que se realizan en cromatografía. Al identificar los factores, se deduce que muchos de ellos están relacionados con los procesos de producción de la refinería afuera del laboratorio y otros tantos son factores exógenos que son poco o nada controlables, como por ejemplo, los cambios climáticos o la demanda de productos en el mercado de la refinación de hidrocarburos, etc.

Para poder medir el impacto de dichos factores causantes de variación, se necesitaría información que la administración del laboratorio no tiene. Además, es imposible capturar y registrar esta información por medio de un trabajo de campo, ya que el plazo de tiempo requerido es muy superior al contemplado en el cronograma para el desarrollo del presente proyecto. Por ejemplo, cada cierto tiempo, las plantas de la refinería deben parar su proceso de producción para

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

realizar los mantenimientos que solo se pueden hacer mientras las plantas están apagadas. Las plantas que se encuentran por fuera de servicio, son un factor externo al laboratorio que causa variación en la carga laboral de cromatografía, y al haber cerca de 67 plantas de producción, donde se conoce que, en promedio, demoran entre 20 a 35 días apagadas por mantenimiento, hacen necesario realizar un trabajo de campo muy extenso para poder medir efectivamente el impacto del factor “Plantas Apagadas”. Otro ejemplo son los cambios climáticos, se debería conocer la cantidad de solicitudes que llegan al puesto de trabajo en periodos de sequías y de lluvias, lo que de igual manera, se prolongarían las mediciones sobre la incidencia de este factor en la carga laboral. Es por esta razón que no se estudian los factores que, de una u otra forma, se controlan con las decisiones tomadas por la administración del laboratorio.

Se identifica como factor principal que altera la carga laboral en cromatografía a las políticas de negociación con los clientes. Para cuantificar dicho impacto, se estiman intervalos de confianza del porcentaje de ocupación esperado en cada turno de trabajo y así, se determina si hay diferencia significativa en el promedio de cada turno. Los datos utilizados en la estimación de los intervalos de confianza son los porcentajes de ocupación calculados en el estudio de tiempos por muestreo de trabajo. La tabla 9 presenta los datos utilizados y el procedimiento para la estimación de los intervalos de confianza. La gráfica 5 ilustra el intervalo de confianza de los turno de trabajo.

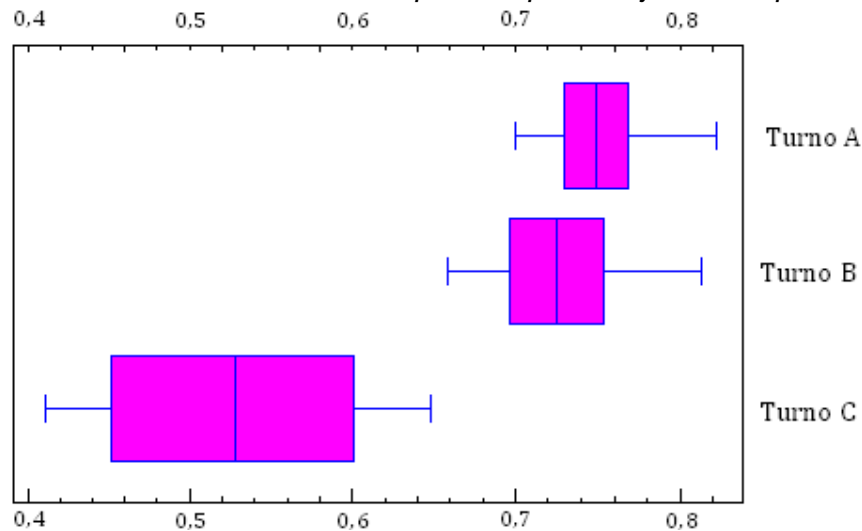
Del procedimiento anterior, se puede concluir que con las políticas actuales de negociación con los clientes, hay diferencia significativa en el promedio de la carga laboral esperada en cada turno de trabajo, lo que conlleva a pensar que la distribución de la carga laboral para los tres turnos de trabajo no es equitativa. Para respaldar el procedimiento anterior, se llevaron los valores de porcentaje de ocupación al SPSS, en el cual, se realizó un Análisis de Varianza y una Prueba Tukey.

Tabla 9. Estimación de Intervalos de Confianza para los porcentajes de ocupación de los turnos de trabajo

Día	Turno A	Turno B	Turno C
1	0,7186	0,6667	0,5146
2	0,7357	0,6635	0,4539
3	0,7295	0,6615	0,4185
4	0,7849	0,7726	0,6458
5	0,7592	0,7340	0,5604
6	0,7705	0,8091	0,5378
7	0,7928	0,6811	0,6234
8	0,7478	0,7698	0,4149
9	0,7116	0,7234	0,5958
10	0,7106	0,7292	-
11	0,7426	0,7688	-
12	0,8822	0,7792	-
13	0,8200	0,7638	-
14	0,7943	0,7021	-
15	0,7071	0,8188	-
16	0,7811	-	-
Promedio	0,7458	0,7254	0,5295
Desv Est	0,0284	0,0515	0,0860
Error	0,0220	0,0399	0,0737
<b>Lim. Inferior</b>	<b>0,7238</b>	<b>0,6855</b>	<b>0,4558</b>
<b>Lim Superior</b>	<b>0,7678</b>	<b>0,7653</b>	<b>0,6032</b>

. Fuente: Estudio de tiempos por muestreo de trabajo.

Gráfica 5: Intervalos de Confianza para los porcentajes de ocupación



Fuente: SPSS

Del procedimiento anterior, se puede concluir que con las políticas actuales de negociación con los clientes, hay diferencia significativa en el promedio de la carga laboral esperada en cada turno de trabajo, lo que conlleva a pensar que la distribución de la carga laboral para los tres turnos de trabajo no es equitativa.

Para respaldar el procedimiento anterior, se llevaron los valores de porcentaje de ocupación al SPSS, en el cual, se realizó un Análisis de Varianza y una Prueba Tukey. Los resultados del análisis de varianza se presentan en la tabla 10, donde se observa una diferencia significativa entre las tres medias de los turnos de trabajo.

Tabla 10. ANOVA para el porcentaje de ocupación para los tres turnos de trabajo.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Inter-grupos</b>	0,343	2	0,171	48,482	0
<b>Intra-grupos</b>	0,131	37	0,004		
<b>Total</b>	0,473	39			

Fuente: SPSS.


Los resultados de la prueba Tukey para las comparaciones múltiples se presentan en la tabla 11. De allí, se confirma que Turno C es el único que presenta diferencia significativa con los otros dos turnos, y que por ende, las políticas de negociación con los clientes no son equitativas para la distribución de carga laboral con los tres turnos de trabajo.

Tabla 11. Prueba Tukey para los porcentajes de ocupación.

\* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

De	A	Diferencia de medias	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite superior	Límite inferior
Turno A	Turno B	0,02554	0,02136	0,463	-0,0266	0,0777
	Turno C	,23233(*)	0,02477	<b>0</b>	0,1719	0,2928
Turno B	Turno A	-0,02554	0,02136	0,463	-0,0777	0,0266
	Turno C	,20678(*)	0,02506	<b>0</b>	0,1456	0,268
Turno C	Turno A	-,23233(*)	0,02477	<b>0</b>	-0,2928	-0,1719
	Turno B	-,20678(*)	0,02506	<b>0</b>	-0,268	-0,1456

Fuente: SPSS

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **6. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

Como principio, el reconocimiento del proceso productivo permitió tener un acercamiento de lo que se hace y de la forma como debe hacerse, pero tratando de resolver el problema referente a la cantidad de análisis químicos que pueden realizarse durante un turno de trabajo, dicho problema se aproxima a un dilema que es necesario resolver.

El área del cromatografía al estar sujeta al desarrollo de análisis bajo métodos estandarizados por organizaciones internacionales, hace que el resultado entregado sea confiable, pero al desarrollar el análisis de métodos de trabajo y el estudio de tiempos por muestreo de trabajo se detectaron algunas diferencias entre el desarrollo de un análisis planteado por las normas estandarizadas y el análisis realizado por los técnicos del puesto. El argumento ante dicha diferencia por parte de los técnicos es que a medida que aumenta la carga laboral en el turno (debido al aumento de análisis que se deben hacer), los técnicos optan por llevar a cabo ciertas acciones que hacen del tiempo real de un análisis menor y así, aumentar la capacidad de producción pero ponen en riesgo la calidad de los análisis. Como ejemplo, podríamos citar la omisión de tareas del diagrama de procesos, la modificación de las acciones que componen una tarea con el fin de disminuir su tiempo de ejecución, etc.

En cuanto al análisis de capacidad de producción, se van a analizar dos tipos de recursos, uno comprendido por las máquinas y equipos con los que se cuenta, y el otro recurso será el talento humano.

### **6.1. Tiempos por Cronómetro**

El estudio de tiempos por muestreo de trabajo permitió medir el tiempo real que gastan los técnicos haciendo los análisis pero este tiempo no puede ser utilizado

como parámetro para determinar la capacidad de producción en cromatografía porque se sospecha que no es el tiempo que mide las tareas de los procesos estandarizados. Para tal fin, se hace necesario tomar tiempos cronometrados midiendo la duración de las tareas de los procesos y se inició esta toma con una premuestra de 10 registros por tipo de análisis para calcular posteriormente el número de observaciones que se deben hacer.

Durante el registro de las observaciones, la coordinación de inspección de calidad acordó con cada uno de los seis técnicos para desarrollar paso a paso los análisis que irían a ser cronometrados de tal manera que se pudiesen identificar separada y claramente las tareas de los procesos. Se analizó, de igual manera la rapidez en la ejecución de las tareas mediante un proceso de valoración con una escala porcentual con el fin de determinar equitativamente el tiempo requerido por un operador normal para ejecutar una tarea.<sup>16</sup>

La tabla 12 resume algunas medidas de desempeño de la premuestra. Vale la pena resaltar que el error presentado en esta tabla fue obtenido mediante la ecuación 6.1 utilizando la desviación estándar de la premuestra y un estadístico de prueba cuyo nivel de confianza es de 95% y 9 grados de libertad.

$$\mathcal{E}_{MUESTRA} = t_{0.95;.9gl} \frac{\hat{s}}{\sqrt{n}} \quad (6.1)$$

Tabla 12. Medidas de desempeño de la Premuestra.

	n	Val. Prom.	Tiempo Prom. [min]	Desv. Est.	Error Premuestra
<b>Gases</b>	10	101,00	4,38	0,077	0,045
<b>Corrosiones</b>	10	100,78	6,58	0,272	0,119
<b>Líquidos</b>	10	101,67	6,37	0,1496	0,087
<b>Humedad</b>	10	100,83	10,72	0,341	0,149

Fuente: Autor del Proyecto.

<sup>16</sup> Estudio del trabajo, Roberto García Criollo Pág. 209

En aras de determinar la cantidad de observaciones necesarias para culminar la toma de tiempos por cronómetro bajo un error aceptable, se despeja el valor de  $n$  de la ecuación 6.1 y se observa que dicho valor es dependiente inversamente del error que sea aceptado por el analista de tiempos. Como hay previamente un estudio de tiempos por muestreo de trabajo, no hay intención alguna en hacer un estudio de tiempos por cronómetro extensivo luego la tabla 13 presenta un rango de valores de error aceptables entre el 5 y el 10% con su respectiva cantidad de observaciones por proceso necesarias para asegurar dicho error.

Tabla 13: Observaciones de toma de tiempos por cronómetro.

$\alpha$ - t Student						
	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Estadístico $t_{9gl}$	1,8331	1,74308	1,65306	1,56304	1,47302	1,383
Tipo Análisis	$n$	$n$	$n$	$n$	$n$	$n$
Gases	20	13	8	6	4	3
Corrosiones	99	62	41	29	21	15
Líquidos	30	19	12	9	6	4
Humedad	156	98	65	44	31	22


Fuente: Autor del proyecto.

De la tabla 13 se decide concluir la toma de tiempos por cronómetro de la manera presentada en la tabla 14, incluyendo medidas de desempeño tales como el tiempo promedio de cada tipo de análisis, la desviación estándar y el error de la muestra. Se da por terminada la toma de registros con un nivel de confianza aceptable considerando que el error obtenido en la muestra es menor al error esperado.

Tabla 14: Resumen del Estudio de tiempos por cronómetro.

	Gases	Corrosiones	Líquidos	Humedad
Observaciones totales	20	29	30	31
Error esperado	5 %	8 %	5 %	9 %
Tiempo [mm:ss]	4:18	7:38	6:56	10:38
Desv. Estándar [min]	0,12	0,27	0,15	0,37
Error obtenido	4,61 %	7,67 %	4,96 %	6,80 %
Valoración Prom.	86,36	99,55	101,9	99,73

Fuente: Autor del proyecto.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Antes de iniciar el análisis de capacidad, se debe recordar las condiciones en que actualmente opera el área de cromatografía. Como se especificaba en el capítulo 4, en el puesto de análisis de cromatografía se trabajan los 365 días del año, las 24 horas del día agrupadas en 3 turnos de trabajo.

## **6.2. Análisis de Capacidad de los Recursos Físicos**

Como recursos de producción, la tabla 15 muestra los equipos que conforman el puesto de trabajo y alguna información adicional como el tipo de análisis que se desarrolla, la frecuencia de mantenimiento preventivo y su número de identificación como activo de la empresa (TAG).

Vale la pena resaltar que los cálculos de capacidad que se presentan a continuación hacen referencia a los cromatógrafos y determinan las horas disponibles de producción al año.

### **6.2.1. Capacidad Teórica (CT):**

$$CT = \sum_{i=1}^{14} w_i(365,25)24 = (14) * (365,25) * (24) = 122.724 \text{ hora máq/año}$$

### **6.2.2. Capacidad Instalada (CI):**

$$G_1 = \sum_{i=1}^{14} g_i = 227,2$$

$$CI = \sum_{i=1}^{14} w_i(365,25)24 - G_1 = 122.724 - 227,2 = 122.496,8 \text{ hora máq/año}$$

*Tabla 15. Equipos de producción del Laboratorio.*


TAG	Sec	Equipo	Tipo de análisis	Frec. Mtto Pvo	g <sub>i</sub> (hr)	h <sub>i</sub> (hr)
AE37218	1	Cromatógrafo Fluido Supercrítico	Líquidos	6 meses	16	940
AE37270	2	Cromatógrafo Fluido Supercrítico	Líquidos	6 meses	16	785
AE37213	3	Cromatógrafo Gases Aromáticos	Líquidos	5 meses	19,2	238
AE37283	4	Cromatógrafo Productos Aromáticos	Líquidos	6 meses	16	332
AE37282	5	Cromatógrafo de aromáticos en gasolinas	Líquidos	6 meses	16	122
AE37347	6	Cromatógrafo para análisis de CO-CO2	Gases	6 meses	16	1130
AE37348	7	Cromatógrafo hidro y azufrados en GLP	Gases	6 meses	16	81
AE37210	8	Cromatógrafo Gases para GLP	Gases	6 meses	16	230
AE37408	9	Cromatógrafo de Gases	Gases	6 meses	16	105
AE37211	10	Cromatógrafo Gases CO2	Gases	6 meses	16	147
AE37151	11	Cromatógrafo Gases para GLP	Gases	6 meses	16	12
AE37212	12	Cromatógrafo Gases de Refinería	Gases	6 meses	16	499
AE37103	13	Titulador Coulométrico DL-32 KF	Humedad	6 meses	16	264
AE37237	14	Baño para Corrosión de GLP	Corrosión	6 meses	16	8

*Fuente: Archivo de información técnica de la GRB.*

### 6.2.3. Capacidad Disponible (CD):

Para calcular esta capacidad se debe tener en cuenta la siguiente información:

- En el laboratorio, todos los días se llevan a cabo a las 7:00 am “Reuniones Operativas”, con el fin de informar a todos los trabajadores acerca de cualquier novedad o suceso anormal que haya ocurrido o que sea de interés para el laboratorio. El tiempo que toma dichas reuniones del tiempo productivo de los técnicos de cromatografía (según los resultados del estudio de tiempos por muestreo de trabajo) es del 3,25% de un turno de trabajo, eso equivale a 0,78 horas al día, o 285 horas al año por cada equipo o recurso. Durante este periodo de tiempo, es política del laboratorio suspender la realización de análisis químicos.
- En la tabla 15 la columna g<sub>i</sub>(hr) muestra las horas-máquina invertidas en mantenimiento preventivo de cada equipo, este dato se obtiene teniendo en


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

cuenta que los mantenimientos preventivos se llevan a cabo durante un turno laboral, es decir, que si se invierten 16 horas en mantenimiento preventivo, se realizan 2 mantenimientos al año con una duración de 8 horas cada uno.

- La columna  $h_i$ (hr) de la tabla 15, representa las horas-máquina en las que el equipo se encuentra por fuera de servicio debido a fallas en su mecanismo de funcionamiento. Para que un equipo retome su función, debe entrar a un proceso de mantenimiento correctivo.<sup>17</sup>
- El servicio de energía eléctrica requiere hacer mantenimiento al sistema eléctrico una vez al año, la duración de dicho mantenimiento es de 2 días en los cuáles, los 14 cromatógrafos deben cesar su operación, las horas perdidas llegan a ser en total 672 horas al año.
- El histórico de la Gerencia de producción de la refinería registró durante el año 2009 un solo apagón que deshabilitó a los equipos del laboratorio manteniéndolos por fuera de servicio durante 36 horas. En horas-máquinas, se estima una pérdida de 504 horas.
- El Departamento de Tecnología de Información de la Vicepresidencia de servicios y tecnología de Ecopetrol junto con Help Desk requieren de 1 día hábil para realizar mantenimiento del sistema de información SILAB, el cual es indispensable para el contacto directo con los clientes. Durante este día, el laboratorio suspende actividades que en cromatografía equivale a una pérdida de 336 horas-máquina al año.

---

<sup>17</sup> La información acerca de los mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos presentados en este capítulo fueron obtenidos del archivo técnico de Inarcon S.A, (empresa encargada de realizar las tareas correspondientes al mantenimiento de los equipos del laboratorio).

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

Con esta información, se procede a calcular la capacidad disponible:

- $G_1$  = Horas mantenimiento preventivo = 227,2 horas-máq/año
- $G_2$  = cero (El puesto nunca está ni debe estar solo).
- $G_3$  = Organizacionales =  $285 \cdot 14 = 3989$  horas-máq/año.
- $G_4$  = Fallas =  $4893 + 672 + 504 + 336$  horas-máq/año.

$$CD = \sum_{i=1}^m w_i \cdot Dh \cdot Tdh \cdot Ht - (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) = (122.724) - 10621 = 112.103 \text{ hr máq/año}$$

#### 6.2.4. Capacidad Necesaria (CN):

Para poder obtener la capacidad necesaria en producción, se debe tener previamente definidas las cantidades planeadas de producción de cada tipo de análisis y su respectivo tiempo de procesamiento en los equipos. La tabla 16 presenta.

Adicional, el tiempo de procesamiento de cada análisis en los equipos se presenta en el Anexo D. Luego, la capacidad necesaria será:

$$CN = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QP_{ij} \cdot Tst_{ij} = 29.279 \text{ hora máq/año}$$

#### 5.1.1. Capacidad Utilizada (CN):

La capacidad utilizada en cromatografía se define como la sumatoria de la cantidad de análisis químicos realizados por su respectivo tiempo real en máquina. Las cantidades que se toman como referencia en el cálculo de esta capacidad

serán las de los análisis realizados en el año 2009, esta información fue presentada en la tabla 1 en el capítulo 4.

Tabla 16. Cantidades de producción planeadas.

Análisis	Tipo	Turno	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	ASTM D 1319	Líquido	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
2	ASTM D 1838	Corrosión	10	10	8	10	11	8	10	10	8	10	10	8
3	ASTM D 1945	Gas	1	2	0	4	2	0	4	2	0	11	3	0
4	ASTM D 1946	Gas	0	2	0	3	0	0	1	0	0	1	2	0
5	ASTM D 2158	Gas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	ASTM D 2163	Gas	25	12	3	13	12	3	14	12	3	13	12	3
7	ASTM D 2360	Gas	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	ASTM D 2504	Gas	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0
9	ASTM D 2712	Gas	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
10	ASTM D 3054	Gas	2	1	0	3	1	0	2	1	0	3	1	0
11	ASTM D 3797	Gas	0	3	0	0	2	1	0	2	0	0	3	0
12	ASTM D 4424	Gas	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	ASTM D 4492	Líquido	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	ASTM D 5186	Líquido	1	2	0	4	2	0	4	2	0	11	3	0
15	ASTM D 5453	Líquido	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16	ASTM D 5504	Gas	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1
17	ASTM D 5580	Gas	0	2	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0
18	ASTM D 6304	Humedad	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
19	ASTM D 6667	Gas	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
20	UOP 394	Líquido	2	2	0	2	2	1	2	2	0	2	2	0
21	UOP 555	Líquido	2	7	0	6	2	0	2	4	0	2	7	0
22	UOP 603	Gas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

En cuanto a los tiempos de procesamiento en máquina, los tiempos estándares son iguales a los tipo reales debido a que cada metodología de la norma ASTM y UOP establece un tiempo único que la muestra debe durar en el equipo. Ahora, al sumar la multiplicación de las cantidades por sus respectivos tiempos de procesamiento se obtiene:

$$CU = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QR_{ij} \cdot Tr_{ij} = 27.235 \text{ hora máq/año}$$

Tabla 16. (Continuación): Cantidades de producción planeadas.


Análisis	Tipo	Turno	Viernes			Sábado			Domingo			Total semana	Total año
			A	B	C	A	B	C	A	B	C		
1	ASTM D 1319	Líquido	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	417
2	ASTM D 1838	Corrosión	10	10	8	10	10	8	10	10	8	197	10272
3	ASTM D 1945	Gas	5	2	0	1	3	0	2	7	0	49	2555
4	ASTM D 1946	Gas	3	0	0	0	2	0	0	0	0	14,25	743
5	ASTM D 2158	Gas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	42	2190
6	ASTM D 2163	Gas	13	12	3	13	12	3	11	11	3	206	10741
7	ASTM D 2360	Gas	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	104
8	ASTM D 2504	Gas	1	2	0	1	2	0	1	2	0	21	1095
9	ASTM D 2712	Gas	1	1	0	1	1	0	1	1	0	24	730
10	ASTM D 3054	Gas	2	1	0	3	1	0	2	1	0	20	1251
11	ASTM D 3797	Gas	1	2	1	0	2	0	0	3	0	2	1043
12	ASTM D 4424	Gas	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	104
13	ASTM D 4492	Líquido	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	104
14	ASTM D 5186	Líquido	5	2	0	1	3	0	2	7	0	11	2555
15	ASTM D 5453	Líquido	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	261
16	ASTM D 5504	Gas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	1251
17	ASTM D 5580	Gas	0	2	0	0	1	0	0	2	0	30	574
18	ASTM D 6304	Humedad	0	0	0	0	1	0	0	0	0	50	417
19	ASTM D 6667	Gas	1	1	0	1	1	0	1	1	0	21	730
20	UOP 394	Líquido	2	2	1	2	2	0	2	2	0	0	1564
21	UOP 555	Líquido	3	2	0	2	7	0	2	2	0	0	2607
22	UOP 603	Gas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1095

Fuente: Autor del proyecto.

## 5.2. Análisis de Capacidad del Técnico del puesto:

Las condiciones de operación del laboratorio para el área de cromatografía exigen que siempre haya un técnico responsable en el puesto.

El modelo para hacer el análisis de capacidad del talento humano será el mismo que se utilizó en el capítulo anterior para analizar la capacidad de la maquinaria y equipos

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

### 5.2.1. Capacidad Teórica (CT):

$$CT = \sum_{i=1}^{14} w_i(365,25)24 = (1) * (365,25) * (24) = 8766 \text{ hora hombre/año}$$

### 5.2.2. Capacidad Instalada (CI):

$$CI = \sum_{i=1}^{14} w_i(365,25)24 - G_1 = (1 * 365,25 * 24) - 0 = 8766 \text{ hora hombre/año}$$


### 5.2.3. Capacidad Disponible (CD):

- $G_1 =$  cero; no aplican actividades de mantenimiento preventivo para este recurso
- $G_2 =$  cero; las inasistencias y permisos son concedidos siempre y cuando el puesto de trabajo nunca quede en abandono.
- $G_3 = 285$  hora-hombre/año; debido a las reuniones operativas.
- $G_4 = 48+36+24 = 108$  hora-hombre/año; son horas destinadas a los mantenimiento del sistema energético, sistema de información y apagones repentinos que dejan por fuera cualquier actividad productiva.

$$CD = \sum_{i=1}^m w_i \cdot Dh \cdot Tdh \cdot Ht - (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) = (8766) - 393 = 8373 \text{ hora hombre/año}$$

### 5.2.4. Capacidad Necesaria (CN):

Como se mostró anteriormente, las cantidades pactadas de producción están en la tabla 6.4 y los tiempos de ejecución de cada análisis dependen de su tipo (es decir, si es de gases, de corrosión, líquidos o de humedad). Los tiempos estándar

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	


requeridos en el cálculo de la capacidad necesaria serán los tiempos tomados por cronómetro y se toman los presentados en la tabla 15, entonces:

$$CN = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QP_{ij} \cdot Tst_{ij} = 3969 \text{ hora hombre/año}$$

### 5.2.5. Capacidad Utilizada (CU):

De igual manera, la tabla 1 muestra las cantidades desarrolladas durante un año de producción. En cuanto a los tiempos reales de operación, se van a tomar los tiempos obtenidos en el estudio de tiempos por muestreo de trabajo ya que es un dato estimado del funcionamiento del sistema. Luego:

$$CU = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n QR_{ij} \cdot Tr_{ij} = 4972 \text{ hora hombre/año}$$

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **7. SIMULACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO**


Buscando calcular la capacidad y la respectiva carga laboral de un puesto de análisis químico del laboratorio, este debe ser visto como un sistema productivo de generación de valor, compuesto por unas entradas, unas operaciones sobre esas entradas que le agreguen valor y unas salidas del sistema.

Muchos modelos de simulación se adaptan a los modelos estudiados en la Teoría de filas de espera, ya que si una unidad de proceso llega al sistema y los recursos están disponibles, su procesamiento comienza inmediatamente; o de lo contrario, la unidad espera en una fila con políticas predefinidas. Para el caso particular del laboratorio, su operación en la generación de valor se puede modelar si se define:

- La unidad de proceso que llega al sistema como la muestra que se toma en las plantas.
- los recursos del servidor serían los equipos disponibles y el técnico como recurso humano.
- Las transformaciones estarían descritas por los métodos de análisis químico que se aplican en el puesto de análisis.
- Las salidas serán los resultados contenidos en los informes que los clientes esperan de sus muestras.

### **7.1. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SISTEMA:**

Ya que en el laboratorio se llevan a cabo muchos procesos, se deben definir claramente los elementos del sistema que contemplan el desarrollo de los análisis químicos específicamente.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

**7.1.1. Población:** Es el conjunto universal de donde son provenientes las muestras que llegan al laboratorio. Las muestras provienen de las plantas de la refinería donde, sin importar la ocupación del puesto de análisis, todas deben ser analizadas siempre y cuando estén incluidas en el acuerdo de servicio al cliente y que la muestra cumpla con los requisitos para ser analizada. La población se considera infinita porque, aun siendo finita, es tan grande que el número de muestras que ya están solicitando el servicio al servidor no afecta a la frecuencia de llegada de las nuevas solicitudes de servicio.

Debido a los acuerdos de servicio con las plantas, la cantidad de muestras y solicitudes de análisis que llegan a cromatografía son diferentes en cada turno de trabajo. Teniendo en cuenta la operación del mes de Febrero del 2010, la tabla 17 presenta la cantidad de solicitudes que llegan en los diferentes turnos de trabajo; la columna “n” muestra la cantidad de análisis que se hicieron en el respectivo turno y “p” indica la proporción que representa dicho análisis del total de análisis realizados durante los turnos.

**7.1.2. La línea de espera:** es la fila que se forma mientras las muestras esperan el servicio debido a que uno de los recursos del servidor no está disponible. Como se explicaba anteriormente, la fila es infinita y maneja una política PEPS, la cual dice que las muestras que primero lleguen son las que deben ser atendidas por el servidor una vez este se desocupe.

**7.1.3. Clientes:** En este caso, no se hace referencia a los administradores de las plantas sino a las solicitudes que ingresa al laboratorio y sobre la cual se debe ejercer un proceso que genere valor.

**7.1.4. Descripción de los recursos:** La tabla 18 muestra la lista de equipos disponibles en cromatografía. Además presenta información adicional como el tipo

de análisis que se realiza y la capacidad de análisis que se pueden realizar simultáneamente.

**7.1.5. Servidor:** Hace referencia al conjunto de recursos con los que se cuenta para el proceso de transformación. Principalmente, el servidor está constituido por tres recursos: un técnico de turno, un equipo que realice el análisis químico y el sistema de información SILAB con el que se entregan los resultados a las plantas con el cual se da por finalizado el proceso.

*Tabla 17. Cantidad de análisis desarrollados en febrero del 2010.*

Método	TURNO A		TURNO B		TURNO C		Total general
	n	P	N	p	n	p	
ASTM D 1319	13	0,008	6	0,003	5	0,006	24
ASTM D 1838	328	0,201	384	0,217	197	0,237	909
ASTM D 1945	89	0,055	48	0,027	14	0,017	151
ASTM D 1946	10	0,006	51	0,029	1	0,001	62
ASTM D 2158	16	0,010	25	0,014	4	0,005	45
ASTM D 2163	240	0,147	311	0,176	124	0,149	675
ASTM D 2360	27	0,017	16	0,009	34	0,041	77
ASTM D 2504	36	0,022	33	0,019	21	0,025	90
ASTM D 2712	104	0,064	98	0,055	71	0,085	273
ASTM D 3054	57	0,035	74	0,042	20	0,024	151
ASTM D 3797	43	0,026	43	0,024	13	0,016	99
ASTM D 4424	182	0,112	181	0,102	27	0,032	390
ASTM D 4492	13	0,008	16	0,009	5	0,006	34
ASTM D 5186	72	0,044	44	0,025	48	0,058	164
ASTM D 5453	11	0,007	11	0,006	8	0,010	30
ASTM D 5504	103	0,063	99	0,056	75	0,090	277
ASTM D 5580	20	0,012	54	0,031	28	0,034	102
ASTM D 6304	11	0,007	19	0,011	7	0,008	37
ASTM D 6667	140	0,086	140	0,079	80	0,096	360
UOP 394	14	0,009	22	0,012	20	0,024	56
UOP 555	11	0,007	9	0,005	5	0,006	25
UOP 603	89	0,055	82	0,046	24	0,029	195
<b>Total general</b>	<b>1629</b>	<b>1</b>	<b>1766</b>	<b>1</b>	<b>831</b>	<b>1</b>	<b>4226</b>

*Fuente: SILAB.*

Tabla 18. Equipos para la construcción del modelo de simulación.

Sec	TAG	Equipo	Tipo de análisis	Capacidad
1	AE37218	Cromatógrafo Fluido Supercrítico	Líquidos	1
2	AE37270	Cromatógrafo Fluido Supercrítico	Líquidos	1
3	AE37213	Cromatógrafo Gases Aromáticos	Líquidos	1
4	AE37283	Cromatógrafo Productos Aromáticos	Líquidos	1
5	AE37282	Cromatógrafo aromáticos en gasolinas	Líquidos	1
6	AE37347	Cromatógrafo para análisis de CO-CO2	Gases	1
7	AE37348	Cromatógrafo hidro y azufrados en GLP	Gases	1
8	AE37210	Cromatógrafo Gases para GLP	Gases	1
9	AE37408	Cromatógrafo de Gases	Gases	1
10	AE37211	Cromatógrafo Gases CO2	Gases	1
11	AE37151	Cromatógrafo Gases para GLP	Gases	1
12	AE37212	Cromatógrafo Gases de Refinería	Gases	1
13	AE37103	Titulador Coulométrico DL-32 KF	Humedad	1
14	AE37237	Baño para Corrosión de GLP	Corrosión	16

Fuente: Autor del proyecto.

Al simular en Arena, se deben definir estaciones de trabajo que agrupen las tareas contempladas en los diagramas de operaciones generales, y para la construcción del modelo, se definen a continuación las siguientes estaciones de trabajo:

- **Estación Recepción:** Es el lugar físico donde se reciben las muestras y se despachan los embalajes sin producto con destino a las plantas para su posterior llenado. En esta estación se realizan las inspecciones.
- **Estación 1:** Esta estación agrupa los cromatógrafos configurados para realizar análisis de líquidos. En la actualidad, se cuenta con 5 equipos configurados para dicho proceso.
- **Estación 2:** Reúne a los siete cromatógrafos que hay configurados para realizar análisis de gases.
- **Estación 3:** En esta estación se realizan los análisis de humedad; cuenta con un titulador Coulométrico como equipo programado para este tipo de análisis.

- **Estación 4:** Cuenta con el baño para hacer el análisis de corrosiones.
- **Estación SILAB:** Aquí, se encuentran los recursos informáticos desde los cuales se hacen tareas como registrar los ingresos de las muestras, generar los reportes esperados por los clientes, etc.

**7.1.6. Grupo de Operaciones:** De los diagramas de operaciones (presentes en el anexo A) se agrupan las operaciones que se desarrollan en cada estación. La tabla 19 presenta dichos grupos de las 4 estaciones de proceso.

*Tabla 19. Agrupación de las operaciones para cada estación de trabajo.*

Grupo de Operaciones para Proceso de Corrosión			Grupo de Operaciones para Proceso de Humedad		
Grupo	Estación	Operaciones	Grupo	Estación	Operaciones
1	Estación Recepción	Insp 1	1	Estación Recepción	Insp 1
2	Estación 4	(A) Op 1, Op 3 (B) Op 5, Op 6	2	Estación 3 (2A)	Op 2, Op 6, Op 10
3	SILAB	Op 4, Op 7, Op 8	3	Estación 3 (2B)	Op 3, Op 7, Op 11
4	Estación Salida	-	4	Estación 3 (3)	Op 4, Op 8, Op 12
			5	Estación 3 (2C)	Op 5, Op 9, Op 13
			6	SILAB	Op 1, Op 14
			7	Estación Salida	-
Grupo de Operaciones para Proceso de Gases			Grupo de Operaciones para Proceso de Líquidos		
Grupo	Estación	Operaciones	Grupo	Estación	Operaciones
1	Estación Recepción	Insp 1	1	Estación Recepción	Insp 1
2	Estación 2	(A) Op 2, Op 3 (B) Op 4, Op 5, Op 6	2	Estación 1	(A) Op 2, Op 3 (B) Op 4, Op 5
3	SILAB	Op 1, Op 7	3	SILAB	Op 1, Op 6
4	Estación Salida	-	4	Estación Salida	-

*Fuente: Autor del Proyecto.*

**7.1.7. Tiempos de servicio:** Son los tiempos de procesamiento que requieren los recursos del servidor para atender las solicitudes de análisis. Se debe definir el comportamiento probabilístico de dichos tiempos con una variable aleatoria y así, fijar una tasa de servicio ( $\mu$ ) o un tiempo entre servicios ( $1/\mu$ ) de cada grupo de operaciones para luego, construir un modelo estocástico que (mezclado con el


componente probabilístico de la tasa de llegada) describa más objetivamente el sistema de producción real.

Tabla 20. Tiempos de servicio definidos como variables aleatorias.

GRUPO	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL TIEMPO DE SERVICIO
<b>PROCESO DE CORROSIÓN</b>	
1	$0.14 + 0.39 * \text{BETA}(2.94, 2.59)$
2	$0.7 + \text{LOGN}(0.218, 0.153)$
3	$2.22 + \text{WEIB}(0.442, 2.85)$
4	$\text{TRIA}(3.14, 3.77, 4.39)$
<b>PROCESO DE GAS</b>	
1	$0.24 + \text{GAMM}(0.0248, 4.75)$
2	$1 + 0.33 * \text{BETA}(2.28, 1.98)$
3	$1.81 + \text{LOGN}(0.196, 0.125)$
4	$\text{CONT}(0.000, 0.666, 0.25, 0.705, 0.350, 0.74, 0.500, 0.783, 0.85, 0.822, 0.95, 0.862, 1.0, 0.901)$
<b>PROCESO DE LÍQUIDOS</b>	
1	$\text{CONT}(0.27, 0.65, 0.43, 0.692, 0.53, 0.734, 0.53, 0.776, 0.70, 0.818, 1.0, 0.86)$
2	$\text{CONT}(0.000, 3.031, 0.133, 3.138, 0.533, 3.246, 0.833, 3.354, 0.933, 3.461, 0.967, 3.569, 1.0, 3.677)$
3	$\text{NORM}(0.842, 0.0505)$
4	$\text{TRIA}(1.85, 2.05, 2.21)$
<b>PROCESO DE HUMEDAD</b>	
1	$\text{CONT}(0.000, 0.396, 0.290, 0.4655, 0.516, 0.535, 0.548, 0.6045, 0.710, 0.674, 0.935, 0.7435, 1.0, 0.813)$
2	$0.18 + 0.22 * \text{BETA}(3.46, 4.54)$
3	$0.85 + 0.59 * \text{BETA}(9.16, 8.98)$
4	$9 + 14 * \text{BETA}(2.3, 2.7)$
5	$\text{CONT}(0.000, 0.6, 0.172, 0.7358, 0.559, 0.8714, 0.656, 1.0071, 0.667, 1.1427, 0.667, 1.2784, 0.742, 1.4141, 0.946, 1.5497, 1.000, 1.6854)$
6	$\text{CONT}(0.000, 1.935, 0.032, 2.0076, 0.161, 2.0802, 0.613, 2.1529, 0.871, 2.2255, 0.935, 2.2981, 1.0, 2.3707)$

Fuente: Autor del proyecto.

Los tiempos de operación que serán tenidos en cuenta para la formulación matemática de la tasa de servicio son los valores medidos por el estudio de tiempos por cronómetro. Se suman los datos cronometrados de las actividades que componen a cada grupo de operaciones y de esta manera se calcula por ciclo un tiempo característico de cada grupo. El total de datos obtenidos se lleva al *Input Analyzer* del software de simulación *Arena* que arroja como resultado un

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	


tiempo de servicio definido como variable aleatoria y su respectivo ajuste a una distribución de probabilidad conocida. La información que llevó a realizar el procedimiento descrito anteriormente se encuentra disponible en la Carpeta “Definición Tiempos Grupo de Operaciones” del Disco Compacto de Anexos.

La tabla 20 resume todos los tiempos de servicio para cada grupo de operación. Las variables que están siendo descritas por una distribución de probabilidad empírica no lograron satisfacer un nivel de confianza aceptado al aplicar la prueba estadística para bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnoff.

**7.1.8. Proceso de llegada:** Es la formulación matemática de la manera en que llegan las muestras al sistema. Si se habla de la tasa de llegada ( $\lambda$ ), este número indica la cantidad de muestras que llegan al laboratorio en una unidad de tiempo. Las llegadas también se pueden definir con el tiempo entre llegadas ( $1/\lambda$ ) y es el promedio del tiempo que hay entre dos llegadas consecutivas.

Al haber definido el resto de parámetros del sistema, se sigue tomando como marco de referencia los análisis realizados en el mes de febrero de 2010 y se identifican tres tasas de llegada:

- **Turno A:** En el archivo de Excel: “Datos Febrero 2010 – trazabilidad muestras.xlsx” en la hoja: “Tiempo entre llegadas Turno A” se encuentran los análisis que se realizaron en Turno A. Adicional a esto, se calculó el tiempo entre llegadas de una población de 1629 solicitudes de análisis. Esta información se llevó al programa *Input Analyzer* del software *Arena* con el fin de definir una variable aleatoria para el tiempo entre dichas llegadas. De allí se obtiene un ajuste de distribución probabilística que define la tasa de llegadas de turno A como:  $\lambda_A = -0.001 + WEIB(0.29, 0.239)$ .

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECO PETROL S.A	

- **Turno B:** Igualmente, el archivo de Excel: “Datos Febrero 2010 – trazabilidad muestras.xlsx” en la hoja: “Tiempo entre llegadas Turno B” están los análisis realizados en Turno B con el cálculo respectivo del tiempo entre llegadas de 1766 solicitudes de análisis. Al hacer el ajuste en el *Input Analyzer*, se encontró que la distribución más familiarizada con el comportamiento de los datos era:  $\lambda_B = -0.001 + WEIB(0.451, 0.234)$ .
- **Turno C:** Siguiendo el mismo procedimiento de los dos ajustes anteriores, el cálculo entre llegadas de 831 solicitudes de análisis que se recibieron en Turno C durante el mes de Febrero del 2010 se encuentra disponible en el archivo de Excel: “Datos Febrero 2010 – trazabilidad muestras.xlsx” en la hoja: “Tiempo entre llegadas Turno C”. De igual manera, se llevaron al *Input Analyzer* que arrojó como mejor ajuste una tasa de llegada  $\lambda_C = -0.001 + WEIB(1.68, 0.212)$ .

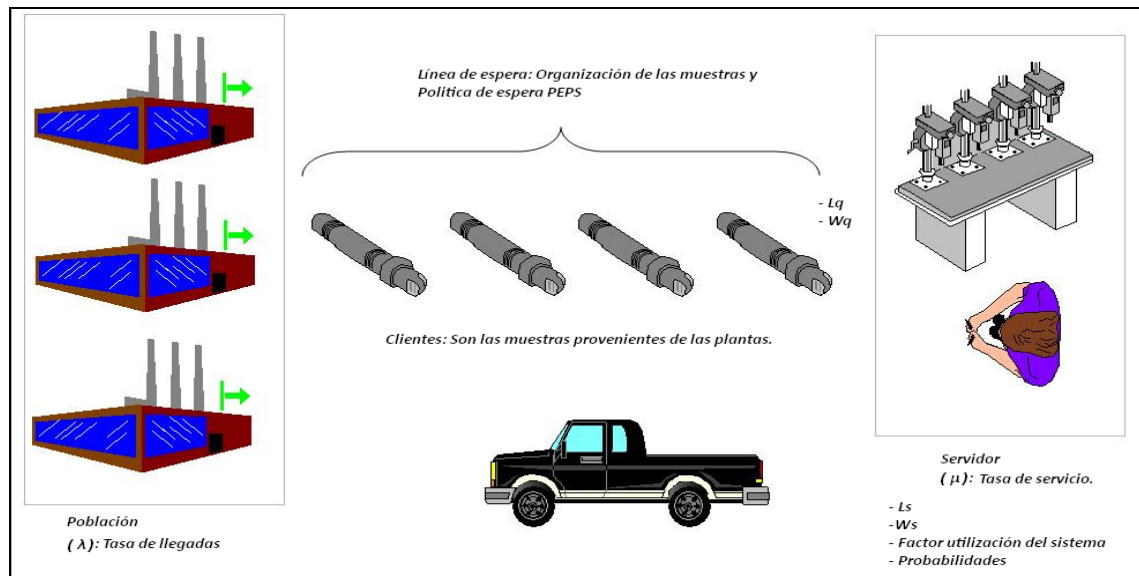
La gráfica 6 muestra el sistema de producción del Laboratorio en general asociado al modelo que estudia la teoría de filas de espera. También se muestran los parámetros elegidos para estudiar el sistema y el momento donde se captura información para calcular las medidas de desempeño.

## **7.2. MEDIDAS DE DESEMPEÑO:**

Las medidas de desempeño que se presentan a continuación son las que cuantifican la efectividad del sistema en la consecución sinérgica de su objetivo. También, permiten fijar metas en la visión, evaluar el impacto de propuestas futuras y compararlas con el estado actual de desempeño del sistema:

**7.2.1. Total de análisis realizados:** Es quizá, la medida de desempeño más importante ya que es clave para verificar si el modelo construido representa al sistema de producción real.

Gráfica 6: Modelo gráfico del sistema de producción del laboratorio.




Fuente: Autor del Proyecto.

**7.2.2. Tiempo promedio de espera en fila ( $Wq$ ):** Es el tiempo promedio que esperan las muestras, ya que al momento de requerir a un recurso en específico, este se encuentra ocupado procesando otra solicitud. La importancia de cuantificar los tiempos de espera como medidas de desempeño está en que los tiempos calculados son considerados improductivos que pueden llegar a convertirse en una oportunidad de mejoramiento al tratar de reducirlos.

**7.2.3. Tiempo promedio de servicio ( $Ws$ ):** Es el tiempo promedio que demora la realización de un análisis químico requerido por una muestra. Este dato incluye los tiempos en fila y los tiempos de operación en el servidor.

**7.2.4. Porcentaje de utilización de los recursos del sistema:** Con esta medida de desempeño, se evidencia datos importantes como los recursos restrictivos de capacidad, los recursos con mayor porcentaje de estado ocioso, los recursos con mayor cantidad de tiempo por fuera de servicio debido a fallas, etc.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

### **7.3. CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO:**

Luego de haber definido los parámetros requeridos para caracterizar el sistema y de haber especificado la manera como se mide el desempeño del modelo para así, compararlo con el desempeño del sistema real, se observa la necesidad de dividir el esquema de funcionamiento en tres sub modelos que representen a cada turno de trabajo (debido a que la tasa de llegada en cada turno es diferente).


Para la construcción de los modelos, se utilizó el software de simulación *Arena*, el cual, utiliza un lenguaje de programación SIMAN. Los modelos se encuentran disponibles en los siguientes archivos:

- “Modelo Simulación Cromatografía – Turno A”
- “Modelo Simulación Cromatografía – Turno B”
- “Modelo Simulación Cromatografía – Turno C”

Al haber escogido *Arena*, como software de simulación, se debe definir unas condiciones de funcionamiento del modelo utilizando ELEMENTOS (con los cuales se definen atributos, recursos, contadores, posibles modos de falla, longitud y cantidad de réplicas, etc.) y también, se debe definir una secuenciación lógica de los productos a través del sistema estructurada por los BLOQUES (los cuales representan una infraestructura con unas instrucciones de comando ejecutables que le dan el movimiento relativo al modelo).

#### **7.3.1. Documentación: Errores detectados en la construcción del modelo:**

Entre los errores detectados durante el proceso de verificación, se mencionan los siguientes:

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

- Con el bloque “Branch” se presenta un error común: Al llegar una entidad al bloque, se debe especificar la cantidad de entidades que salen del bloque hacia las ramificaciones. Sin esta aclaración, las entidades se multiplica por el número de ramificaciones del bloque y esto hace que las cantidades producidas sean mayores a las esperadas.
- Uno de los tipos de errores que se pueden detectar con ayuda del bloque “Trace”, son los errores fijados en la secuenciación y enrutamiento de los productos. Como un caso específico, la secuenciación de los análisis de líquidos habían quedado mal definidos y esto hizo que los análisis pasaran dos veces por la estación de Inspección, lo que conllevaba a aumentar los tiempos de servicio de este tipo de productos y el porcentaje de ocupación del técnico.
- Otro error detectado con el bloque “Trace” fue el de omitir la liberación de un recurso después de haber estado ocupado por una entidad. Este error se hacía evidente ya que al no liberar el recurso, se formaba una línea de espera que incrementaba el contador de inventarios de productos en proceso y, en cambio, el contador de productos terminados reflejaba una baja cantidad de los mismos.
- También, hubo consciencia de que hay varios errores de sintaxis que no son detectados por el SIMAN (como los tiempos de procesamiento, la asignación de secuencia en el Bloque “Assign”, la escritura en la tasa de servicios, etc). Este tipo de errores se corrigen inspeccionando minuciosamente el modelo.

Como parte de verificación del modelo, se procede a comparar las unidades producidas de cada turno de trabajo por el sistema real, con la producción que arroja el modelo de simulación. Los resultados se presentan en la tabla 21 donde se comparan dos medidas de desempeño: El total de análisis producidos y Los porcentajes de ocupación de los técnicos en los tres turnos. La cantidad de análisis producidos por el sistema real son los que se mostraron en la tabla 17, y

el porcentaje de ocupación es el que arrojó el estudio de tiempos por muestreo de trabajo.

Tabla 21. Comparación de las medidas de desempeño del sistema real y el modelo.

TURNOS	ANÁLISIS PRODUCIDOS		PORCENTAJES DE OCUPACIÓN	
	SIST. REAL	MODELO	SIST. REAL	MODELO
TURNO A	1629	1121	75,79%	54,92%
TURNO B	1766	601	74,55%	21,49%
TURNO C	831	35	53,47%	1,23%

Fuente: SILAB, Autor del Proyecto y Estudio de tiempos por muestreo de trabajo.

Es evidente que el modelo presenta diferencias notorias en su comportamiento comparándolo con el del sistema real. En los tres casos, el nivel productivo del modelo está por debajo, y esto nos lleva a pensar que la razón principal de dicha diferencia está relacionada con la definición de la tasa de las llegadas, es decir, que no llegan la suficiente cantidad de muestras que se reflejan en un bajo nivel de producción y un bajo índice de carga laboral. Para encontrar una tasa de llegadas más representativa, se buscaron ajustes de probabilidad por el *Input Analyzer*, y se hacen corridas con el fin de mirar cuál de ellas describe mejor la realidad.

El procedimiento que se siguió para encontrar una tasa de llegada representativa, fue tomar las cuatro distribuciones de probabilidad que mejor se ajustaron según el *Input Analyzer*, y simular por 28 días. La tabla 22 muestra las cuatro distribuciones de probabilidad sugeridas y las medidas de desempeño obtenidas respectivamente. Por lo tanto, las distribuciones de probabilidad que aparecen enmarcadas son las elegidas para representar las tasas de llegadas en los tres turnos ya que son las que más se aproximan al comportamiento del sistema real. Así, quedan definidas las tasas de llegada de la siguiente manera:

$$\lambda_A = \text{EXPO}(7.57).$$

$$\lambda_B = \text{EXPO}(7.40).$$

$$\lambda_C = \text{ERLA}(15.7, 1).$$


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECO PETROL S.A	

Tabla 22. Elección de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la tasa de llegadas


TURNO A			
	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	ANÁLISIS PRODUCIDOS	% OCUPACIÓN
1	WEIB(0.29, 0.239) – 0.001	1121	54,92%
2	198 * BETA(0.405, 8.15)	1433	67,09%
3	EXPO(7.57) - 0.001	1717	74,98%
4	ERLA(7.57, 1)	1763	77,07%
TURNO B			
	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	ANÁLISIS PRODUCIDOS	% OCUPACIÓN
1	WEIB(0.451, 0.234)	601	21,49%
2	EXPO(7,40)-0.001	1823	75,97%
3	ERLA(9.42, 1)	1523	65,90%
4	1.39e+003 * BETA(0.85, 42.1)	491	16,72%
TURNO C			
	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	ANÁLISIS PRODUCIDOS	% OCUPACIÓN
1	WEIB(1.68, 0.212)	35	1,23%
2	1.22e+003 * BETA(0.3, 3.2)	149	5,33%
3	EXPO(26.7)	199	6,96%
4	ERLA(15.7, 1)	841	33,34%

Fuente: Autor del Proyecto.

Los modelos de simulación que pasaron el proceso de validación, se encuentran en los Anexos del proyecto con los nombres: “Modelo Simulación Cromatografía Turno A”, “Modelo Simulación Cromatografía Turno B” y “Modelo Simulación Cromatografía Turno C”.

#### 7.4. VALIDACIÓN DEL MODELO:

El modelo representa un sistema de producción continua no terminal ya que las condiciones con las que finaliza un turno son las mismas condiciones de iniciación del turno siguiente, no hay una condición específica que obligue al sistema a regresar a su estado inicial. Además, al iniciar la simulación, el modelo comienza en un estado vacío, es decir, no hay ningún análisis o ninguna entidad en proceso. Estas condiciones hacen que sea necesario identificar un periodo de inicialización,

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

en el cual, se sesgan los cálculos de las medidas de desempeño (como por ejemplo, los tiempos de servicio, debido a que al iniciar la simulación hay completa disponibilidad por parte de los recursos en las estaciones de trabajo del servidor).

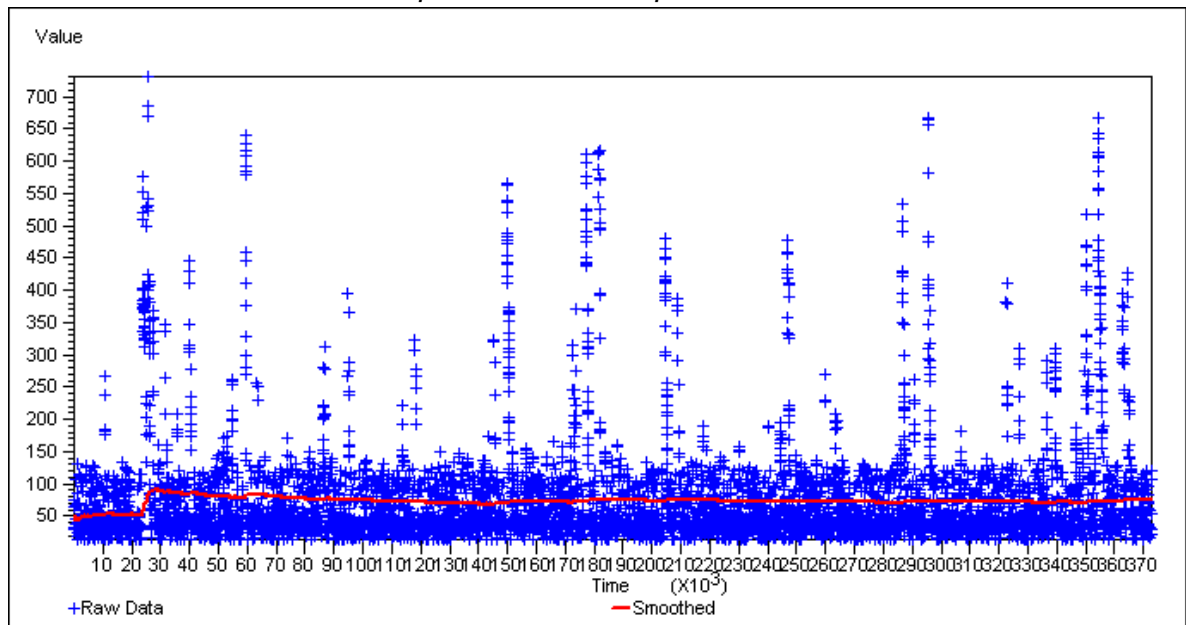
Como primera herramienta para identificar el periodo de iniciación, o “Warm-up period”, se utilizan las gráficas de los promedios móviles de los tiempos de servicio de algunas referencias vitales (según el análisis Pareto). En el Anexo F se presentan las gráficas de los promedios móviles de los 5 análisis de mayor cantidad de producción en cada turno de trabajo junto con un consolidado por turno. Luego, por observación de estas gráficas, se plantean los siguientes intervalos de tiempo como “Warm-up Period”:

- **TURNO A:** [0 - 200.000] min; equivalente a 416,67 días de simulación.
- **TURNO B:** [0 - 200.000] min; equivalente a 416,67 días de simulación.
- **TURNO C:** [0 - 150.000] min; equivalente a 312,5 días de simulación.

Una vez el modelo culmine su período de inicialización en su corrida, *Arena* comienza a guardar los datos con los que se definen los estadísticos de las medidas de desempeño. Para los tres sub-modelos, se van a medir las estadísticas de las medidas de desempeño durante un año de simulación a partir de la finalización del “Warm-up period”.

Para una validación inicial del modelo, se tomo como referencia el tiempo de servicio del producto ASTM D 2163, la gráfica 7 muestra dichos tiempos junto con una línea de tendencia del promedio móvil (con la cual se estableció el Warm-up Period”). Una característica muy importante de resaltar es que, sin importar que el modelo haya alcanzado una estabilidad aparente de sus medidas de desempeño, los tiempos de servicio a través del tiempo siguen siendo muy irregulares con algún tipo de tendencia estacional (es decir, parece que a lo largo de la simulación, los tiempos de servicio tienen tendencias crecientes y decrecientes).

Gráfica 7: Tiempo de servicio del producto ASTM D 2163.



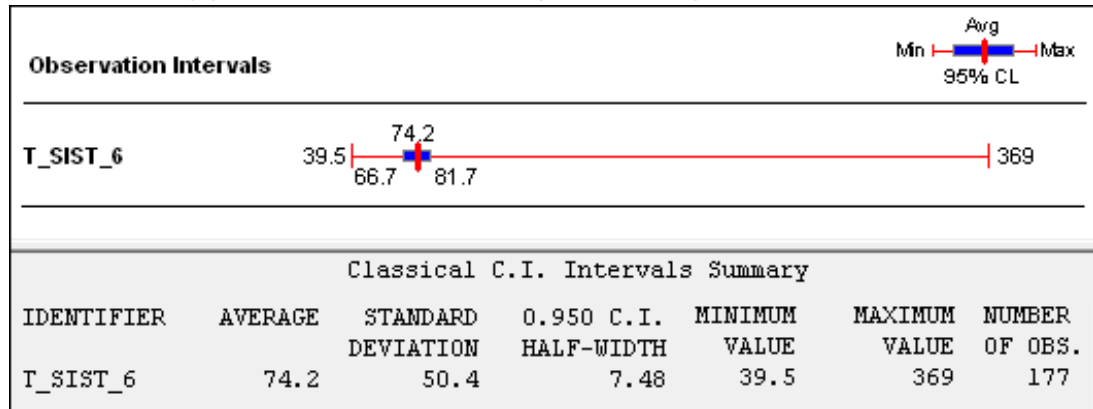
Fuente: Output Analyzer.

Al llevar esta medida de desempeño a la herramienta de “Correlograma” del *Output Analyzer* de *Arena* para medir la correlación de los datos, se obtiene que dicha relación es de 0.9993 y que se deben hacer 177 grupos de datos o “Batches” que agrupen cada 41 observaciones.

La gráfica 8(a) muestra un reporte del *Output Analyzer*, en el cual, se construye un intervalo de confianza al 95%. Este reporte contiene datos de un rango muy amplio con respecto a la media que se refleja en una desviación estándar muy alta (ver gráfica 8(b)).

Por otra parte, para determinar si las medias de datos agrupados son iguales estadísticamente, se realizó un análisis de varianza en el *Output Analyzer* cuyo resultado está contenido en la gráfica 9. Este reporte señala claramente que, con un nivel de confianza del 95%, se debe rechazar la hipótesis de que las medias de los tiempos agrupados por los “Batches” son iguales.

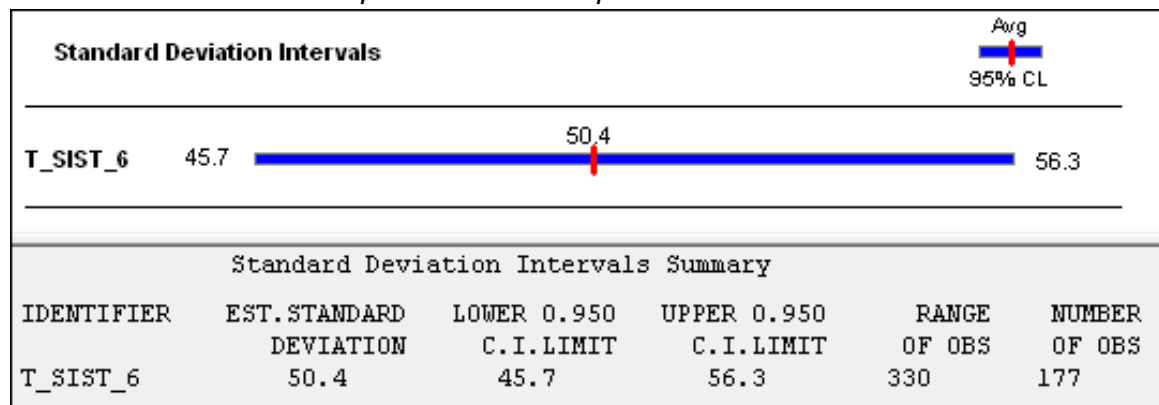
Gráfica 8(a): Intervalo de Confianza para el tiempo de servicio en Turno A.



Fuente: Output Analyzer de Arena.

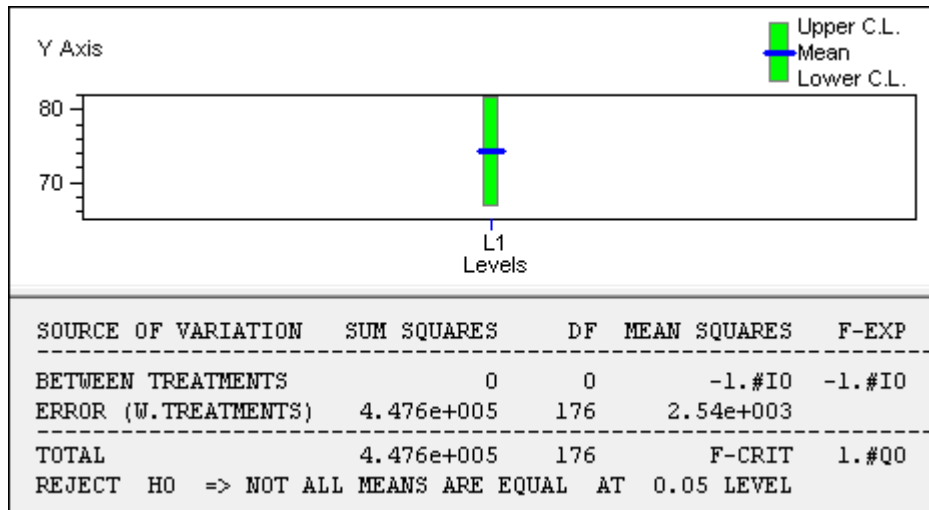
Debido a la gran variabilidad (y a su alta correlación) de la medida de desempeño “Tiempo de servicio”, se decide validar de forma similar a como se validan los modelos de los sistemas de producción terminales; es decir, se trabajan con nuevas variables de desempeño y no se fracciona el periodo de simulación en “Batches” si no que se hacen réplicas con las que se calcula una desviación estándar y así, se construye un intervalo de confianza para cada una de las medidas de desempeño.

Gráfica 8(b): Intervalo de Confianza para la desviación estándar para los datos agrupados del tiempo de servicio del producto ASTM D 2163.



Fuente: Output Analyzer.

Gráfica 9: Análisis de Varianza para las medias de los datos agrupados del tiempo de servicio del ASTM D 2163.




Fuente: Output Analyzer.

La tabla 23 muestra los resultados obtenidos de las 10 réplicas de simulación. Allí, las medidas de desempeño con las que se valida en esta ocasión son: la cantidad de análisis producidos y el porcentaje de ocupación del técnico en cada turno de trabajo.

Tabla 23. Medidas de desempeño para 10 réplicas de simulación.

RÉPLICA	CANTIDADES PRODUCIDAS				% Ocupación		
	Turno A	Turno B	Turno C	TOTAL	Turno A	Turno B	Turno C
1	22688	23022	10999	56709	78,38%	73,24%	41,90%
2	22788	22985	11091	56864	79,31%	74,02%	42,61%
3	22865	22876	10963	56704	79,15%	74,19%	41,82%
4	22739	23148	10901	56788	78,09%	75,29%	41,55%
5	22802	23006	10929	56737	78,13%	73,49%	42,22%
6	22922	22981	11038	56941	78,86%	74,40%	42,05%
7	22600	23169	11209	56978	78,26%	73,58%	43,02%
8	22816	23031	10989	56836	78,20%	73,46%	41,91%
9	22533	23102	10908	56543	77,81%	74,36%	42,11%
10	22713	22938	11091	56742	78,61%	73,95%	42,58%
			<b>PROMEDIO</b>	<b>56784,2</b>	<b>78,48%</b>	<b>74,00%</b>	<b>42,18%</b>
			<b>DES. EST</b>	<b>127,14</b>	<b>0,00490532</b>	<b>0,00605543</b>	<b>0,00440893</b>

Fuente: Arena.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

El error del intervalo de confianza se representa con la variable  $h$ : La fórmula para calcular  $h$  es:  $h = t_{1-\alpha/2,gl} * S(x)/\sqrt{n}$ , donde  $t$  representa al estadístico t-student con un nivel  $\alpha$  de confianza y  $n-1$  grados de libertad,  $S(x)$  es la desviación estándar muestral y  $n$  el número de réplicas. Los valores del error  $h$  se presentan a continuación:

- Error para Int. De Confianza de Análisis producidos:

$$h = t_{0.975,9} * 127,14/\sqrt{10} = 90,94$$

- Error para Int. De Confianza de porcentaje de ocupación Turno A:

$$h = t_{0.975,9} * 0,0049/\sqrt{10} = 0,35\%$$

- Error para Int. De Confianza de porcentaje de ocupación Turno B:

$$h = t_{0.975,9} * 0,0060/\sqrt{10} = 0,43\%$$

- Error para Int. De Confianza de porcentaje de ocupación Turno C:

$$h = t_{0.975,9} * 0,0044/\sqrt{10} = 0,31\%$$

Los intervalos de confianza se muestran en la tabla 24. En cuanto a los datos reales, la cantidad de análisis fue obtenida en el SILAB para un periodo de 360 turnos de trabajo laborados, equivalentes a 172800 min que fueron simulados (desde el 1° de Agosto del 2009 hasta el 26 de Julio del 2010). Los porcentajes de ocupación, son los obtenidos por el estudio de tiempos por muestreo de trabajo.

Al comparar los datos reales con los intervalos de confianza estimados en la validación del proyecto, se deduce que, según las medidas escogidas, el modelo de simulación no representa al sistema real.

La primera medida correctiva que se toma para tratar de validar el modelo, consiste en reducir el número de réplicas de 10 a 6. Segundo, los tiempos de operación en Turno C se van a extender para aumentar el porcentaje de

ocupación (la explicación lógica para tomar esta decisión, es que al haber menor cantidad de solicitudes de análisis en Turno C, los técnicos pueden realizar los análisis con una velocidad de ejecución menor comparada con los otros dos turnos) y tercero, se va a aumentar el tiempo entre llegadas de Turno A para así, poder disminuir la tasa de llegadas y también disminuir el porcentaje de ocupación y la cantidad de análisis realizados.

*Tabla 24. Intervalos de Confianza para Validación del Modelo de Simulación.*

INTERVALO	MEDIDAS DE DESEMPEÑO			
	Análisis Total	%Oc Turno A	%Oc Turno B	%Oc Turno C
<b>Límite Inferior</b>	56.693,26	78,13%	73,57%	41,86%
<b>Límite Superior</b>	56.875,14	78,83%	74,43%	42,49%
<b>DATOS REALES</b>	55.126,66	75,79%	74,55%	53,47%

*Fuente: Autor del Proyecto.*

Al correr las 6 réplicas con los nuevos ajustes, se obtienen los resultados que la tabla 25 presenta.

*Tabla 25. Medidas de desempeño para 6 réplicas de simulación.*

RÉPLICA	CANTIDADES PRODUCIDAS				% Ocupación		
	Turno A	Turno B	Turno C	TOTAL	Turno A	Turno B	Turno C
1	22496	23189	9710	55395	75,24%	74,49%	53,92%
2	22356	22826	9732	54914	75,79%	73,68%	53,88%
3	22213	22838	9644	54695	74,80%	74,27%	52,80%
4	22307	23198	9751	55256	76,06%	74,65%	53,56%
5	22387	22955	9834	55176	74,66%	73,82%	53,43%
6	22292	23139	9628	55059	74,84%	74,31%	52,53%
			<b>PROMEDIO</b>	<b>55082,5</b>	<b>75,23%</b>	<b>74,20%</b>	<b>53,35%</b>
			<b>DESV. EST</b>	<b>251,24</b>	<b>0,0057764</b>	<b>0,0038002</b>	<b>0,0057068</b>

*Fuente: Arena.*

Los valores del error  $h$  se deben recalcular tal como se muestra a continuación:

- Error para Int. De Confianza de Análisis producidos:

$$h = t_{0,975,6} * S(x)/\sqrt{n} = 2,7506 * 251,24/\sqrt{6} = 263,65$$

- Error para Int. De Confianza de porcentaje de ocupación Turno A:

$$h = t_{0,975,6} * S(x)/\sqrt{n} = 2,7506 * 0,00578/\sqrt{6} = 0,61\%$$

- Error para Int. De Confianza de porcentaje de ocupación Turno B:

$$h = t_{0,975,6} * S(x)/\sqrt{n} = 2,7506 * 0,00380/\sqrt{6} = 0,40\%$$

- Error para Int. De Confianza de porcentaje de ocupación Turno C:


$$h = t_{0,975,6} * S(x)/\sqrt{n} = 2,7506 * 0,00571/\sqrt{6} = 0,60\%$$

Por último, se construyen los nuevos intervalos de confianza que se presentan en la tabla 26 para finalmente concluir que con los nuevos ajustes, el modelo de simulación queda validado porque los datos de las medidas de desempeño del sistema real se encuentran dentro de los intervalos de confianza del modelo, lo que indica, que este modelo trabaja con la finalidad por la cual fue construido.

Tabla 26. Intervalos de Confianza a 6 réplicas para Validación del Modelo de Simulación

INTERVALO	MEDIDAS DE DESEMPEÑO			
	Análisis Total	%Oc Turno A	%Oc Turno B	%Oc Turno C
<b>Límite Inferior</b>	54.818,84	74,62%	73,80%	52,75%
<b>Límite Superior</b>	55.346,16	75,84%	74,60%	53,95%
<b>DATOS REALES</b>	55.126,66	75,79%	74,55%	53,47%

Fuente: Autor del Proyecto.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## **8. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO**

Las primeras dos propuestas de mejoramiento que se van a desarrollar, fueron propuestas por los trabajadores del área de cromatografía

### **8.1. Organizar todas las solicitudes de servicio de un turno de trabajo en tres lotes de llegadas.**

Se cree que al organizar las muestras en lotes de llegadas, los porcentajes de ocupación disminuyen, ya que los técnicos afirman tener más autonomía en el control y manejo del tiempo productivo del turno de trabajo.

Para poder evaluar esta propuesta, se toman las cantidades analizadas por cada turno de trabajo y se dividen en tres grupos. Luego, se analiza la cantidad de muestras que deberían llegar por cada grupo y se estima una nueva tasa de servicio en la cual, se asigna una variable aleatoria con una distribución de probabilidad definida al tamaño del lote.

A manera de ejemplo, la tabla 27 muestra la cantidad de análisis que se realizaron en Turno A durante el mes de febrero del 2010. Dichas cantidades se dividieron en 3 lotes y ahora se le asigna una nueva variable de distribución aleatoria para la cantidad de análisis que deberían llegar por lote. Al llevar estos datos al Input analyzer, la distribución de probabilidad sugerida que más se ajusta es: NORMAL (19.4, 3.36), pero se decide utilizar un distribución empírica debido a que al aplicar la prueba K-S, se rechaza la hipótesis de que dichos datos se ajusten a la distribución de probabilidad sugerida.

Este mismo procedimiento se hace con los otros dos turnos de trabajo y se define un nuevo tiempo promedio entre llegadas de 160 min con una cantidad de lote definida por las siguientes variables aleatorias para cada turno de trabajo:

- Turno A: DISC(0.00,12,0.1071,15,0.2143,18,0.6429,20,0.9286,23,0.9643,26,1.00,29)
- Turno B: DISC(0.00,13,0.1071,16,0.3214,19,0.7143,22,0.8571,25,0.9286,29,1.00,32)
- Turno C: DISC(0.00,2,0.0357,4,0.1071,6,0.3214,9,0.5714,11,0.9643,13,1.00,16).

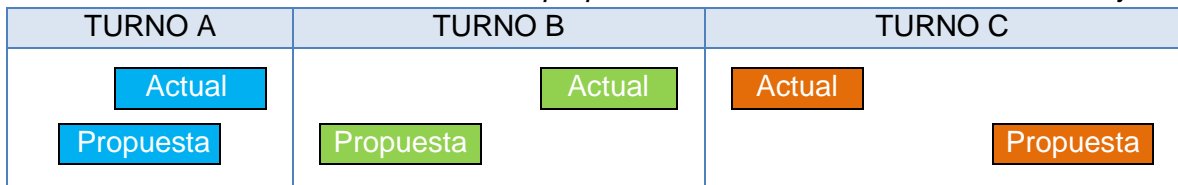
Tabla 27. Definición de tamaño de lote para llegadas en turno A.

DIA	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	TOTAL	DIA	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	TOTAL
01/02/2010	22,67	22,67	22,67	68	15/02/2010	21,00	21,00	21,00	63
02/02/2010	23,67	23,67	23,67	71	16/02/2010	28,67	28,67	28,67	86
03/02/2010	20,33	20,33	20,33	61	17/02/2010	20,00	20,00	20,00	60
04/02/2010	19,33	19,33	19,33	58	18/02/2010	18,67	18,67	18,67	56
05/02/2010	18,33	18,33	18,33	55	19/02/2010	19,00	19,00	19,00	57
06/02/2010	20,00	20,00	20,00	60	20/02/2010	14,33	14,33	14,33	43
07/02/2010	22,33	22,33	22,33	67	21/02/2010	16,33	16,33	16,33	49
08/02/2010	21,33	21,33	21,33	64	22/02/2010	15,33	15,33	15,33	46
09/02/2010	18,67	18,67	18,67	56	23/02/2010	18,67	18,67	18,67	56
10/02/2010	21,67	21,67	21,67	65	24/02/2010	18,67	18,67	18,67	56
11/02/2010	20,67	20,67	20,67	62	25/02/2010	13,33	13,33	13,33	40
12/02/2010	16,33	16,33	16,33	49	26/02/2010	21,67	21,67	21,67	65
13/02/2010	19,00	19,00	19,00	57	27/02/2010	11,67	11,67	11,67	35
14/02/2010	18,67	18,67	18,67	56	28/02/2010	22,67	22,67	22,67	68

Fuente: Autor del Proyecto.

Seguidamente, se hace una simulación de 6 réplicas y la tabla 28 presenta los resultados de los porcentajes de ocupación. Ahora, comparando el desempeño del sistema actual con el del sistema planteado por la propuesta de mejoramiento, se puede decir que las medias de los porcentajes de ocupación para el Turno A no presentan diferencia significativa. Para Turno B, el porcentaje decrece en promedio tres puntos porcentuales, y para Turno C se evidencia un crecimiento sustancial de 10 puntos porcentuales en el porcentaje de ocupación promedio. La gráfica 10 muestra la manera como se ven los intervalos de confianza entre cada comparación.

Gráfica 10: Intervalos de Confianza de la propuesta evaluados en cada turno de trabajo.



Fuente: Autor del proyecto.


Tabla 28. Evaluación de la primera propuesta de mejoramiento.

RÉPLICA	MODELO ORIGINAL			PROPUESTA DE MEJORAMIENTO		
	Turno A	Turno B	Turno C	Turno A	Turno B	Turno C
1	75,24%	74,49%	54,56%	74,45%	70,42%	62,09%
2	75,79%	73,68%	53,61%	75,99%	72,17%	63,23%
3	74,80%	74,27%	53,25%	74,74%	71,96%	61,78%
4	76,06%	74,65%	53,33%	74,56%	71,94%	63,41%
5	74,65%	73,81%	53,33%	75,41%	71,70%	62,73%
6	74,84%	74,31%	52,77%	74,04%	71,54%	62,99%
Promedio	75,23%	74,20%	53,47%	74,87%	71,62%	62,71%
Desv Est	0,58%	0,38%	0,60%	0,71%	0,63%	0,65%
Error $h$	0,61%	0,40%	0,63%	0,74%	0,66%	0,68%
Lim. Inferior	74,62%	73,80%	52,85%	74,12%	70,96%	62,03%
Lim Superior	75,84%	74,60%	54,10%	75,61%	72,28%	63,38%

Fuente: Autor.

Con esta propuesta de mejoramiento, no hay ningún indicio de que se reduzca considerablemente el porcentaje de ocupación, pero, es posible que un beneficio para el índice de carga laboral que deja esta propuesta es en cuanto a la organización del tiempo de los técnicos, ya que se podría pensar que los intervalos de tiempo en que el técnico se encuentra desocupado son, en promedio, mayores y así, los técnicos pueden programar sus descansos y las reposiciones por agotamiento a lo largo del turno.

Para poder medir el impacto de la propuesta de mejoramiento en la organización del tiempo de los técnicos, se debe definir una nueva medida de desempeño que cuantifique el intervalo del tiempo promedio en que el técnico dura trabajando antes de quedar en estado “desocupado”, y el intervalo del tiempo promedio en

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

que el técnico está desocupado antes de volver a ser requerido por una entidad para la realización de algún análisis. Las medidas de desempeño se denominan como “Tiempo medio en estado ocupado” (TMO) y “Tiempo medio en estado desocupado” (TMD). La forma como se calculan estos dos intervalos de tiempo es:

- $TMO = (\%Oc * Long. \text{ de la Réplica de Simulación}) / \# \text{ cambios de estado.}$
- $TMD = ((1 - \%Oc) * Long. \text{ de la Réplica de Simulación}) / \# \text{ cambios de estado.}$

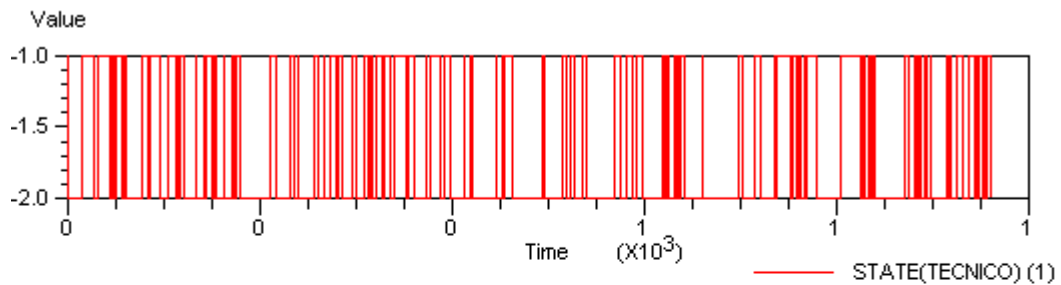
Una manera de comparar las medidas de desempeño entre el sistema real y la propuesta de mejoramiento, es mediante la observación. A manera de ejemplo, en las gráficas 11(a) y 11(b) se comparan los cambios de estado incurridos en los turnos A de la primera réplica; la gráfica del turno que tenga mayor cantidad de líneas divisorias indicaría que hubo mayor cantidad de cambios de estado y por ende, los intervalos de tiempo programados para el descanso son menores.

Entonces, después de ajustar los modelos de simulación para obtener las nuevas medidas de desempeño, la tabla 29 muestra los tiempos medios en estado ocupado y desocupado de cada réplica de simulación para cada turno de trabajo, de igual manera, se muestran los límites de los intervalos de confianza para poder realizar comparaciones.

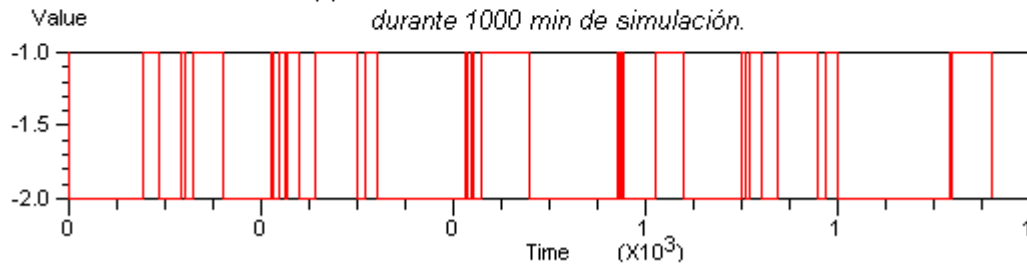
Al haber organizado las llegadas en lotes de producción, los tiempos medios de los estados del técnico son más prolongados, lo que hace que el técnico pueda administrar mejor su tiempo durante su desempeño en el turno de trabajo. Un inconveniente que debería ser analizado antes de poner en funcionamiento esta propuesta de mejoramiento, es en cuanto al espacio diseñado para la recepción de las muestras y el despacho de las balas desocupadas ya que se debe tener la capacidad de recibir y despachar lotes de producción que a lo sumo, llegan a ser de 34 muestras (según la organización de los tamaños de lote calculados para Turno B). Revisando el diseño de la estación de Recepción, la capacidad no sería

un problema ya que hay suficiente espacio para recibir las muestras sin que pierdan características de calidad requeridas para desarrollar los análisis químicos.

Gráfica 11(b): Cambios de estado del técnico en la propuesta de mejoramiento



Gráfica 11(a): Cambios de estado del técnico en el sistema real durante 1000 min de simulación.




Fuente: Output Analyzer.

Tabla 29. Evaluación del TMO y TMD como medidas de desempeño de la primera propuesta de mejoramiento.

RÉPLICA	MODELO ACTUAL						PROPUESTA DE MEJORAMIENTO					
	Turno A		Turno B		Turno C		Turno A		Turno B		Turno C	
	TMO	TMD	TMO	TMD	TMO	TMD	TMO	TMD	TMO	TMD	TMO	TMD
1	10,46	3,44	10,21	3,5	9,52	7,93	37,05	12,72	28,12	12,04	33,52	20,46
2	10,93	3,49	9,81	3,51	9,2	7,96	39,47	12,47	31,25	12,05	35,17	20,45
3	10,37	3,49	10,11	3,5	9,39	8,24	37,5	12,61	29,74	11,59	32,98	20,4
4	11,17	3,52	10,23	3,48	9,13	7,99	36,98	12,62	30,69	11,97	35,23	20,33
5	10,1	3,41	9,93	3,52	9,07	7,94	38,57	12,57	30,04	11,86	35,31	20,95
6	10,27	3,45	10,28	3,55	8,93	8	35,77	12,54	30,05	11,96	35,35	20,77
<b>Promedio</b>	10,55	3,47	10,10	3,51	9,21	8,01	37,56	12,59	29,98	11,91	34,59	20,56
<b>Desv Est</b>	0,41	0,04	0,19	0,02	0,22	0,12	1,30	0,08	1,06	0,17	1,06	0,24
<b>Error h</b>	0,43	0,04	0,20	0,02	0,23	0,12	1,37	0,09	1,11	0,18	1,11	0,26
<b>Lim. Inf.</b>	10,12	3,42	9,90	3,49	8,98	7,89	36,19	12,50	28,87	11,73	33,48	20,30
<b>Lim. Sup.</b>	10,98	3,51	10,29	3,53	9,43	8,13	38,92	12,68	31,10	12,09	35,70	20,82

Fuente: Autor.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

**8.2. Programar la realización del 15% de los análisis de Turno A y Turno B en Turno C. Además, asignar el análisis de humedad ASTM D 6304 a otro puesto de análisis.**

Esta propuesta fue hecha por los técnicos de turno con la aprobación del supervisor, ya que se estima que el 15% de los análisis tienen baja importancia en su priorización, y se podría programar la realización de los mismos para el Turno C. En cuanto al análisis de humedad, el laboratorio cuenta con otros puestos de trabajo que podría hacerse cargo de este análisis.

Para poder evaluar la propuesta, se elimina el 15% del total de análisis y el análisis de Humedad ASTM D 6304 de la población con la que se calcularon las tasas de llegada para Turno A y Turno B; se define una nueva variable aleatoria que describa el proceso de llegadas y se generan 6 réplicas de simulación. Seguido a esto, se establece un nuevo intervalo de confianza para las cantidades producidas en Turno A y Turno B. Por otra parte, se calcula una reducción del 15% de análisis químicos realizados por el modelo actual, y si dicho valor promedio cae en el intervalo de confianza definido anteriormente, se puede afirmar que sí hubo una reducción del 15% en las cantidades producidas de ambos turnos.

La tabla 30 muestra los resultados de la simulación. Se evidencia una reducción del 15% en la cantidad de análisis realizados y que, bajo estos escenario, se pueden comparar los porcentajes de ocupación con el fin de estimar el efecto que tuvo la propuesta de mejoramiento. Igualmente, en la tabla 30 se muestran los porcentajes de ocupación de los técnicos en cada réplica de la simulación, se estiman los intervalos de confianza para dicha medida de desempeño y se evidencia que hay una diferencia significativa de los porcentajes de ocupación entre el modelo actual y el propuesto.


El nivel de carga laboral en turno C no se ve tan afectado, debido a que se retoman los tiempos de servicio calculados en la sección 7.1, ya que la cantidad de análisis a desarrollar en un turno de trabajo guarda una relación inversamente proporcional al tiempo de servicio, es decir, cuando llegan pocas solicitudes de análisis, los técnicos pueden disminuir la velocidad de ejecución y los tiempos de servicio aumentan, y en el caso contrario, al haber un alto nivel de solicitudes, los operarios aceleran su ritmo de trabajo haciendo los tiempos de servicio más cortos. En cuanto a las reducciones de los porcentajes de ocupación de los Turno A y B son, en promedio, de 9,79% y 11,49% respectivamente.

Tabla 30. Evaluación de la segunda propuesta de mejoramiento.

RÉPLICA	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO			PROPUESTA DE MEJORAMIENTO		
	Cantidades de Producción			Porcentaje de Ocupación		
	Turno A	Turno B	Turno C	Turno A	Turno B	Turno C
1	18783	19519	9761	64,96%	63,38%	52,56%
2	18830	19336	9659	65,25%	62,77%	53,61%
3	18706	18981	9679	65,23%	61,96%	53,25%
4	18942	19227	9770	65,31%	62,73%	53,33%
5	18917	19078	9763	65,55%	62,45%	53,33%
6	18968	19260	9734	66,36%	63,00%	52,77%
<b>Promedio</b>	18857,67	19233,50	9727,67	65,44%	62,72%	53,14%
<b>Desv. Est.</b>	102,13	190,10	47,49	0,49%	0,48%	0,39%
<b>Error h</b>	107,18	199,50	49,84	0,51%	0,51%	0,41%
<b>Lim. Inferior</b>	18750,49	19034,00	9677,83	64,93%	62,21%	52,73%
<b>Lim Superior</b>	18964,84	19433,00	9777,50	65,95%	63,22%	53,56%
<b>Medida Actual</b>	22191	22776	9636	75,23%	74,20%	53,47%
<b>Reducción</b>	18862	19360	-	<b>9,79%</b>	<b>11,49%</b>	<b>0,33%</b>

Fuente: Autor.

Lo verdaderamente interesante de esta propuesta, es que logra ajustar los niveles de carga laboral de una manera más equitativa para los tres turnos de trabajo, y es por esta razón que se recomienda ajustar las cantidades de producción tal y como se propone.


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

### **8.3. Creación de un ente regulador el nivel de la carga laboral**

Una de las razones por las que se considera que hay un alto índice de carga laboral en el puesto de cromatografía es debido a la alta variabilidad del porcentaje de ocupación. Por ejemplo, el promedio general de este porcentaje en Turno A es de 75,79% lo que indicaría una asignación de trabajo relativamente justa, pero, este valor fue estimado con porcentajes de ocupación que varían desde el 60% hasta el 90%.

La necesidad de crear un ente para que desarrolle funciones administrativas se fundamenta en que el principal factor controlable de variación en la carga laboral son las políticas con las que se pactan las cantidades de análisis químicos a desarrollar, y para controlar dicha variación, se propone asignarle al nuevo ente las funciones que se mencionan a continuación ya que son la base de esta propuesta de mejoramiento y además, no están asignadas a ninguno de los cargos definidos actualmente en el Laboratorio:

- Negociar con cada uno de los representantes de las plantas, la cantidad de análisis que se realizar teniendo en cuenta los resultados entregados en el presente proyecto.
- Construir e implementar, y posteriormente administrar, alguna técnica o mecanismo de pronósticos de carga laboral, esto con el fin de predecir los turnos en los que se espera tener mucho trabajo para poder tomar, de manera anticipada, alguna decisión en pro de disminuir el porcentaje de ocupación y así, asignar un nivel de trabajo justo que asegure un buen clima laboral y sobre todo, calidad de los análisis. Vale la pena resaltar que no es imposible construir una herramienta de pronósticos y se recomienda buscar técnicas


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECO PETROL S.A	

desde la prospectiva tecnológica. Otra forma desde donde se recomienda buscar información para hacer pronósticos es desde la entidad encargada de las ventas de la refinería, ya que si hay un pronóstico definido para las ventas, se puede llegar a predecir cuales serán los productos de mayor circulación e identificar los procesos que serán críticos dentro de la refinería y así, llegar a deducir la carga laboral del Laboratorio. Otro beneficio que podría tener la herramienta de pronósticos, es la de flexibilizar los procesos internos de generación de valor del laboratorio para poder atender las solicitudes de los clientes de manera más competitiva.

- Asignar prioridades a los análisis que se deben realizar. Ya que, dado el caso en que se prevean muchas solicitudes que generen un alto índice de trabajo, se pueda negociar con el cliente para realizar las solicitudes que sean consideradas como menos importantes en un turno posterior.
- Programar las capacitaciones técnicas y charlas de seguridad industrial. Como primera medida, se debe haber medido el flujo de trabajo proveniente de la refinería y, en aquellos días en los que se prevea un bajo índice de carga laboral, se podrían aprovechar para programar capacitaciones y demás actividades que se llevan a cabo actualmente en la coordinación en pro de construir y asegurar el conocimiento.

#### ***8.4. Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad***

Cada vez se hace más claro que las empresas líderes en tecnología son las que se posicionan, a su vez, competitivamente en los mercados. Haciendo mención al contexto tecnológico, las empresas se proyectan a invertir en investigación y desarrollo de nuevos productos, optimización en la producción, y también mantenimiento y confiabilidad. Empresas del negocio de la refinación de

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

hidrocarburos como la DuPont, Dow Chemicals y la Shell, aseguran a través de sus estudios que el mantenimiento es una oportunidad de mejoramiento poco explorada, ya que los gastos generados por mantenimiento correctivo alcanzan sumas cercanas a los dos tercios de la ganancia neta anual.<sup>18</sup>


La propuesta de mejoramiento consiste en aplicar la teoría del mantenimiento basado en Confiabilidad para reducir los tiempos en que los equipos duran por fuera de servicio debido a fallas inesperadas, ya que, al calcular las pérdidas de capacidad de producción instalada (tomando como referencia el análisis de la sección 6.3) éstas llegan a ser cerca de 10395 horas al año.

Actualmente la administración del laboratorio tercerizó las labores de mantenimiento contratando a la Empresa Inarcon S.A en cuyo contrato, se estipula que dicha empresa presta su servicio encargándose de los mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos disponibles para la realización de análisis químicos.

El proceso por el cual se interviene un equipo en el laboratorio, ya sea por mantenimiento preventivo o correctivo, es el siguiente: se diligencia un formato en el cual se registra el día y la hora en la que el equipo salió de servicio, se escriben las causas de falla y el formato es firmado por el técnico de turno y el encargado de mantenimiento, de esta manera, el equipo será responsabilidad de Inarcon S.A hasta que regrese a funcionamiento. Una vez se ha intervenido el equipo y este recupera su condición de operación, se documenta en el mismo formato las acciones que fueron necesarias para corregir los motivos de falla y se vuelve a firmar, y de esta manera, el equipo regresa a su lugar de trabajo para calibrarlo y ponerlo nuevamente en funcionamiento.

---

<sup>18</sup> Fuente: Shell Global Solutions.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECO PETROL S.A	

#### **8.4.1. Implementación de Indicadores de Confiabilidad:**

Los indicadores de mantenimiento que se van a implementar, son los definidos en el marco teórico del presente proyecto. Para la implementación, se va a definir un grupo de indicadores para cada equipo de análisis químico de cromatografía.

En un archivo de Microsoft Excel, se esquematizó un formato único que sirve como interface para ingresar los datos relacionados a las fallas de los equipos. Además, el archivo contiene un código de programación escrito en Visual Basic Aplicado, el cual, toma los datos ingresados por el usuario y ejecuta una secuencia de instrucciones que llevan a calcular los indicadores de confiabilidad.

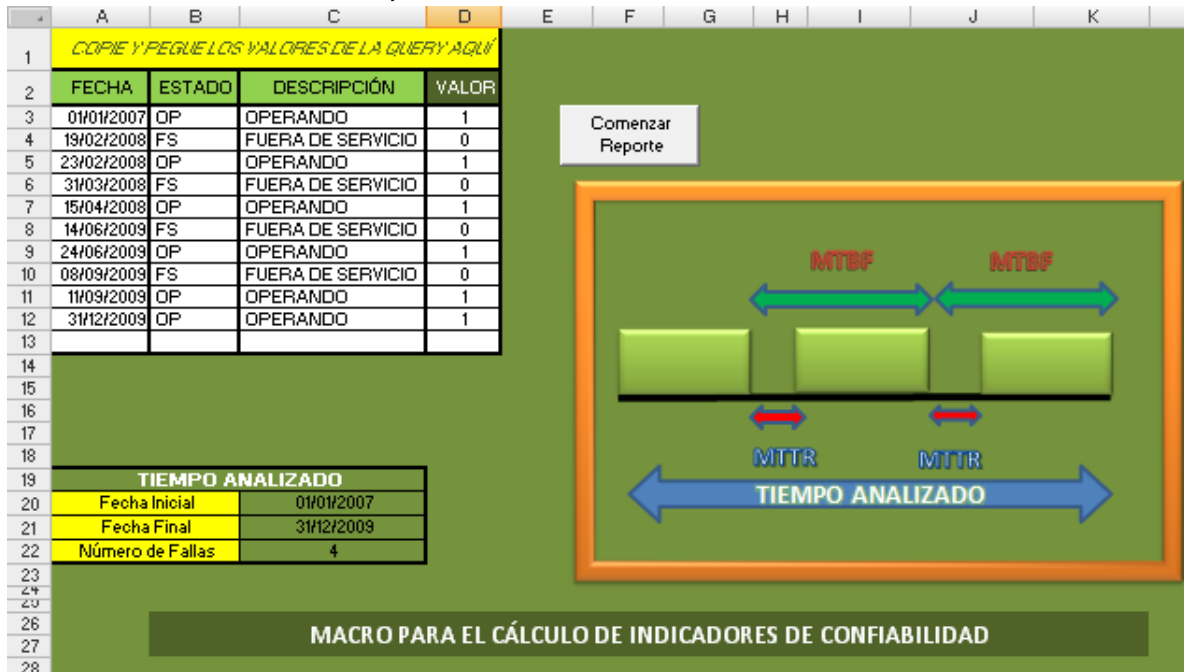
El formato está conformado por dos hojas de cálculo. La primera hoja sirve como interface para ingresar los datos con los cuales se calcularán los indicadores de confiabilidad, y en la segunda, se muestran los resultados de los cálculos de dichos indicadores. La gráfica 12 muestra el diseño de la primera hoja de cálculo: el diseño de la segunda hoja está disponible en el Anexo G.

Posteriormente, se creó una copia del formato para asignarla a cada uno de los equipos del puesto de trabajo. Los 14 archivos se encuentran en la carpeta: “Confiabilidad Cromatógrafos”, de los Anexos del presente proyecto.

La utilidad de esta herramienta va de la mano con un tipo de mejoramiento que se le está haciendo al manejo de la información. Actualmente, Ecopetrol cuenta con un sistema de información para el mantenimiento llamado “Elipse”, el cual permite registra los equipos en una base de datos y agregar registros de intervención por mantenimiento, por ejemplo, se puede agregar información acerca del tipo de mantenimiento al cual fue sometido el equipo, registrar la fecha en que se da de baja el equipo y la fecha en la que vuelve a operación, asignar las causas por las

cuales el equipo salió de servicio y cuáles fueron las acciones correctivas necesarias para poner nuevamente el equipo en funcionamiento.

Gráfica 12: Macro para el cálculo de los indicadores de confiabilidad




Fuente: Autor del proyecto

Desde “Ellipse”, es posible generar consultas sobre las fechas en las que el equipo cambia de estado. Estas consultas arrojan los datos con los que se alimenta la Macro para el cálculo de los indicadores y así, proceder a calcularlos. Si no es posible hacer las consultas desde el software “Ellipse S.A”, se tendría que traer manualmente, desde los formatos que tiene Inarcon S.A, las fechas de los cambios de estado (tal y como fue necesario hacerlo para probar las macros y dejarlas en funcionamiento).

#### 8.4.2. Capacitación sobre el tema:


La manera como se expuso la problemática acerca de las pérdidas de producción por mantenimiento correctivo, fue a través de una capacitación se le dictó a los

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

trabajadores de la empresa Inarcon S.A en dos sesiones. En dicha capacitación, se hablaron de los siguientes temas:

- Definición e Importancia del Mantenimiento.
- Proceso Global de Mantenimiento.
- Planeación Estratégica para el proceso de Mantenimiento.
- Construcción de un Plan estratégico.
- Métodos de Ingeniería de Confiabilidad: Fundamentación Matemática y estadística aplicadas a la función de mantenimiento:
- Definición e Importancia de los Indicadores de Confiabilidad.
- Conformación del Equipo de Confiabilidad.
- Difusión de las pérdidas actuales de producción: En esta parte de la capacitación, se expusieron los resultados del análisis de capacidad.
- Explicación de la Macro para el aseguramiento de la información y el cálculo de los indicadores de confiabilidad.

Las diapositivas de la capacitación y todo el material que se utilizó para llevar a cabo la implementación de esta propuesta de mejoramiento se encuentra disponible en la carpeta “Confiabilidad” de los Anexos del proyecto.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## 9. CONCLUSIONES

- La administración del laboratorio se ha encargado de hacer del mismo, un lugar de trabajo donde se inculquen las buenas prácticas para el desarrollo de los procesos productivos. Como por ejemplo, se hacen jornadas de orden y aseo, se tratan temas como el auto cuidado; todos los trabajadores son muy conscientes de utilizar los implementos de protección personal, y lo hacen; los procesos están estandarizados bajo normas internacionales de acreditación.
- Los diagramas de operaciones y de recorrido permitieron describir gráficamente el proceso que al inicio del proyecto se encontraba estandarizado. La utilidad de esta diagramación es la de dar a conocer el proceso de forma rápida y objetiva al personal que no está directamente relacionado con la producción de análisis químicos; además permitió una familiarización con los elementos de producción para tomar decisiones acerca de las mediciones de los tiempos de producción.
- Con el estudio de tiempos por muestreo de trabajo se encontró una alta variabilidad en el porcentaje de ocupación esperado. La principal causa de esta variación está en la cantidad de solicitudes que llegan al puesto de trabajo y que fueron previamente pactadas en acuerdos de negociación con los clientes, o son análisis especiales que sin requerir un programa de producción, deben desarrollarse. Esto hace que en algunas ocasiones los técnicos deban enfrentarse a turnos de trabajo con una alta carga laboral.
- La diferencia entre los tiempos calculado por el estudio de tiempos por muestreo de trabajo y el estudio de tiempo por cronómetro, pone en claro que en los momentos donde hay un alto nivel de carga laboral, los técnicos suelen reducir dicho nivel aumentando el ritmo de ejecución o reduciendo tareas o

pasos contemplados en los diagramas de procesos. Esto pone en riesgo la calidad de los análisis.


- La tabla 31 presenta los porcentajes de reducción de capacidad de producción de los recursos utilizados en cromatografía. Analizando los equipos, se estima una pérdida de capacidad disponible de 10393 horas al año. Las causas de estas pérdidas son principalmente por falta de planeación para corregir las fallas de los equipos en los mantenimientos correctivos. Por otra parte, se evidencia una inversión innecesaria en maquinaria, ya que la capacidad requerida en producción llega a ser solamente del 17,63% de la capacidad instalada y 26,12% de la capacidad disponible. En cambio, analizando al técnico, se utiliza más de lo que realmente se requiere, lo que indica una planeación equivocada en las cantidades de producción.

*Tabla 31 Reducciones de capacidad.*

CAPACIDAD	TIPO DE RECURSO			
	Equipos [hr/año]	% Reducción	Técnico [hr/año]	% Reducción
TEÓRICA	122724	-	8766	-
INSTALADA	122496,8	0,19%	8766	0,00%
DISPONIBLE	112103	8,48%	8373	4,48%
NECESARIA	29279	73,88%	3969	52,60%
UTILIZADA	27235	6,98%	4972	-25,27%


*Fuente: Análisis de Capacidad*

- La caracterización de la tasa de llegada y los tiempos de operación como variables aleatorias de una distribución de probabilidad, permitió construir un modelo que refleje el comportamiento estocástico de un sistema de producción real, donde se manejan unas políticas de fila y de servicio, con el fin de cumplir sinérgicamente los objetivos de los procesos de generación de valor.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	


## **10. RECOMENDACIONES FINALES**

- Desarrollar técnicas de construcción de valores para disminuir el efecto de los técnicos y encontrar más igualdad en el trabajo de la gente, se hace esta recomendación debido a que se lograron identificar durante el estudio de tiempos a dos tipos de técnicos, uno de ellos hace escasamente el trabajo necesario (correspondiente a la analítica) y el otro grupo debe realizar actividades adicionales de orden, aseo y demás que hacen su porcentaje de ocupación relativamente más alto con respecto a los otros. Las actividades de construcción de valores se deben desarrollar de la mano con un especialista en psicología organizacional, para detectar la raíz de los problemas que hacen que este tipo de comportamientos se presenten en cierto grupo de trabajadores.
- Empezar a capturar los datos requeridos para evaluar el impacto de los factores externos. Para tal fin, se recomienda adaptar el sistema de información del laboratorio SILAB para que este registre las anomalías presentadas en el turno de trabajo.
- En cuanto al muestrero (quien transporta las muestras de las plantas al laboratorio), se recomienda estudiar un poco más su trabajo y su carga laboral, ya que su función es muy importante porque es el encargado de suplir de trabajo al laboratorio. Si se evidencian muchas irregularidades en el horario de entrega de las muestras por parte de las plantas o cualquier otra circunstancia que demore el reparto de las muestras, se recomienda buscar las causas de dichas circunstancias y solucionarlas, o si no es posible, llegar a buscar la forma de hacer oportunas las entregas.

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## BIBLIOGRAFÍA

- CHASE, Richard B., JACOBS F. Robert, AQUILANO Nichikas J. Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva. Décima edición. México, Mc Graw Hill, 2005.
- ORTIZ, Nestor Raúl. Análisis y mejoramiento de los procesos de la empresa. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, 1999.
- NIEBEL, Benjamín. INGENIERÍA INDUSTRIAL Métodos, Tiempos Y Movimientos: Estudios de muestreo de trabajo. 3ra ed. México D.F: Alfaomega 1988
- KALENATIC, Dusko. APLICACIONES COMPUTACIONALES EN PRODUCCIÓN: Análisis y programación de capacidades de los medios de trabajo. 1ra ed. Bogotá: Fondo editorial Universidad Francisco José de Caldas 1993.
- MONTGOMERY, Douglas c. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS. 2da Ed. México D.F: Limusa Wiley. 2004
- KELTON, David. SIMULATION WITH ARENA. 1ra ed. Boston: Mc Graw-Hill. 1998.
- Programa de Certificación en confiabilidad. Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEM. Bogotá, Colombia 2008
- CHUNG, Christopher A. SIMULATION MODELING HANDBOOK: a practical approach. 1ra ed. Boca Ratón: Editorial CRC Press. 2003

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	



- <http://www.ecopetrol.com.co>
- DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS DE LA NORMA NTC-ISO-IEC 17025 PARA EL LABORATORIO DE POLIETILENO DE LA EMPRESA COLOMBIANA DE PETRÓLEOS ECOPETROL S.A
- [http://www.synapsis-it.com/synapsis/pdf/Synapsis\\_Caso\\_de\\_exito\\_outsourcing\\_Ecopetrol.pdf](http://www.synapsis-it.com/synapsis/pdf/Synapsis_Caso_de_exito_outsourcing_Ecopetrol.pdf)
- FÁBREGAS, Aldo. SIMULACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS CON ARENA. Barranquilla: Ediciones Uninorte 2003.
- SILVA, Pedro. MANTENIMIENTO EN LA PRÁCTICA. 2da ed. Bogotá: Editorial ACIEM 2007.
- MENDOZA, Ramón. MANUAL DE MACROS EN EXCEL. 1ra ed. Bogotá: Editorial ACIEM 2002.


	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

## ANEXO A


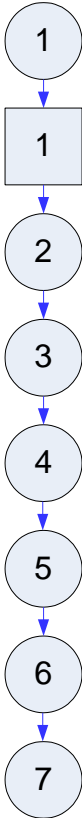
### DIAGRAMAS DE PROCESO

#### 1. Diagrama de operaciones análisis de Corrosión:


 COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL ANÁLISIS DE CORROSIÓN EN CROMATOGRFÍA		
INFORMACION GENERAL	MÉTODOS QUÍMICOS INCLUIDOS	DATOS DE PRODUCCIÓN
Código Diagrama: 001C Fecha Elaboración: Febrero 10 de 2010 Nombre del Proceso: Análisis de Corrosión Puesto de Trabajo: Cromatografía Versión: 1	ASTM D 1838	Tiempo Total de Producción:  Total de Operaciones: 8 Total de Inspecciones: 1
DIAGRAMA	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
	Op 1: Hacer montaje de Bala	Incluye pulir la lamina de cobre que va dentro de la bala
	Op 2: Llenar Bala con muestra de producto	Esta operación no se realiza en el puesto de trabajo por lo que no consume ningun recurso del mismo, solo afecta el tiempo del método
	Insp 1: Revisar contenido de muestra de Producto en Bala	En algunos casos las balas son rechazadas por no cumplir las especificaciones según las normas de recepción de muestras del laboratorio
	Op 3: Registrar ingreso de muestra en el Sistema	Se hace cuando la bala llega cargada con la muestra para realizar el análisis
	Op 4: Retirar Etiqueta y Montar en Baño de Corrosión	
	Op 5: Llevar a Cabo método de Corrosión en Baño	No requiere hora hombre efectiva.
	Op 6: Desmontar Bala	Incluye limpieza de la bala
	Op 7: Leer Resultados	
	Op 8: Generar Reporte en el Sistema de Información del Laboratorio (SILAB)	
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Andrés Castro Zaldúa Estudiante en Práctica Industrial	Alvaro Nuñez Vargas Profesional del área de cromatografía	Judith Rocio Santa Jaimes Coordinadora Inspección de Calidad

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	



## 2. Diagrama de operaciones análisis de Gases:


 COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL ANÁLISIS DE GASES EN CROMATOGRAFÍA		
INFORMACION GENERAL	MÉTODOS QUÍMICOS INCLUIDOS	DATOS DE PRODUCCIÓN
Código Diagrama: 001G Fecha Elaboración: Febrero 10 de 2010 Nombre del Proceso: Análisis de Gases Puesto de Trabajo: Cromatografía Versión: 1	ASTM D 2163    ASTM D 2158 ASTM D 6667 ASTM D 2712 ASTM D 5504 UOP 603	Tiempo Total de Producción:  Total de Operaciones: 7 Total de Inspecciones: 1
DIAGRAMA	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
	Op 1: Registrar ingreso de muestra en el Sistema	
	Insp 1: Revisar contenido de muestra de Producto en Bala	En algunos casos las balas son rechazadas por no cumplir las especificaciones según las normas de recepción de muestras del laboratorio
	Op 2: Montar Bala en la Cabina	Incluye poner la cinta en las Boquillas de la bala
	Op 3: Activar Sistema para hacer análisis	
	Op 4: Llevar a Cabo método de análisis en el Cromatógrafo	No requiere hora hombre efectiva.
	Op 5: Desmontar Bala	
	Op 6: Limpiar Bala	Incluye Retirar la etiqueta de identificación de la bala
Op 7: Generar Reporte en el Sistema de Información del Laboratorio (SLAB)		

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Andrés Castro Zaldúa Estudiante en Práctica Industrial	Alvaro Nuñez Vargas Profesional del área de cromatografía	Judith Rocio Santa Jaimes Coordinadora Inspección de Calidad



	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

### 3. Diagrama de operaciones análisis de Líquidos:

 COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL ANÁLISIS DE LIQUIDOS EN CROMATOGRFÍA		
INFORMACION GENERAL	MÉTODOS QUÍMICOS INCLUIDOS	DATOS DE PRODUCCIÓN
Código Diagrama: 001L Fecha Elaboración: Febrero 10 de 2010 Nombre del Proceso: Análisis de Líquidos Puesto de Trabajo: Cromatografía Versión: 1	ASTM D 3054 ASTM D 5580 ASTM D 5186 ASTM D 1319	Tiempo Total de Producción:  Total de Operaciones: 8 Total de Inspecciones: 1
DIAGRAMA	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
	Op 1: Registrar ingreso de muestra en el Sistema	En algunos casos las balas deben rechazadas por no cumplir las especificaciones según las normas de recepción de muestras del laboratorio
	Insp 1: Revisar contenido de muestra de Producto en Bala	
	Op 2: Armar Vial	
	Op 3: Armar Vial	
	Op 4: Activar Sistema para hacer análisis	No requiere hora hombre efectiva.
	Op 5: Llevar a Cabo método de análisis en el Cromatógrafo	
	Op 6: Generar Reporte en el Sistema de Información del Laboratorio (SILAB)	
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Andrés Castro Zaldúa Estudiante en Práctica Industrial	Alvaro Nuñez Vargas Profesional del área de cromatografía	Judith Rocio Santa Jaimes Coordinadora Inspección de Calidad

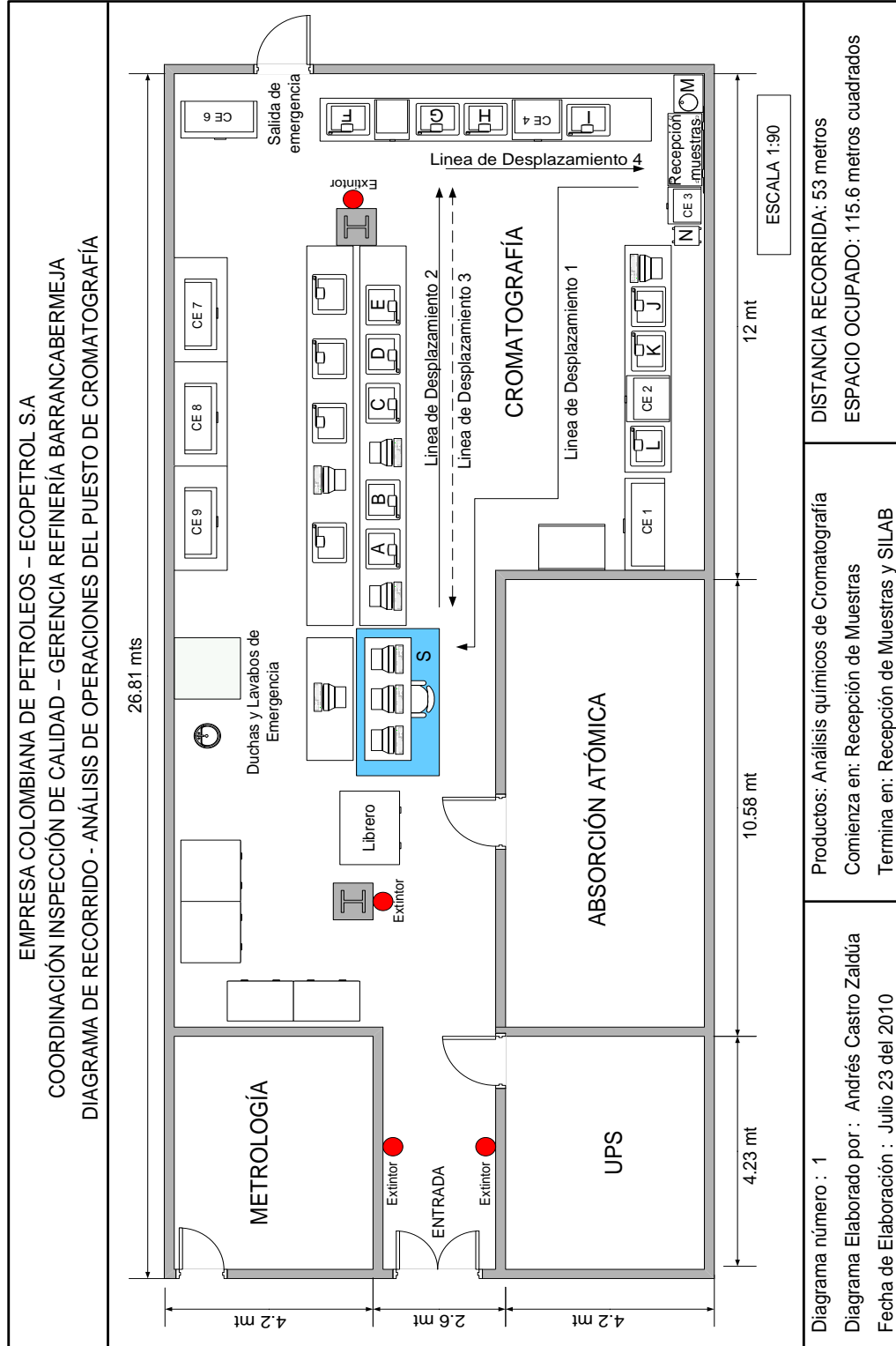
	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

#### 4. Diagrama de operaciones análisis de Humedad:

 COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL ANÁLISIS DE HUMEDAD EN CROMATOGRAFÍA		
INFORMACION GENERAL	MÉTODOS QUÍMICOS INCLUIDOS	DATOS DE PRODUCCIÓN
Código Diagrama: 001H Fecha Elaboración: Febrero 10 de 2010 Nombre del Proceso: Análisis de Humedad Puesto de Trabajo: Cromatografía Versión: 1	ASTM D 6304	Tiempo Total de Producción:  Total de Operaciones: 5 Total de Inspecciones: 2
DIAGRAMA	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
	Op 1: Registrar muestra en el Sistema	
	Insp 1: Revisar contenido de Producto en Bala	En algunos casos las balas deben rechazadas por no cumplir las especificaciones de las normas de
	Op 2: Inyectar muestra en titulador	
	Op 3: Activar Sistema para hacer análisis	Se hace desde el titulador, más no desde el punto de red SILAB
	Op 4: Llevar a cabo análisis	No requiere hora hombre efectiva.
	Op 5: Preparar titulador para segunda inyección	
	Op 6: Inyectar muestra en titulador	
	Op 7: Activar Sistema para hacer análisis	Se hace desde el titulador, más no desde el punto de red SILAB
	Op 8: Llevar a cabo análisis	No requiere hora hombre efectiva.
	Op 9: Preparar titulador para tercera inyección	
	Op 10: Inyectar muestra en titulador	
	Op 11: Activar Sistema para hacer análisis	Se hace desde el titulador, más no desde el punto de red SILAB
	Op 12: Llevar a cabo análisis	No requiere hora hombre efectiva.
	Op 13: Limpiar titulador	
	Op 14: Generar Reporte en el Sistema de Información del Laboratorio (SILAB)	

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Andrés Castro Zaldúa Estudiante en Práctica Industrial	Alvaro Nuñez Vargas Profesional del área de cromatografía	Judith Rocio Santa Jaimes Coordinadora Inspección de Calidad

**5. Diagrama de recorrido**



- ***Nomenclatura y convenciones del plano de Cromatografía:***


SEC	Convención	TAG	Nombre
1	A	AE37218	Cromatógrafo Fluido Supercrítico
2	B	AE37270	Cromatógrafo Fluido Supercrítico
3	C	AE37213	Cromatógrafo Gases Aromáticos
4	D	AE37283	Cromatógrafo Productos Aromáticos
5	E	AE37282	Cromatógrafo de aromáticos en gasolinas
6	F	AE37347	Cromatógrafo para análisis de CO-CO2
7	G	AE37348	Cromatógrafo hidro y azufrados en GLP
8	H	AE37210	Cromatógrafo Gases para GLP
9	I	AE37408	Cromatógrafo de Gases
10	J	AE37211	Cromatógrafo Gases CO2
11	K	AE37151	Cromatógrafo Gases para GLP
12	L	AE37212	Cromatógrafo Gases de Refinería
13	M	AE37103	Titulador Coulométrico DL-32 KF
14	N	AE37237	Baño para Corrosión de GLP
15	CE 1	-	Cabina de Extracción 1
16	CE 2	-	Cabina de Extracción 2
17	CE 3	-	Cabina de Extracción 3
18	CE 4	-	Cabina de Extracción 4
19	CE 5	-	Cabina de Extracción 5
20	CE 6	-	Cabina de Extracción 6
21	CE 7	-	Cabina de Extracción 7
22	CE 8	-	Cabina de Extracción 8
23	CE 9	-	Cabina de Extracción 9
24	S	-	Punto de red del sistema de información SILAB

## ANEXO B

### RESUMEN DEL ESTUDIO DE TIEMPOS POR MUESTREO DE TRABAJO

#### 1. Tabla resumen de datos obtenidos en el Muestreo de Trabajo

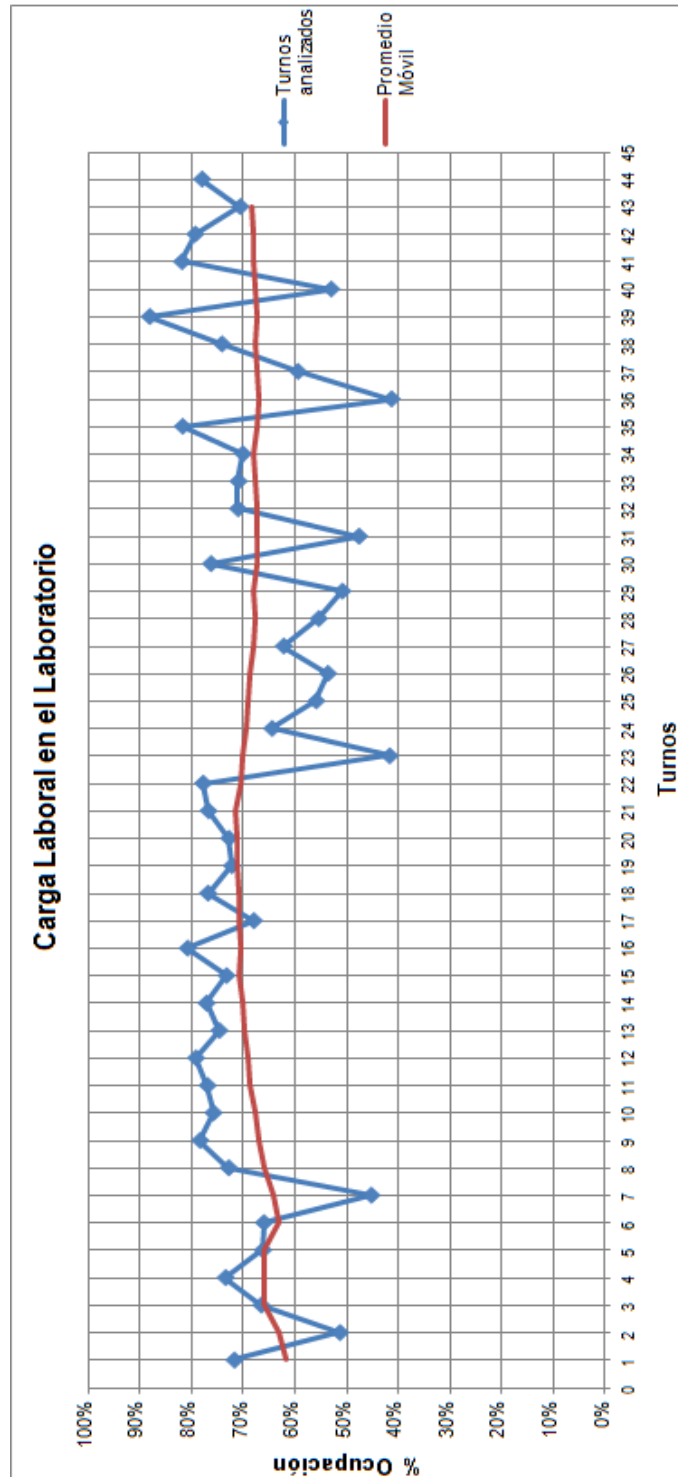
FECHA	Turno	n	Hrs	Porcentaje	Val Prom	%*Val Prom/100	Analista	Prom. Móvil
23/02/2010	A	45	8	75,56%	95,11	71,86%	1	-
23/02/2010	C	48	8	56,25%	91,48	51,46%	2	61,66%
24/02/2010	B	48	8	66,67%	100,00	66,67%	3	63,33%
25/02/2010	A	48	8	75,00%	98,10	73,57%	2	65,89%
25/02/2010	B	48	8	70,83%	93,68	66,35%	1	65,98%
26/02/2010	B	48	8	70,83%	93,38	66,15%	4	66,01%
26/02/2010	C	48	8	54,17%	83,80	45,39%	2	63,06%
01/03/2010	A	48	8	75,00%	97,26	72,95%	2	64,30%
02/03/2010	A	48	8	79,17%	99,15	78,49%	2	65,88%
03/03/2010	A	45	8	75,56%	100,49	75,92%	2	66,88%
04/03/2010	A	45	8	77,78%	99,07	77,05%	4	67,81%
05/03/2010	A	45	8	80,00%	99,10	79,28%	5	68,76%
08/03/2010	A	45	8	80,00%	93,47	74,78%	5	69,22%
09/03/2010	B	48	8	77,08%	100,23	77,26%	2	69,80%
10/03/2010	B	48	8	75,00%	97,86	73,40%	2	70,04%
11/03/2010	B	48	8	81,25%	99,58	80,91%	2	70,72%
12/03/2010	B	48	8	68,75%	99,06	68,11%	4	70,56%
15/03/2010	B	48	8	81,25%	94,74	76,98%	5	70,92%
16/03/2010	B	48	8	72,92%	99,21	72,34%	5	71,00%
17/03/2010	B	48	8	72,92%	100,00	72,92%	4	71,09%
18/03/2010	B	48	8	79,17%	97,11	76,88%	6	71,37%
19/03/2010	B	48	8	79,17%	98,42	77,92%	6	71,66%
22/03/2010	C	48	8	41,67%	100,45	41,85%	1	70,37%
23/03/2010	C	48	8	64,58%	100,00	64,58%	4	70,13%
24/03/2010	C	48	8	56,25%	99,63	56,04%	5	69,56%
25/03/2010	C	48	8	54,17%	99,29	53,78%	5	68,96%
26/03/2010	C	48	8	62,50%	99,75	62,34%	6	68,71%
05/04/2010	A	45	8	51,11%	108,70	55,56%	3	68,24%
06/04/2010	A	45	8	53,33%	95,63	51,00%	1	67,65%
06/04/2010	B	48	8	70,21%	108,79	76,38%	3	67,94%
07/04/2010	A	45	8	51,11%	93,48	47,78%	1	67,29%
08/04/2010	A	43	8	74,42%	95,63	71,16%	4	67,41%

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

### 1. Resumen de datos obtenidos en el Muestreo de Trabajo (Continuación)

FECHA	Turno	n	HRS	Porcentaje	Val Prom	%*Val Prom/100	Analista	Prom. Móvil
09/04/2010	A	47	8	65,96%	107,74	71,06%	3	67,52%
09/04/2010	B	47	8	74,47%	94,29	70,21%	1	67,60%
12/04/2010	B	48	8	79,17%	103,42	81,88%	5	68,01%
12/04/2010	C	48	8	41,30%	100,45	41,49%	3	67,27%
13/04/2010	C	48	8	54,17%	110,00	59,58%	1	67,06%
14/04/2010	A	47	8	72,34%	102,65	74,26%	5	67,25%
15/04/2010	A	45	8	86,67%	101,79	88,22%	5	67,79%
16/04/2010	A	46	8	52,17%	101,88	53,15%	6	67,42%
19/04/2010	A	45	8	77,78%	105,43	82,00%	3	67,78%
20/04/2010	A	44	8	77,27%	102,79	79,43%	6	68,06%
21/04/2010	A	42	8	69,05%	102,41	70,71%	3	68,12%
22/04/2010	A	45	8	71,11%	109,84	78,11%	6	68,35%
<b>TOTAL</b>		<b>2060</b>	<b>352</b>					

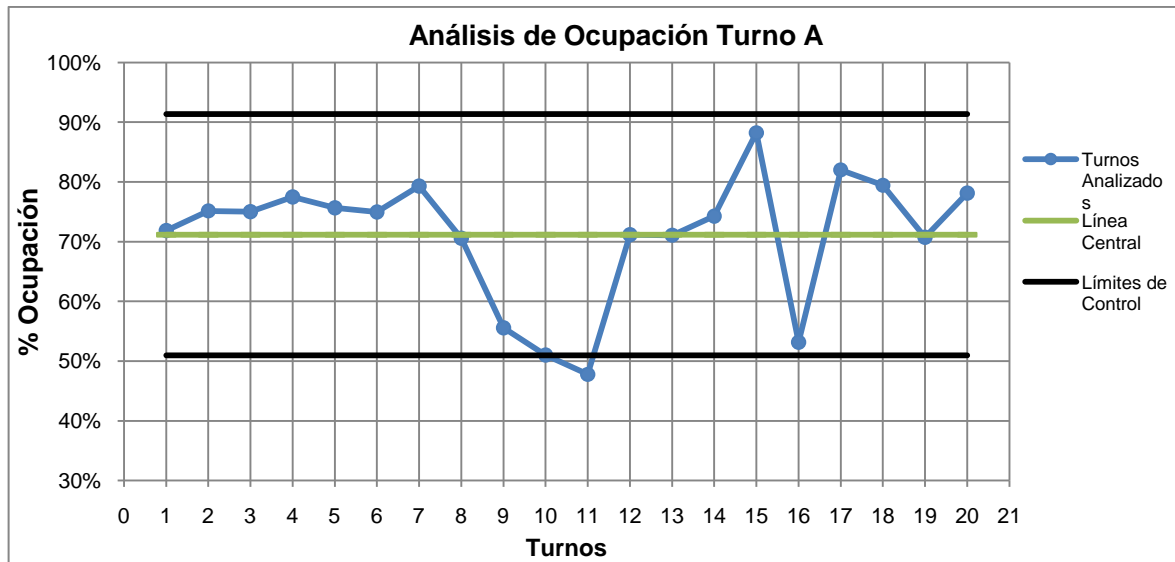
**2. Gráfica del Porcentaje de Ocupación de los turnos de trabajo**



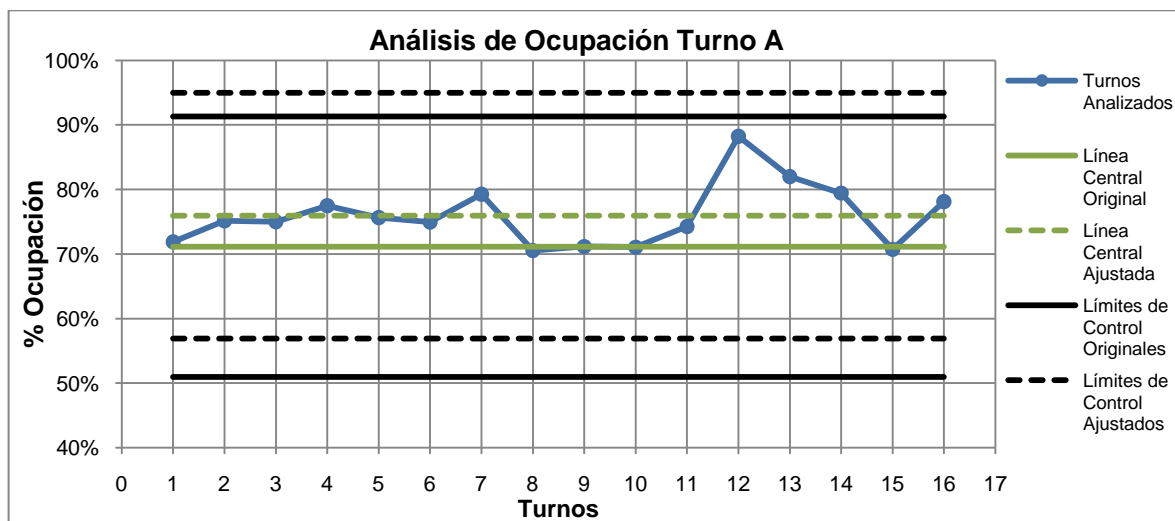
**ANEXO C**

**GRÁFICAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO “P”**

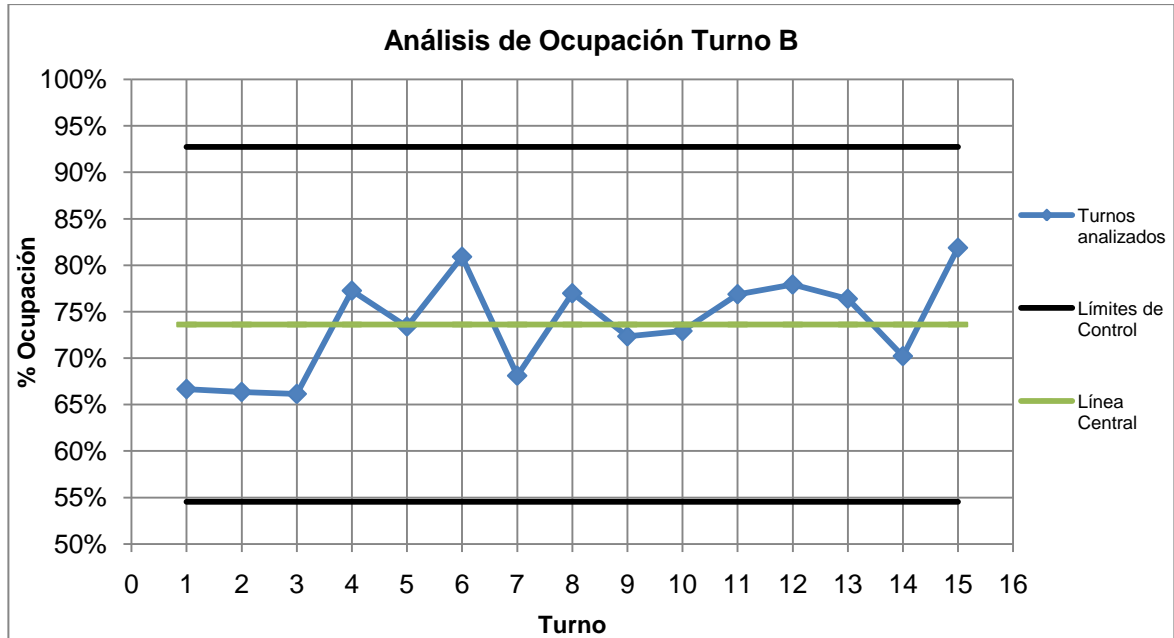
**1a. Gráfica del Porcentaje de Ocupación Turno A**



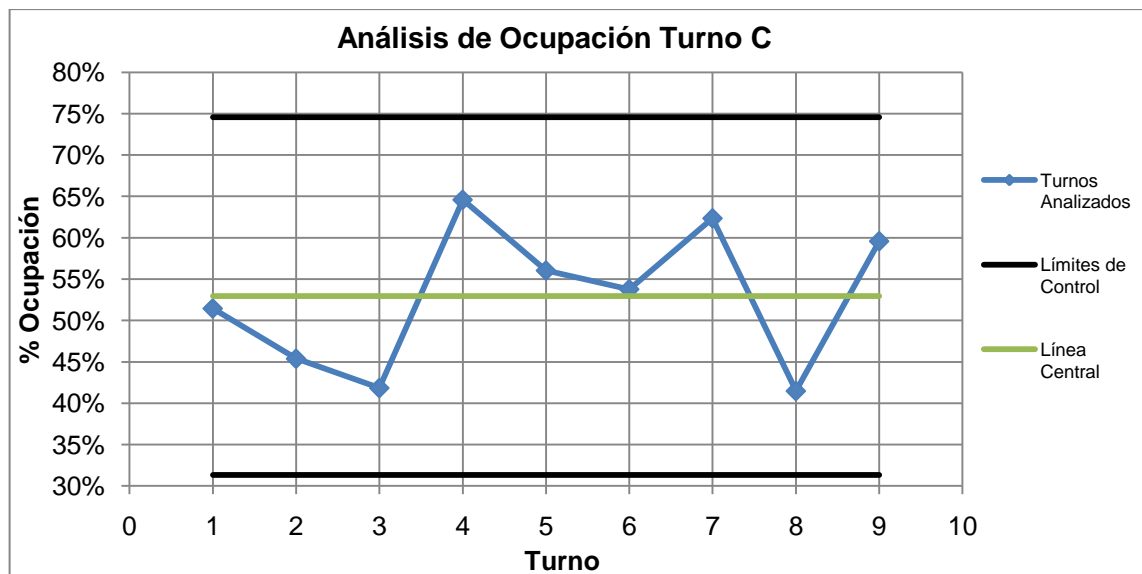
**1b. Gráfica del Porcentaje de Ocupación Turno A Con los límites de control ajustados**



**2a. Gráfica del Porcentaje de Ocupación Turno B**



**3a. Gráfica del Porcentaje de Ocupación Turno C**



**ANEXO D**  
**RESUMEN DE TIEMPOS POR CRONÓMETRO**

**1a. Proceso de análisis de corrosiones con valoraciones:**

Descripción de la Actividad	CICLO													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Op 1: Hacer montaje de Bala	0:43	0:54	0:58	0:36	0:44	1:00	0:45	0:36	0:46	0:52	0:51	0:52	0:46	0:50
Op 2: Llenar Bala con muestra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insp 1: Revisar contenido en Bala	0:27	0:16	0:23	0:16	0:24	0:17	0:22	0:16	0:11	0:11	0:22	0:16	0:17	0:19
Op 3: Retirar Etiqueta y Montar en Baño	1:06	1:10	0:58	1:00	0:50	0:45	1:00	1:13	1:07	0:51	0:52	0:46	0:53	0:46
Op 4: Registrar ingreso en Sistema	0:50	0:45	0:38	0:44	0:47	1:09	0:41	0:50	0:37	0:50	0:41	0:56	0:49	0:45
Op 5: Llevar a Cabo análisis	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00
Op 6: Desmontar Bala	2:45	3:22	3:12	2:54	3:00	2:49	2:57	2:39	2:52	2:56	3:25	2:47	2:53	2:56
Op 7: Leer Resultados	0:13	0:11	0:20	0:13	0:21	0:16	0:19	0:16	0:19	0:10	0:14	0:17	0:17	0:11
Op 8: Generar Reporte en el SILAB	0:30	0:27	0:31	0:32	0:25	0:29	0:34	0:34	0:30	0:32	0:27	0:30	0:29	0:46
<b>T sin Sistema</b>	<b>5:13</b>	<b>5:53</b>	<b>5:52</b>	<b>4:59</b>	<b>5:20</b>	<b>5:07</b>	<b>5:22</b>	<b>4:59</b>	<b>5:15</b>	<b>5:00</b>	<b>5:44</b>	<b>4:58</b>	<b>5:07</b>	<b>5:03</b>
<b>T con Sistema</b>	<b>6:34</b>	<b>7:05</b>	<b>7:00</b>	<b>6:15</b>	<b>6:32</b>	<b>6:45</b>	<b>6:37</b>	<b>6:23</b>	<b>6:22</b>	<b>6:23</b>	<b>6:53</b>	<b>6:24</b>	<b>6:24</b>	<b>6:35</b>

**1a. Proceso de análisis de corrosiones con valoraciones (Continuación):**

Descripción de la Actividad	CICLO														
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Op 1: Hacer montaje de Bala	0:51	0:46	0:47	0:44	0:50	0:41	0:47	0:55	0:47	0:53	0:47	0:52	0:54	0:50	0:47
Op 2: Llenar Bala con muestra de producto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insp 1: Revisar contenido en Bala	0:16	0:18	0:16	0:26	0:24	0:22	0:26	0:22	0:22	0:22	0:29	0:27	0:26	0:25	0:22
Op 3: Retirar Etiqueta y Montar en Baño	0:46	0:52	0:48	0:52	1:00	0:56	0:51	1:01	0:47	0:50	0:54	1:04	0:47	0:54	0:49
Op 4: Registrar ingreso muestra en el Sistema	0:49	0:46	0:52	0:55	0:46	0:48	0:50	1:00	0:50	0:46	0:50	0:56	0:48	0:52	0:49
Op 5: Llevar a Cabo método de Corrosión	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00	60:00
Op 6: Desmontar Bala	3:15	3:02	2:49	2:55	2:29	2:51	3:00	3:02	3:06	2:53	3:04	3:04	2:27	3:07	3:13
Op 7: Leer Resultados	0:16	0:14	0:13	0:08	0:11	0:12	0:13	0:11	0:10	0:14	0:16	0:11	0:16	0:11	0:12
Op 8: Generar Reporte en el SILAB	0:36	0:32	0:37	0:33	0:36	0:30	0:31	0:34	0:26	0:37	0:39	0:34	0:36	0:37	0:34
<b>T sin Sistema</b>	<b>5:24</b>	<b>5:12</b>	<b>4:53</b>	<b>5:07</b>	<b>4:54</b>	<b>5:04</b>	<b>5:18</b>	<b>5:31</b>	<b>5:13</b>	<b>5:13</b>	<b>5:31</b>	<b>5:39</b>	<b>4:51</b>	<b>5:29</b>	<b>5:23</b>
<b>T con Sistema</b>	<b>6:49</b>	<b>6:30</b>	<b>6:22</b>	<b>6:35</b>	<b>6:16</b>	<b>6:22</b>	<b>6:38</b>	<b>7:05</b>	<b>6:30</b>	<b>6:36</b>	<b>7:00</b>	<b>7:09</b>	<b>6:16</b>	<b>6:58</b>	<b>6:46</b>

**2a. Proceso de análisis de Gases con valoraciones:**

Descripción de la Actividad	CICLO																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Op 1: Registrar muestra en el Sistema	0:45	0:41	0:43	0:50	0:44	1:00	0:56	0:56	0:46	0:47	0:45	0:44	0:49	0:41	0:49	0:48	0:49	0:45	0:49	0:52
Insp 1: Revisar contenido de Producto en Bala	0:22	0:26	0:19	0:23	0:23	0:17	0:22	0:22	0:19	0:22	0:18	0:22	0:23	0:26	0:21	0:19	0:18	0:23	0:25	0:16
Op 2: Montar Bala en la Cabina	0:20	0:20	0:22	0:22	0:23	0:26	0:21	0:16	0:27	0:22	0:22	0:16	0:19	0:28	0:17	0:22	0:19	0:27	0:22	0:25
Op 3: Activar Sist. para hacer análisis	0:49	0:52	0:44	0:46	0:53	0:42	0:46	0:45	0:49	0:54	0:47	0:52	0:48	0:50	0:50	0:52	0:50	0:47	0:48	0:49
Op 4: Llevar a Cabo análisis en equipo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Op 5: Desmontar Bala	0:13	0:17	0:19	0:17	0:14	0:19	0:17	0:17	0:20	0:16	0:17	0:14	0:19	0:19	0:13	0:17	0:18	0:18	0:14	0:19
Op 6: Limpiar Bala	0:35	0:31	0:29	0:31	0:25	0:23	0:26	0:31	0:30	0:28	0:29	0:34	0:28	0:34	0:29	0:32	0:22	0:28	0:27	0:32
Op 7: Generar Reporte en SILAB	1:08	1:10	1:10	1:12	1:11	1:10	1:15	1:11	1:10	1:11	1:14	1:10	1:05	1:23	1:07	1:14	1:22	1:10	1:12	1:12
<b>T sin Sistema</b>	<b>2:20</b>	<b>2:26</b>	<b>2:13</b>	<b>2:20</b>	<b>2:19</b>	<b>2:07</b>	<b>2:13</b>	<b>2:10</b>	<b>2:26</b>	<b>2:20</b>	<b>2:13</b>	<b>2:19</b>	<b>2:17</b>	<b>2:37</b>	<b>2:11</b>	<b>2:22</b>	<b>2:08</b>	<b>2:23</b>	<b>2:15</b>	<b>2:21</b>
<b>T con Sistema</b>	<b>4:14</b>	<b>4:17</b>	<b>4:08</b>	<b>4:22</b>	<b>4:14</b>	<b>4:17</b>	<b>4:25</b>	<b>4:17</b>	<b>4:21</b>	<b>4:19</b>	<b>4:13</b>	<b>4:13</b>	<b>4:12</b>	<b>4:40</b>	<b>4:07</b>	<b>4:23</b>	<b>4:19</b>	<b>4:18</b>	<b>4:16</b>	<b>4:25</b>

### 3a. Proceso de Análisis de Líquidos con Valoraciones:

Descripción de la Actividad	CICLO														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Op 1: Registrar muestra en el Sistema	0:53	0:56	0:52	0:45	0:54	0:49	0:49	0:46	0:53	0:50	0:46	0:46	0:51	0:43	0:47
Insp 1: Revisar Producto en Botella	0:12	0:19	0:13	0:16	0:22	0:16	0:18	0:16	0:16	0:19	0:16	0:17	0:17	0:17	0:16
Op 2: Armar Vial	2:14	2:11	2:19	2:11	2:22	2:28	2:16	2:21	2:30	2:19	2:19	2:16	2:16	2:32	2:28
Op 3: Pesar Vial	1:04	0:52	1:03	1:02	0:53	0:53	0:55	0:57	0:58	0:50	0:54	0:58	0:55	1:07	0:53
Op 4: Activar Sistema para hacer análisis	0:52	0:44	0:50	0:51	0:49	0:54	0:53	0:47	0:45	0:54	0:50	0:56	0:50	0:56	0:48
Op 5: Llevar a Cabo análisis en el equipo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Op 6: Generar Reporte en el SILAB	1:13	1:14	1:14	1:12	1:11	1:14	1:08	1:07	1:16	1:11	1:14	1:10	1:13	1:16	1:22
<b>T sin Sistema</b>	<b>4:22</b>	<b>4:05</b>	<b>4:26</b>	<b>4:20</b>	<b>4:25</b>	<b>4:31</b>	<b>4:22</b>	<b>4:22</b>	<b>4:29</b>	<b>4:23</b>	<b>4:20</b>	<b>4:28</b>	<b>4:19</b>	<b>4:54</b>	<b>4:26</b>
<b>T con Sistema</b>	<b>6:28</b>	<b>6:16</b>	<b>6:32</b>	<b>6:17</b>	<b>6:30</b>	<b>6:35</b>	<b>6:19</b>	<b>6:14</b>	<b>6:38</b>	<b>6:23</b>	<b>6:21</b>	<b>6:24</b>	<b>6:23</b>	<b>6:53</b>	<b>6:35</b>

**3a. Proceso de Análisis de Líquidos con Valoraciones (Continuación):**

Descripción de la Actividad	CICLO														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Op 1: Registrar muestra en el Sistema	0:46	0:46	0:49	0:52	0:49	0:49	0:51	0:49	0:48	0:49	0:47	0:49	0:52	0:49	0:50
Insp 1: Revisar Producto en Botella	0:17	0:17	0:16	0:17	0:17	0:19	0:20	0:19	0:19	0:16	0:17	0:15	0:16	0:20	0:16
Op 2: Armar Vial	2:16	2:16	2:19	2:19	2:22	2:20	2:14	2:17	2:20	2:14	2:21	2:19	2:17	2:10	2:20
Op 3: Pesar Vial	0:52	0:56	0:55	0:54	0:56	0:52	1:02	0:59	0:56	0:52	0:55	0:53	0:55	0:51	0:56
Op 4: Activar Sistema para hacer análisis	0:54	0:50	0:49	0:47	0:49	0:54	0:46	0:47	0:50	0:51	0:51	0:49	0:50	0:52	0:51
Op 5: Llevar a Cabo análisis en el equipo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Op 6: Generar Reporte en el SILAB	1:07	1:15	1:12	1:11	1:12	1:16	1:19	1:15	1:11	1:11	1:14	1:14	1:13	1:07	1:10
<b>T sin Sistema</b>	<b>4:19</b>	<b>4:20</b>	<b>4:19</b>	<b>4:18</b>	<b>4:24</b>	<b>4:25</b>	<b>4:22</b>	<b>4:23</b>	<b>4:26</b>	<b>4:14</b>	<b>4:25</b>	<b>4:17</b>	<b>4:17</b>	<b>4:14</b>	<b>4:23</b>
<b>T con Sistema</b>	<b>6:13</b>	<b>6:22</b>	<b>6:20</b>	<b>6:20</b>	<b>6:26</b>	<b>6:31</b>	<b>6:32</b>	<b>6:27</b>	<b>6:25</b>	<b>6:14</b>	<b>6:26</b>	<b>6:21</b>	<b>6:22</b>	<b>6:09</b>	<b>6:23</b>

**4a. Proceso de Análisis de Humedad con Valoraciones:**

Descripción de la Actividad	CICLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Op 1: Registrar muestra en Sistema	0:44	0:41	0:42	0:43	0:43	0:20	0:48	0:44	0:47	0:41	0:41	0:43	0:40	0:44	0:46	0:40
Insp 1: Revisar Producto en Bala	0:23	0:28	0:27	0:32	0:29	0:27	0:31	0:30	0:31	0:31	0:25	0:26	0:29	0:28	0:31	0:26
Op 2: Inyectar muestra en titulador	0:15	0:16	0:19	0:17	0:20	0:17	0:14	0:16	0:11	0:17	0:14	0:13	0:14	0:18	0:20	0:14
Op 3: Activar Sistema para hacer análisis	1:15	1:13	1:12	1:04	1:14	1:08	1:10	1:11	0:54	1:05	1:16	1:07	1:06	1:12	1:10	1:10
Op 4: Llevar a cabo análisis	16:14	22:18	18:00	11:00	14:30	17:24	12:00	18:45	17:30	12:24	16:36	11:15	10:30	14:18	13:48	19:36
Op 5: Preparar titulador para segunda inyección	0:53	0:54	0:44	1:00	0:47	0:46	0:55	0:58	0:49	0:45	0:56	0:49	0:44	1:00	0:44	0:50
Op 6: Inyectar muestra en titulador	0:15	0:13	0:17	0:13	0:17	0:14	0:16	0:17	0:17	0:13	0:16	0:16	0:13	0:17	0:20	0:13
Op 7: Activar Sistema para hacer análisis	1:09	1:10	1:11	1:11	1:18	1:23	1:19	1:11	1:10	1:08	1:15	1:04	1:01	1:06	1:20	1:07
Op 8: Llevar a cabo análisis	11:30	12:15	13:24	19:12	13:36	20:00	17:06	12:45	14:21	14:00	16:48	11:15	19:30	13:18	17:48	9:45
Op 9: Preparar titulador para tercera inyección	0:43	0:45	0:42	0:42	0:41	0:48	0:36	0:43	0:42	0:47	0:38	0:37	0:41	0:44	0:41	0:38
Op 10: Inyectar muestra en titulador	0:16	0:16	0:19	0:23	0:16	0:17	0:20	0:19	0:19	0:17	0:18	0:16	0:17	0:20	0:16	0:20
Op 11: Activar Sistema para hacer análisis	1:05	1:07	1:11	1:10	0:56	1:09	1:10	1:17	1:04	0:58	1:05	1:08	0:58	1:10	1:05	1:02
Op 12: Llevar a cabo análisis	18:15	12:15	17:30	14:18	12:18	10:36	13:24	18:00	14:24	16:06	16:30	20:24	17:54	15:45	19:36	21:24
Op 13: Limpiar titulador	1:32	1:34	1:25	1:36	1:23	1:29	1:31	1:37	1:33	1:28	1:25	1:31	1:29	1:34	1:22	1:30
Op 14: Generar Reporte en el SILAB	2:08	2:09	2:14	2:01	2:10	2:06	2:05	2:22	2:08	2:04	1:56	2:11	2:11	2:17	2:09	2:02
t sin sist	7:48	7:56	7:49	8:08	7:42	7:58	8:3	8:22	7:31	7:03	7:50	7:26	7:13	8:11	7:51	7:31
t con sist	10:41	10:46	10:45	10:52	10:34	10:24	10:56	11:28	10:26	10:15	10:27	10:20	10:04	11:13	10:46	10:13

**4a. Proceso de Análisis de Humedad con Valoraciones (Continuación):**


Descripción de la Actividad	CICLO														31
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Op 1: Registrar muestra en Sistema	0:43	0:42	0:42	0:39	0:41	0:43	0:40	0:43	0:48	0:38	0:45	0:37	0:44	0:42	0:38
Insp 1: Revisar Producto en Bala	0:27	0:29	0:28	0:32	0:27	0:28	0:28	0:28	0:29	0:29	0:30	0:25	0:28	0:27	0:25
Op 2: Inyectar muestra en titulador	0:17	0:17	0:14	0:16	0:17	0:15	0:16	0:18	0:13	0:22	0:13	0:15	0:17	0:17	0:16
Op 3: Activar Sistema para hacer análisis	1:08	1:09	1:03	1:09	1:08	1:08	1:10	1:10	1:15	1:12	1:16	1:06	1:10	1:07	1:09
Op 4: Llevar a cabo análisis	15:12	16:42	14:30	19:30	13:24	12:48	19:00	17:12	18:09	15:57	19:30	13:57	17:18	12:30	15:12
Op 5: Preparar titulador para segunda inyección	0:50	0:45	0:53	0:50	0:49	0:50	0:51	0:50	0:50	0:44	0:46	0:50	0:51	0:52	0:48
Op 6: Inyectar muestra en titulador	0:17	0:14	0:13	0:17	0:19	0:16	0:15	0:17	0:16	0:17	0:18	0:14	0:15	0:19	0:20
Op 7: Activar Sistema para hacer análisis	1:11	1:08	1:10	1:09	1:11	1:12	1:11	1:06	1:11	1:08	1:12	1:14	1:10	1:12	1:07
Op 8: Llevar a cabo análisis	16:17	13:36	14:24	16:48	20:36	16:45	14:15	11:30	16:24	17:30	18:42	14:21	16:45	13:27	16:17
Op 9: Preparar titulador para tercera inyección	0:44	0:48	0:45	0:46	0:47	0:45	0:44	0:47	0:53	0:52	0:49	0:51	0:50	0:55	0:50
Op 10: Inyectar muestra en titulador	0:16	0:16	0:14	0:17	0:15	0:19	0:16	0:15	0:17	0:14	0:19	0:17	0:14	0:14	0:16
Op 11: Activar Sistema para hacer análisis	1:04	1:04	1:07	1:05	1:05	1:11	1:04	1:05	1:08	1:01	1:08	1:10	1:07	1:01	1:08
Op 12: Llevar a cabo análisis	18:45	14:12	15:36	12:18	15:42	18:15	12:24	17:9	12:33	15:24	17:18	11:24	13:36	14:30	18:45
Op 13: Limpiar titulador	1:30	1:30	1:27	1:23	1:23	1:27	1:29	1:30	1:22	1:21	1:28	1:32	1:23	1:25	1:29
Op 14: Generar Reporte en el SILAB	2:07	2:06	2:07	2:08	2:08	2:11	2:08	2:07	2:17	2:09	2:10	2:02	2:09	2:10	2:12
<b>t sin sist</b>	<b>7:46</b>	<b>7:41</b>	<b>7:34</b>	<b>7:44</b>	<b>7:41</b>	<b>7:51</b>	<b>7:46</b>	<b>7:47</b>	<b>7:55</b>	<b>7:45</b>	<b>7:57</b>	<b>7:57</b>	<b>7:43</b>	<b>7:49</b>	<b>7:49</b>
<b>t con sist</b>	<b>10:36</b>	<b>10:29</b>	<b>10:23</b>	<b>10:32</b>	<b>10:31</b>	<b>10:45</b>	<b>10:34</b>	<b>10:37</b>	<b>11:00</b>	<b>10:33</b>	<b>10:52</b>	<b>10:36</b>	<b>10:37</b>	<b>10:41</b>	<b>10:39</b>

## ANEXO E

### *Tiempos en las máquinas de cada análisis*

Sec	Método de Análisis	Tipo	Tiempo	Máquina(s) Posibles(s) [TAG]		
1	ASTM D 1838	Corrosión	1 hora	AE37237		
2	ASTM D 2163	Gas	35 min	AE37347	AE37348	AE37211
3	ASTM D 6667	Gas	20 min	AE37347	AE37348	AE37210
4	ASTM D 5504	Gas	20 min	AE37348		
5	ASTM D 2360	Gas	20 min	AE37210	AE37408	
6	UOP 603	Gas	45 min	AE37347	AE37348	AE37211
7	ASTM D 2504	Gas	30 min	AE37348		
8	ASTM D 1945	Gas	45 min	AE37348		
9	ASTM D 1946	Gas	45 min	AE37212		
10	UOP 555	Líquidos	35 min	AE37218	AE37282	
11	ASTM D 3054	Gas	35 min	AE37408		
12	ASTM D 3797	Gas	30 min	AE37211	AE37151	AE37212
13	ASTM D 5580	Gas	50 min	AE37210	AE37408	
14	ASTM D 2360	Líquidos	30 min	AE37213	AE37283	
15	ASTM D 4424	Gas	40 min	AE37151		
16	ASTM D 5453	Líquidos	35 min	AE37218	AE37270	
17	ASTM D 5186	Líquidos	30 min	AE37270	AE37283	
18	UOP 394	Líquidos	35 min	AE37218	AE37283	
19	ASTM D 4492	Líquidos	30 min	AE37213	AE37282	
20	ASTM D 1319	Líquidos	45 min	AE37270	AE37282	
21	ASTM D 2158	Gas	35 min	AE37347	AE37348	
22	ASTM D 6304	Humedad	-	AE37103		

*Nota: En este anexo, también se presentan los equipos en los que es posible realizar un análisis.*

	GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA COORDINACIÓN INSPECCIÓN DE CALIDAD	Julio del 2.010
	Análisis de Capacidad y carga laboral del Puesto de Cromatografía en el Laboratorio de la Refinería de Barrancabermeja – ECOPETROL S.A	

**ANEXO F**  
**PROGRAMA DE ANÁLISIS**

La siguiente tabla presenta el resumen de la cantidad de análisis que se deben hacer en el área de cromatografía. Este volumen de producción es el pactado con las plantas de la refinería:

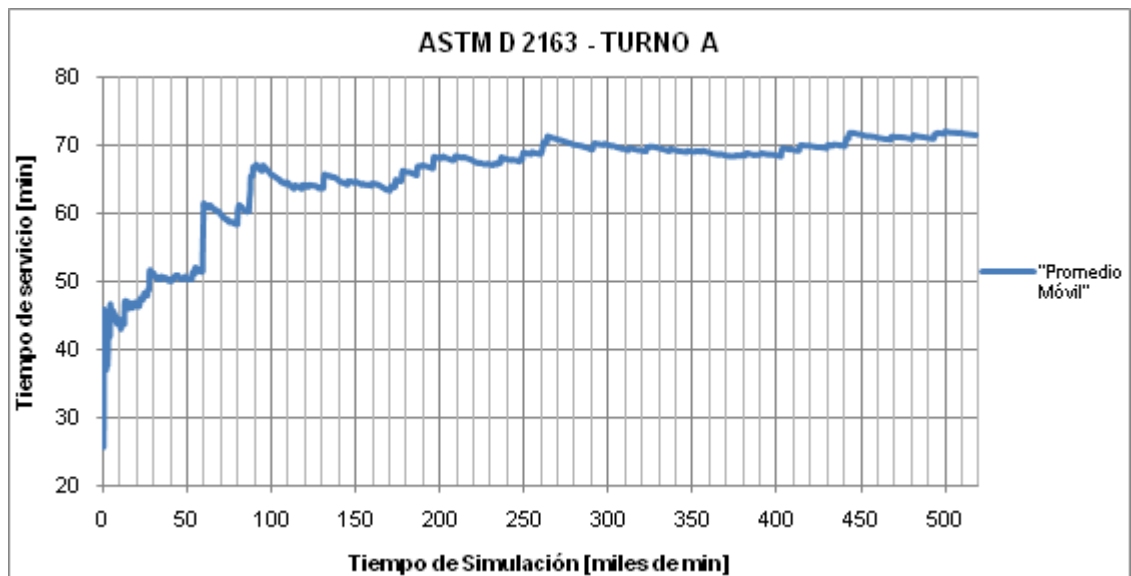
	LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Gases	33	30	5	32	23	8	26	26	5	33	31	5	30	23	8	22	31	5	20	28	5
Corrosiones	10	10	8	10	11	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8
Líquidos	3	6	1	3	3	2	3	3	1	3	4	1	3	3	2	3	3	1	3	4	1
Humedad	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0

## ANEXO G

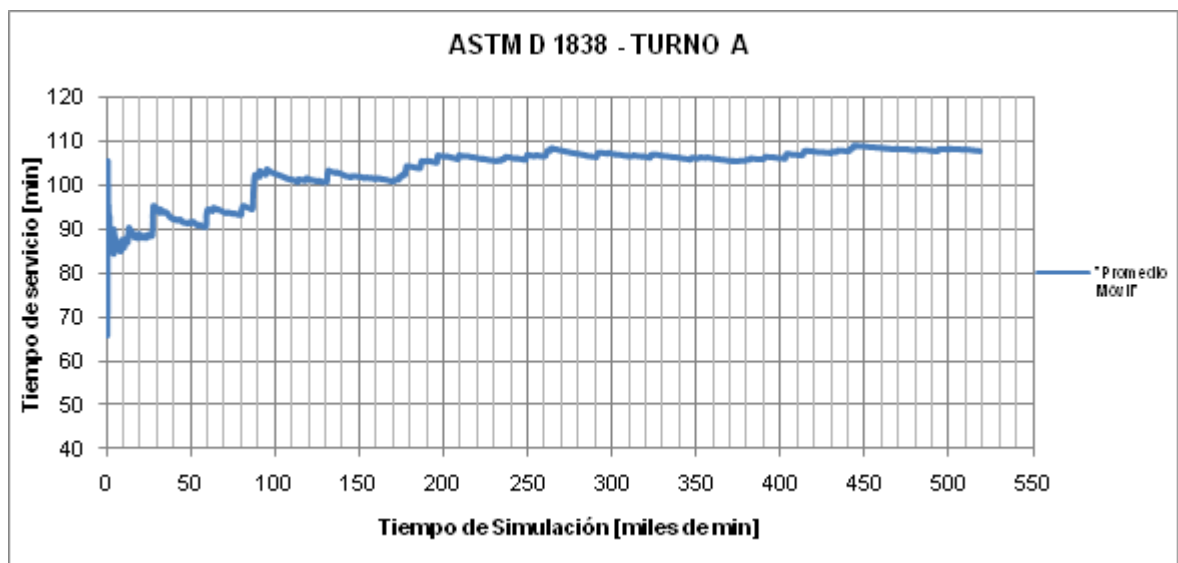
### GRÁFICAS DE PROMEDIO MOVIL DEL TIEMPO DE SERVICIO

#### 1. TURNO A

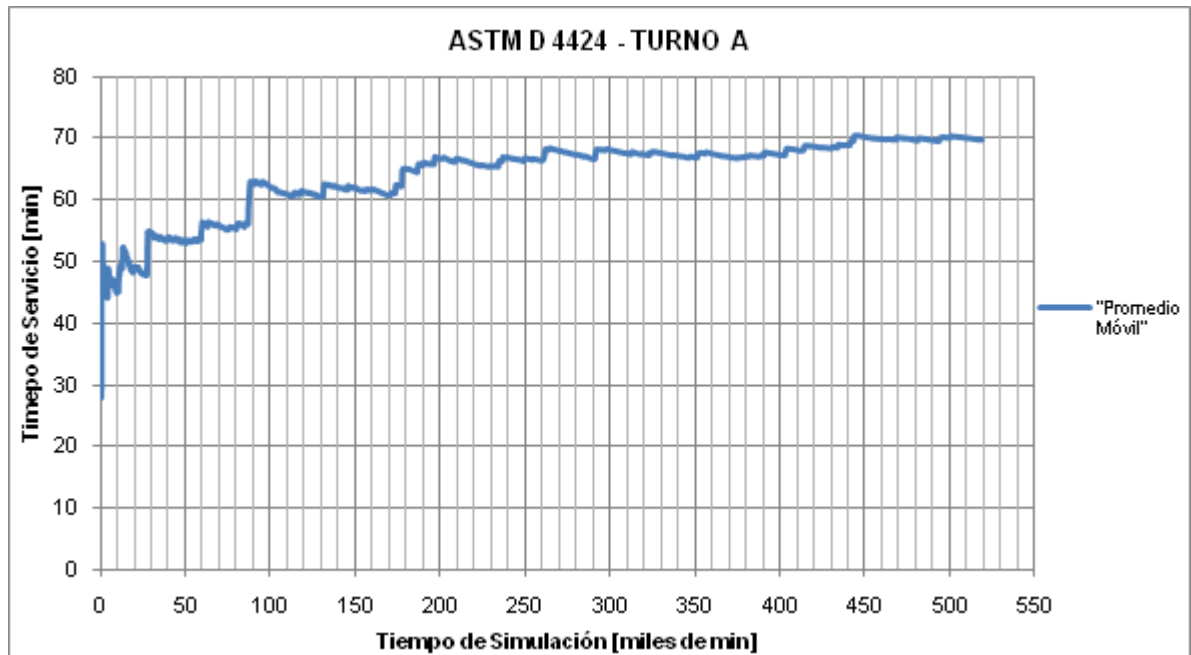
##### A) ASTM D 2163:



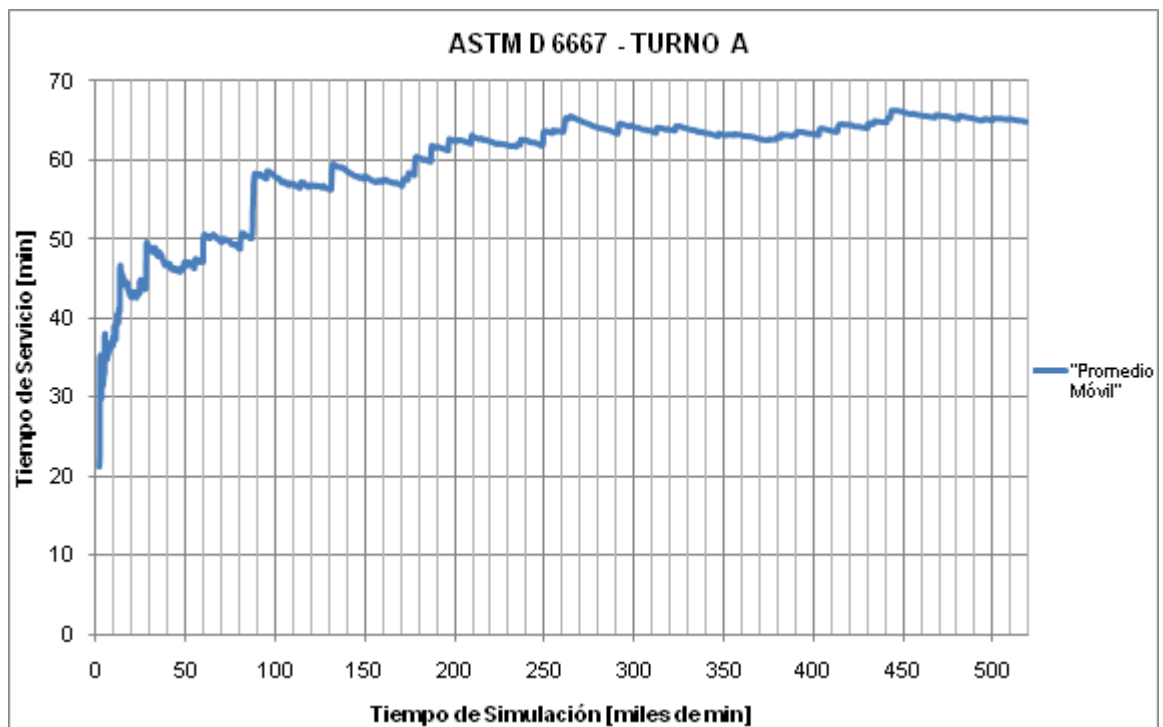
##### B) ASTM D 1838:



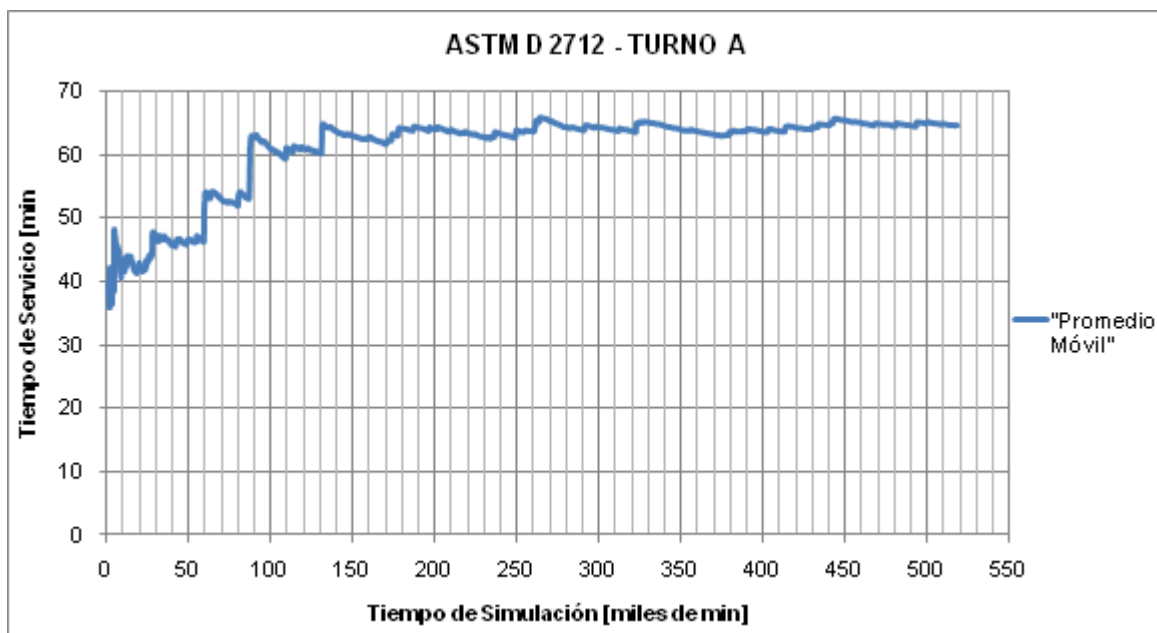
C) ASTM D 4424:



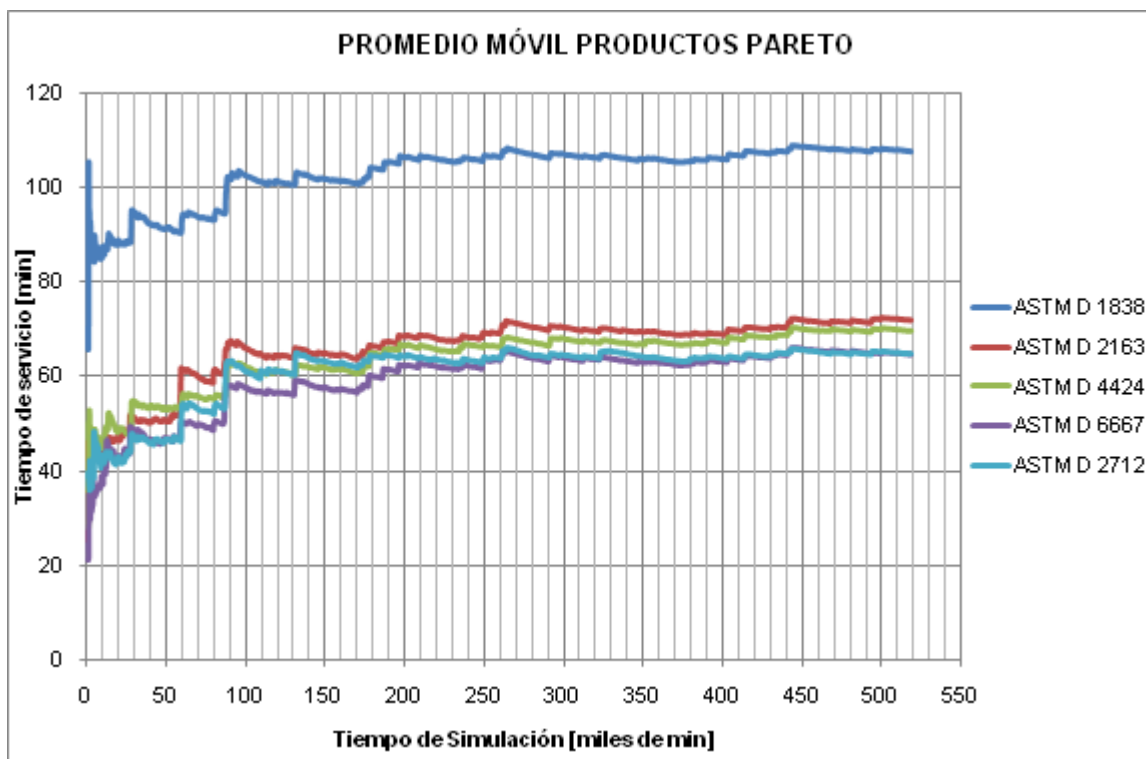
D) ASTM D 6667:



E) ASTM D 2712:

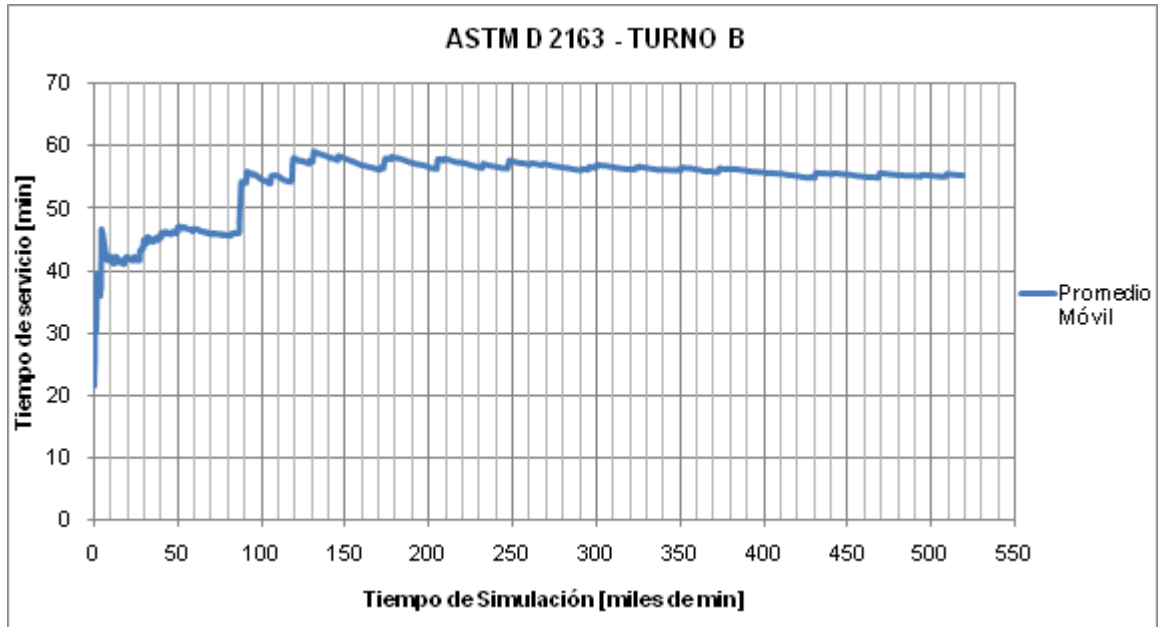


F) CONSOLIDADO:

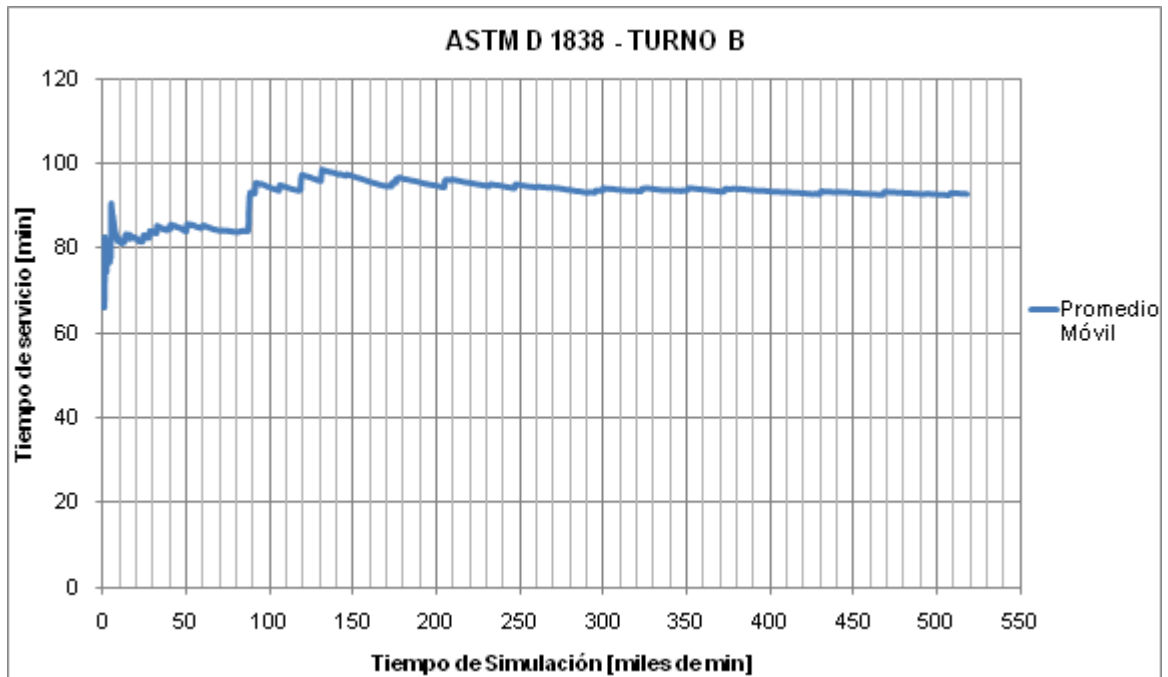


**2. TURNO B:**

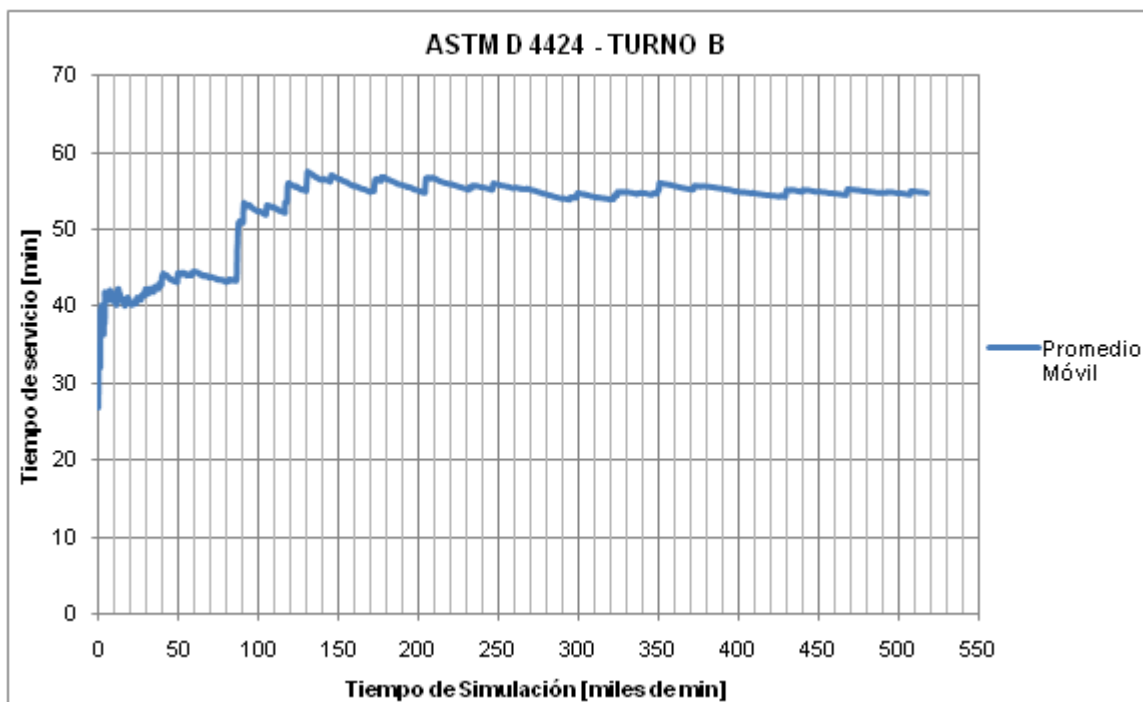
**A) ASTM D 2163:**



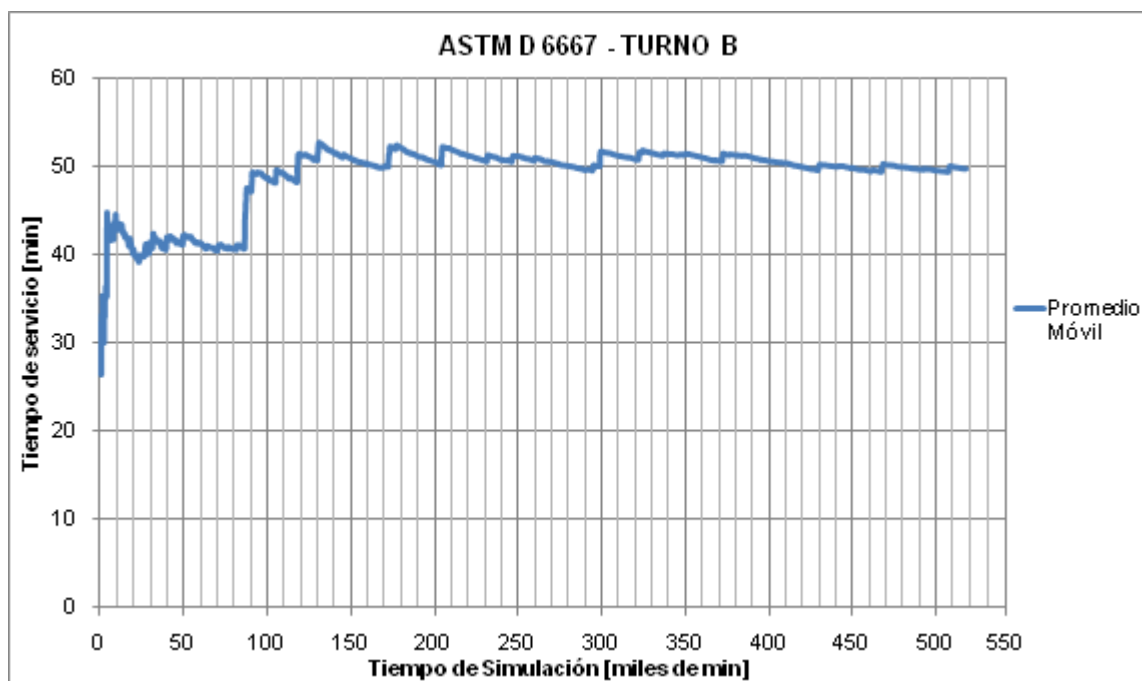
**B) ASTM D 1838:**



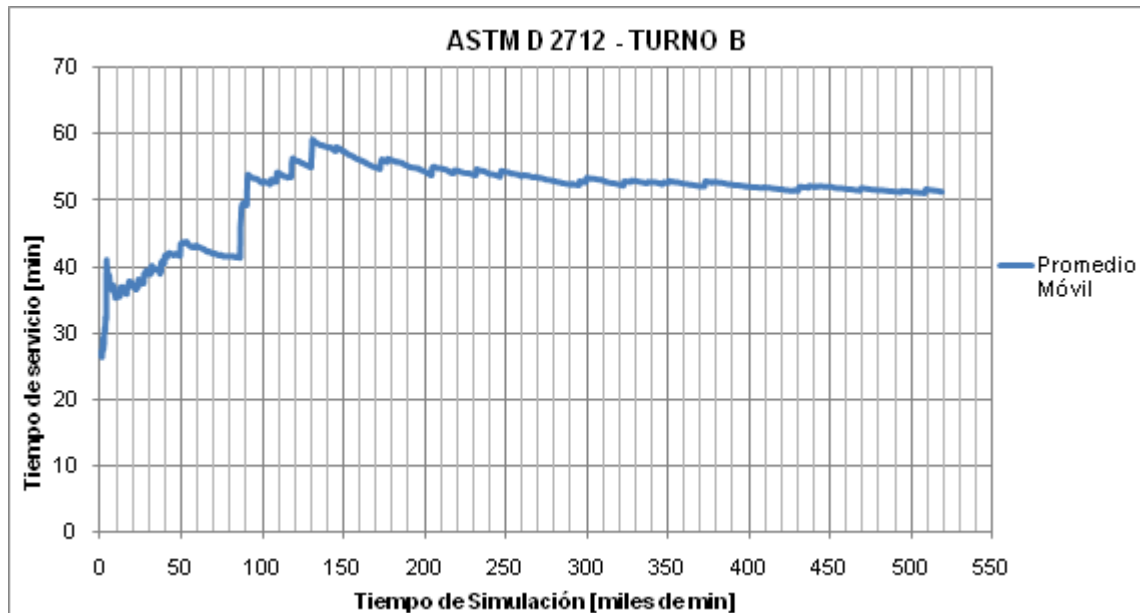
C) ASTM D 4424:



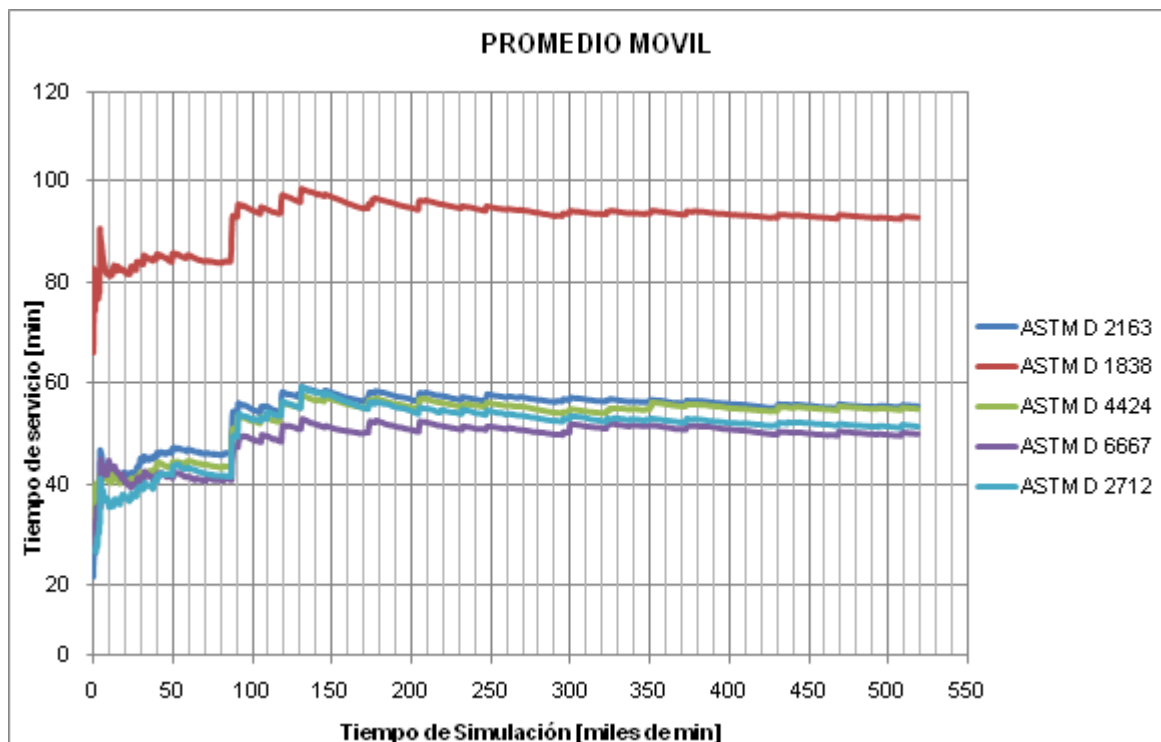
D) ASTM D 6667:



E) ASTM D 2712:

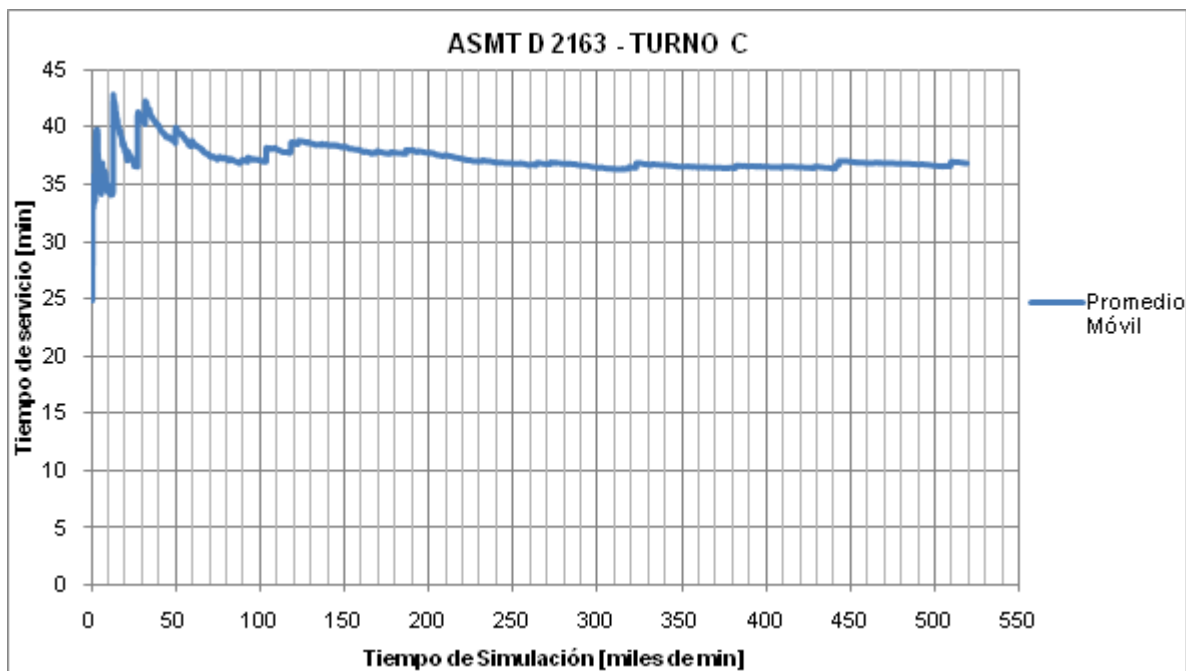


F) CONSOLIDADO:

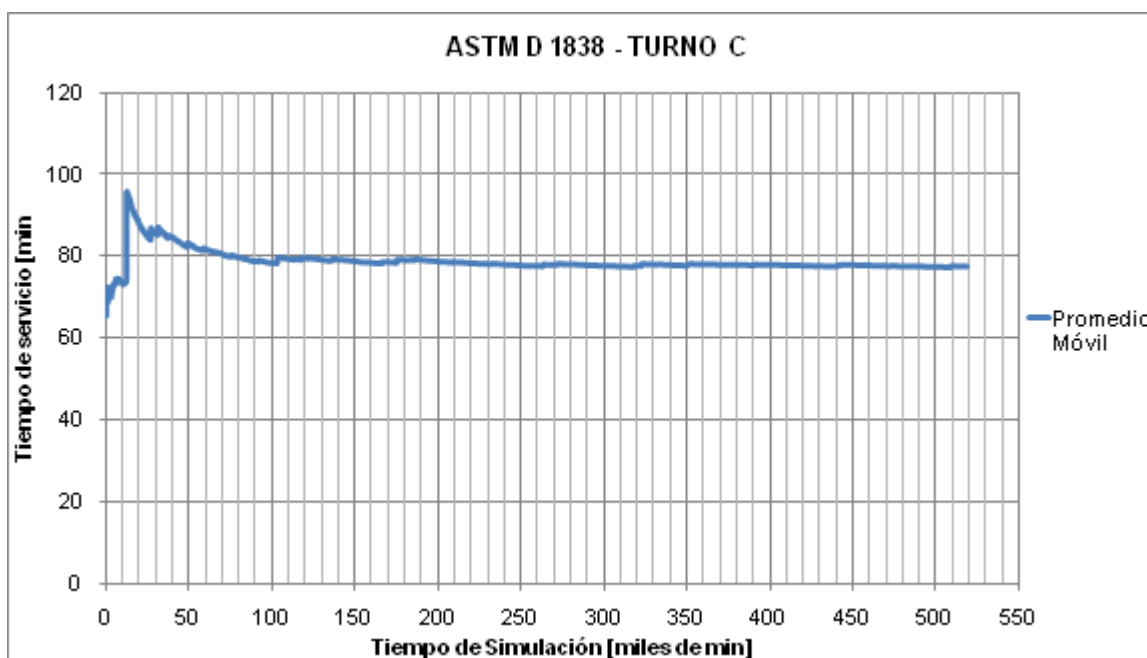


### 3. TURNO C:

#### A) ASTM D 2163:

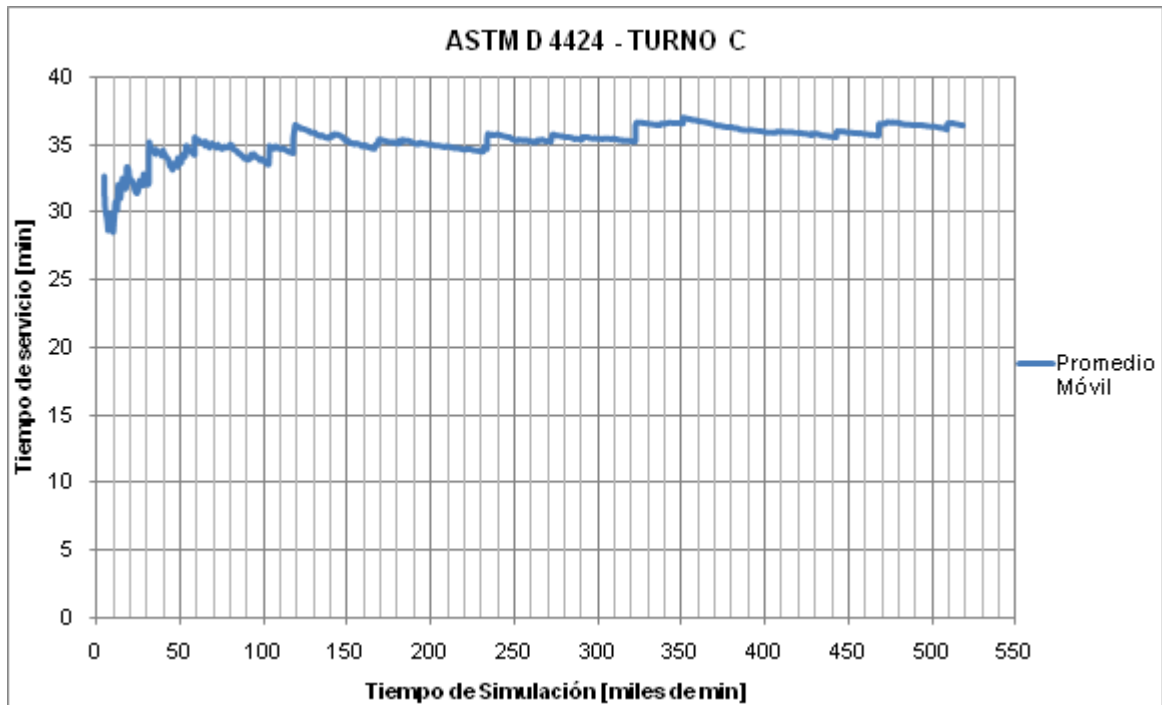


#### B) ASTM D 1838:

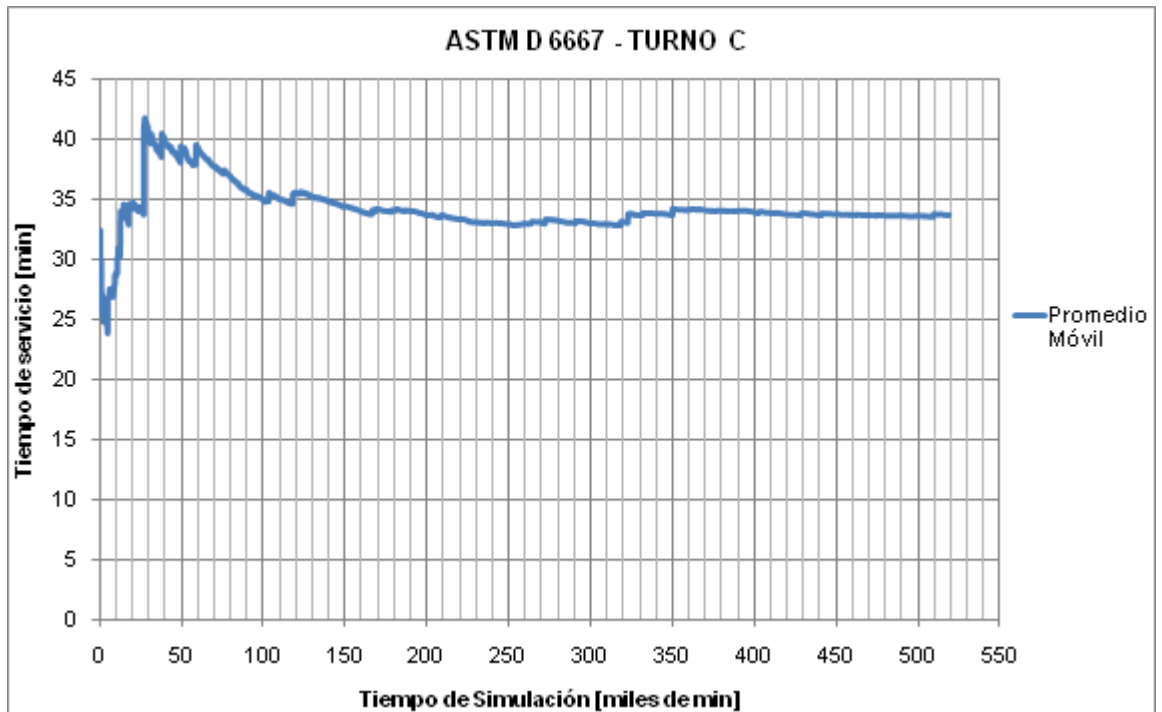




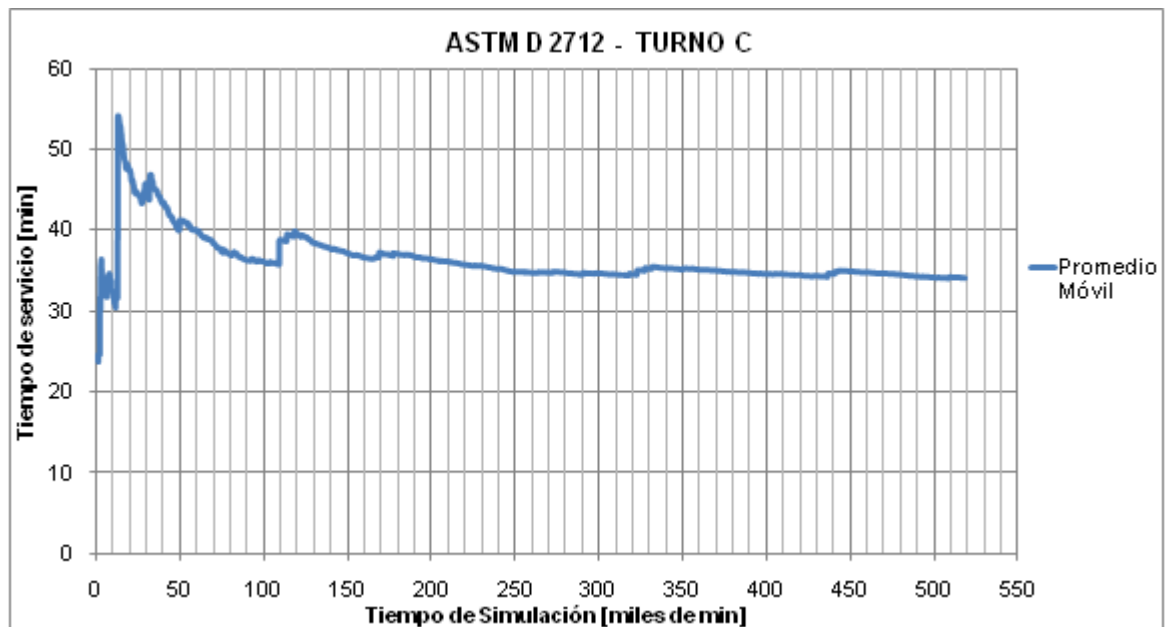
C) ASTM D 4424:



D) ASTM D 6667:



E) ASTM D 2712:



F) CONSOLIDADO:

