

INFORME FINAL
PRÁCTICA EMPRESARIAL
CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

FREDYS RAFAEL ELJACH ORTEGA
CÓDIGO: 69547

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008

TRABAJO FINAL
PRÁCTICA EMPRESARIAL
CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

FREDYS RAFAEL ELJACH ORTEGA
CÓDIGO: 69547

INFORME FINAL DE PRÁCTICAS COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

SUPERVISOR DE PRÁCTICA UPB:
CARLOS GERARDO HERNÁNDEZ CAPACHO

SUPERVISOR DE PRÁCTICA CARBONES DEL CERREJON LIMITED:
FABIAN DELUQUE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y fecha:

DEDICATORIA

Este trabajo es posible gracias al esfuerzo de mis padres para poder recibir una educación, a mis profesores de los cuales adquirí un gran conocimiento, a mis compañeros que acompañaron en toda la carrera y con los cuales se repasaban los conceptos aprendidos, a la empresa Carbones del Cerrejón Limited por la oportunidad de realizar las prácticas en tan importante entidad.



GRADUATION PAPER GENERAL ABSTRACT

TITLE: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SERVICIOS

AUTHOR: FREDYS RAFAEL ELJACH ORTEGA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: CARLOS GERARDO HERNANDEZ

ABSTRACT

The following document describes the work done by the intern in the six months as an employee of Cerrejon Coal Limited. The first theme treated on the arrival to the company was the rules, and politics to follow as a worker. After an intense preparation on safety related topics the student was assign to what was going to be his responsibilities in the corporation. These included: Partaking in the contract named "Plan de aseguramiento del protocolo de aislamiento". In which the student work the whole six month doing inspections, revision of standards procedures, marking of equipment, inventory of equipment, and others. Cooperation on the project "reducir la variabilidad de los parametros de calidad del agua potable de la mina". In this team the student did activities to find how trustworthy the equipment for the measurement of the quality parameters of water was. Also took an important part on the operation of the PI controller MFC Analyzer Controller for the dosing of calcium chloride for the disinfection of water. There were some problems that cause the non normal behavior of the quality parameters such as bad reagents, equipment not functioning correctly, no control of the preparation of chemical for dosing, in between others. Also the intern took the following courses sponsored by the company such as: Six Sigma methology for Yellow Belt Training on the operation of the energy plant. Basic Course on Elipse Basic Course on CorVu 5 At the end of this experience the student was ask to make the standards for the maintaining and cleaning of the industrial equipment, such as turbid meter 1720D, MFC Analyzer Controller. Also the training in the use of the already mention instruments.

KEY WORDS: SECURITY PRECISION INSTRUMENTATION
CONTROL MEASUREMENT WATER TREATMENT

V° B° GRADUATION PAPER DIRECTOR



RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SERVICIOS

AUTOR(ES): FREDYS RAFAEL ELJACH ORTEGA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): CARLOS GERARDO HERNANDEZ

RESUMEN

En el siguiente documento se presenta el trabajo desarrollado por el practicante en los seis meses de estancia en la empresa Carbones del Cerrejón Limited. Lo primero que se trató al llegar a la empresa fueron las políticas y normativas a seguir. Luego de una intensa preparación en temas de seguridad se delegó al estudiante lo que serían sus responsabilidades en la empresa. Dentro de estas están: Participación en el contrato titulado "Plan de aseguramiento del protocolo de aislamiento". En este se trabajó durante los seis meses de práctica realizando actividades de inspección, revisión de estándares, rotulación de equipos, inventario de equipos, etc. Colaboración al proyecto "Reducir la variabilidad de los parámetros de agua potable de la Mina". Dentro de este se realizaron actividades para medir la confiabilidad de los instrumentos de medición de la planta de agua. Se trabajó en la dosificación automática de hipoclorito de calcio para la desinfección del agua. Se encontraron problemas que perjudicaban el comportamiento normal de los parámetros tales como malos reactivos, equipos funcionando en mal estado, falta de medición para la preparación de soluciones, etc. Además de estas actividades el estudiante participó en cursos patrocinados por la empresa tales como: Metodología Six Sigma para Yellow Belt, Curso de operación de la planta de fuerza del campamento, Curso Básico de Elipse, Curso Básico de CorVu 5. Al final de la experiencia se pidió al estudiante realizar los procedimientos de mantenimiento y limpieza de los equipos en línea tales como, turbidímetro 1720D, MFC Analyzer Controller. Además del entrenamiento en la ejecución del mismo a los operadores de planta de agua.

PALABRAS CLAVES: SEGURIDAD PRECISION INSTRUMENTACION
CONTROL MEDICION TRATAMIENTO DE AGUA

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

LISTA DE TABLAS

- Tabla1. Resultados para el Turb 550
- Tabla2. Análisis estadístico del Turb 550
- Tabla3. Resultados de medición con Digital Tritrator
- Tabla4. Estadísticas Digital Tritrator
- Tabla5. Resultados de medición con DR 890
- Tabla6. Estadística Colorímetro Hach Dr 890
- Tabla7. Resultado mediciones espectrofotómetro
- Tabla8. Análisis Estadístico espectrofotómetro
- Tabla9. Resultado mediciones operadores espectrofotómetro
- Tabla10. Resultados variabilidad entre operadores Digital Tritrator
- Tabla11. Resultados variabilidad entre operadores Turb 550
- Tabla12. Tiempos de respuesta Turbidímetro HACH 1720D
- Tabla13. Datos tomados con el turbidímetro en el lugar de operación (salida precipitador)
- Tabla14. Estadística del Turbidímetro a la salida del precipitador
- Tabla15. Datos tomados con el turbidímetro en el lugar de operación (salida filtros)
- Tabla16. Estadística del Turbidímetro a la salida de filtros.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Estructura de la empresa
- Figura 2. Diseño de Carta de control
- Figura 3. Detector de 90 grados
- Figura 4. Diagrama de Flujo del proceso de tratamiento de agua
- Figura 5. Variabilidad Turb 550
- Figura 6. Desviación medio Turb 550
- Figura 7. Variabilidad Digital Tritrator
- Figura 8. Desviación media Digital Tritrator
- Figura 9. Variabilidad DR890
- Figura 10. Desviación media Colorímetro DR890
- Figura 11. Variabilidad Espectrofotómetro
- Figura 12. Desviación Media Espectrofotómetro
- Figura 13. Variabilidad entre operadores Espectrofotómetro
- Figura 14. Variabilidad entre operadores Digital Tritrator
- Figura 15. Variabilidad entre operadores Turb 550
- Figura 16. Variabilidad Turb 1720D Salida del precipitador
- Figura 17. Desviación media del turbidímetro a la salida del precipitador.
- Figura 18. Variabilidad Turb 1720D Salida de filtros
- Figura 19. Desviación media del turbidímetro a la salida de filtros
- Figura 20. MFC Analyzer Controller
- Figura 21. Menú principal del MFC Analyzer Controller
- Figura 22. Puesta a tierra
- Figura 23. Seccionador de linea
- Figura 24. Disyuntor primario del transformador

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN-----	9
2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA-----	10
2.1 VISIÓN-----	10
2.2 PRODUCTO-----	10
2.3 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA-----	10
2.4 RESEÑA HISTÓRICA-----	11
3. OBJETIVOS-----	14
3.1 OBJETIVOS GENERALES-----	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS-----	14
4. MARCO TEÓRICO-----	15
4.1 SIX SIGMA-----	15
4.2 VARIABILIDAD-----	16
4.3 TURBIDÍMETRO-----	18
4.3.1 TURBIDEZ-----	18
4.4 MFC ANALYZER CONTROLLER-----	19
5. PLAN DE ACTIVIDADES-----	21
5.1 INDUCCIÓN-----	21
5.2 PROYECTOS ASIGNADOS AL PRACTICANTE-----	21
6. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO-----	25
6.1 INDUCCIÓN A LA COMPAÑÍA -----	25
6.2 PROCESO DE PLANTA DE AGUA-----	25
6.3 PROYECTO SIX SIGMA-----	27
6.3.1 TURBIDÍMETRO WTW TURB 550/550IR-----	28
6.3.2 DIGITAL TRITRATOR-----	32
6.3.3 COLORÍMETRO DR/890-----	34
6.3.4 ESPECTROFOTÓMETRO-----	37
6.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS VARIABILIDAD OPERADORES DEL LABORATORIO-----	39
6.3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE EQUIPOS EN SU LUGAR DE OPERACIÓN-----	43
6.3.7 MFC ANALYZER CONTROLLER-----	48
6.4 PROTOCOLO DE CANDADO Y ETIQUETA-----	52
6.5 CONSUMO DE QUÍMICOS-----	55

1. INTRODUCCIÓN

El contrato de aprendiz con duración de seis meses en la empresa Cerrejón se definió en distintas etapas. La primera corresponde al entrenamiento de seguridad y políticas de la empresa que es necesario entender y aprender con el fin de poder realizar las actividades del día a día cumpliendo con las indicaciones y estándares del negocio. En Carbones del Cerrejón Limited, se estudian sus normas, su visión, la forma de comunicación dentro de la dependencia y entre dependencias, lo que tiene que ver con el primer mes de práctica fue dedicado a aprender dichas políticas mediante distintas charlas lideradas por empleados de trayectoria del Cerrejón. Antes de poder dar el recorrido por las áreas de trabajo de la dependencia de servicios básicos, fue necesario realizar cursos virtuales de seguridad tales como: Seguridad y electricidad, espacios confinados, medio ambiente, manejo de químicos, etc.

La segunda etapa tiene que ver con el desarrollo de los proyectos en los cuales el estudiante participó. Dentro de estos se encuentran:

El contrato titulado “Aseguramiento del protocolo de aislamiento” en el cual el estudiante figuró como asistente de administración de contrato. El fin de este contrato fue difundir los procedimientos de bloqueo y etiquetado a toda la compañía y sus contratistas. Además de revisar que todos los equipos que requieran un bloqueo cuenten con el dispositivo de bloqueo adecuado y la realización de inspecciones periódicas para verificar el cumplimiento del protocolo de aislamiento.

El proyecto Six Sigma titulado “reducir la variabilidad de los parámetros de agua potable” fue el proyecto principal en el cual se realizaron actividades durante toda la práctica. Para el desarrollo del mismo fue necesario asistir a cursos de entrenamiento en la filosofía Six Sigma así como cumplir con todas las responsabilidades dadas por el equipo.

2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1 VISIÓN

“Ser un productor y exportador de carbón flexible y confiable, de clase mundial, que busca mejorar su productividad y reducir costos, que promueve la participación, el desarrollo y la excelencia de su gente, con altos estándares de seguridad, salud y medio ambiente, en armonía con la sociedad, al tiempo que contribuye a maximizar la rentabilidad de sus accionistas.”¹

2.2 PRODUCTO

Según el texto de la empresa Carbones del Cerrejón Limited las características del tipo de carbón que exportan son las siguientes:

- Tipo de Carbón: Térmico sub bituminoso (formado hace 60 millones de años en el periodo terciario).
- Potencia calorífica: 11.500 BTU por libra en promedio.
- Bajo contenido de azufre: 0.65% en promedio
- Bajo contenido de cenizas: 7.5% en promedio (4% en estado natural).
- Humedad: 10.5%. Materias volátiles: Bajo
- Profundidad de explotación: - Tajo La Puente: 140 metros, - Tajo EWP: 260metros.
- Altura entre mantos para Explotación: 10 metros.
- Relación de Descapote: 6.5 a 1 (6.5 Ton de estéril por 1 de Carbón).
- Reservas Totales (MTons): 2000 (probadas 318, probables 449).²

2.3 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

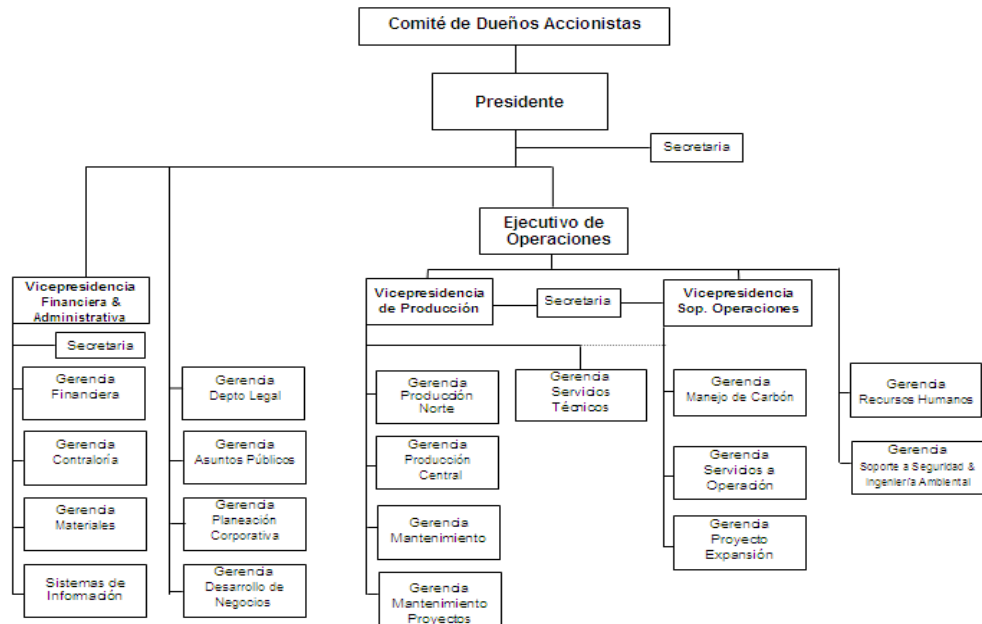
Debido a la magnitud de esta empresa se constituye en diferentes departamentos los cuales cada uno actúa como una empresa propia la cual maneja presupuestos, objetivos, etc.

En la siguiente gráfica se observa dicha estructura:

1. Carbones del Cerrejón Limited. Inducción básica a la compañía, p. 4. 15 Junio 2007.

2. Ibid., p. 25.

Figura 1. Estructura de la empresa



FUENTE: Documento de la empresa Carbones del Cerrejón limited titulado “Inducción básica a la compañía”.

2.4 RESEÑA HISTORICA

- 1865 John May, descubrió grandes depósitos de carbón en las orillas del Río Cerrejón, bautizándolo con el nombre de “Minas de carbón Canel”, e hizo la propuesta al gobierno Colombiano para la exploración del mineral en 1878 sin obtener respuesta.
- 1912 Jorge Isaac, (escritor autor de la novela María), acuerda con el estado explotar carbón en algunas regiones del país, entre ellas la Guajira. El contrato no se cumplió.
- 1975 El Gobierno de Colombia a través de Ecopetrol, abrió licitación para la exploración y posible explotación de los yacimientos de carbón en la Zona Norte del Cerrejón.
- 1976 El gobierno crea la empresa Carbones de Colombia S.A (Carbocol) para fomentar la minería en el país y administrar los depósitos en el Cerrejón).
Los recursos de El Cerrejón se dividen en 3 Zonas:
- Norte

- Central:
- Sur

Se autorizó explotación de la Zona Norte del Cerrejón, hasta el año 2008 y se firma el contrato de asociación entre Intercor y Carbocol.

1977- 1980 Se llevó a cabo el periodo de exploración de la Zona Norte, realizándose 202 estudios.

1981 Carbocol inicia operaciones mineras en la Zona central, mediante contrato de servicios con el consorcio Domi- Prodeco- Auxini.

1982 Se inicia la operación minera y se finaliza la construcción del muelle de suministros del Puerto en la Zona norte

1985 Intercor inicia la exportación anticipada de carbón en la Zona Norte, mediante el montaje de una infraestructura temporal (Early Coal) en la mina y el puerto, exportándose cerca de 3 millones de toneladas del mineral a 12 países.

1991 Prodeco contrata con la Comunidad del Cerrejón, la explotación por 30 años. Carbones del Caribe firma contrato con Minercol por 30 años, para explotar Oreganal.

1995 Glencore compra el total de Prodeco, estableciendo Carbones del Cerrejón (CdelC), área Comunidad. Río Tinto compra toda la participación de Carbones del Caribe (área Oreganal).

1997 Anglo Coal compra el 50% de Carbones del Cerrejón (CdelC) a Glencore. El consorcio Anglo American, Glencore y Río Tinto, adquieren el contrato de minería de El Cerrejón Sur.

1999 Se firma Acuerdo de acceso al Ferrocarril y Puerto entre Intercor, Carbocol y Carbones del Cerrejón (CdelC). Este acuerdo incluye entre otros la extensión del contrato de Asociación entre Carbocol e Intercor hasta el año 2034.

2000 Anglo American y Glencore compran la participación de Río Tinto en Carbones del Cerrejón (CdelC) y la venden a Billiton. El consorcio Anglo American, Glencore, Billiton compra a Carbocol y constituye a CZN S.A como nuevo asociado de Intercor en Cerrejón Zona Norte.

2001 La Asociación Intercor _ CZN S.A, obtiene la concesión de la zona de Patilla.

2002 El consorcio CZN S.A. compra la participación de Intercor (ExxonMobil) en el Cerrejón Zona norte y nace la empresa actual Cerrejón LLC, Cerrejón.³

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Aprender y conocer las funciones, la estructura, y el desarrollo de la dependencia de servicios básicos con el fin de poder aportar en conocimientos y proyectos a la mejora de sus actividades a la vez de enriquecer los conocimientos del practicante. A su vez desarrollar esfuerzos para mejorar la calidad de funcionamiento de la planta de agua y demás servicios que presta la dependencia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aprender y conocer a fondo el protocolo de bloqueo y aislamiento con el fin de desarrollar inspecciones y orientaciones en el tema a empleados de la compañía y contratistas.
- Conocer los instrumentos de bloqueo existentes para los diferentes tipos de fuentes de energía (eléctrica, neumática, mecánica, cinética, etc.) Con énfasis en instrumentos de aislamiento eléctrico.
- Aprender acerca de la metodología Six Sigma con el fin de controlar y mejorar los parámetros de calidad de la planta de agua.
- Encontrar las causas del descontrol actual en ciertos parámetros del agua potable bajo la instrucción dada por la empresa.
- Determinar la variabilidad intrínseca de los equipos del laboratorio en la planta de agua del Cerrejón.
- Establecer que equipos puedan requerir una calibración y evaluar su desempeño con base a los requerimientos de precisión dados por la operación de la planta de agua.
- Determinar el funcionamiento del equipo en línea Turbidímetro 1720D mediante pruebas de desempeño.
- Poner en funcionamiento el equipo MFC Controller Analyzer para la dosificación con control automático.

MARCO TEÓRICO

4.1 SIX SIGMA

La metodología Six Sigma es una filosofía mediante la cual se pretende mejorar la calidad de un proceso con el fin de que este solo tenga 3.4 errores por millón de oportunidades. Esta herramienta es plenamente basada en la estadística, ordenamiento de las ideas, organización de los datos y su análisis. Existen diferentes rangos de especialidad en Six sigma dentro de los cuales se encuentran:

Black Belts: Personas con una gran capacidad de liderazgo con un amplio conocimiento en herramientas estadísticas y en administración de proyectos que han recibido entrenamiento en Black Belt. Dedican todo su tiempo en desarrollar mejoras a procesos mediante la implementación de esta metodología.

Green Belts: Cumplen con el perfil de un Black Belt pero estos solo dedican una parte de su tiempo a los proyectos que lidera mientras que el resto de su tiempo es ocupado en actividades rutinarias de su trabajo. Ha recibido entrenamiento en Green Belt.

Yellow Belts: Personas que han recibido entrenamiento en Yellow Belt, dentro del cual se explican las herramientas que se usan para el ordenamiento de las ideas con el fin de ser una gran aporte para un equipo de trabajo el cual lidere un Black o Green Belt. Es capacitado en el entendimiento de herramientas básicas de la estadística.

Todo proyecto Six Sigma cumple con un ciclo el cual es denominado DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) por sus siglas en ingles que significan:

Definir: Se realiza el contrato del proyecto en el cual se explican: el objetivo del proyecto, el alcance, el grupo de trabajo, el cronograma, las métricas primarias y secundarias, la Matriz de la voz del cliente (Se especifican los requerimientos del cliente), el SIPOC (Supplier Input Process Output Client) donde se especifican los proveedores del proceso, las entradas, un diagrama representativo del proceso, las salidas del proceso, y los clientes de cada paso del proceso.

Medir: Se realiza función del proceso donde se detectan todas las variables que afectan a la salida del sistema. Se procede con herramientas para detectar cual es el paso que más afecta a que no se cumplan los objetivos deseados. Luego se realiza un análisis de modo de falla donde se pretende buscar un

control de estas fallas así como detectar con el número de prioridad de riesgo o RPN cuál es la causa que se debe empezar a mejorar con mayor urgencia para alcanzar las metas. Se mide lo que se encuentra en el FMEA (Failure Mode Effect Analysis).

Análisis: Se interpreta sobre los resultados de las mediciones mediante análisis estadístico, y en ocasiones es posible que se actualice el FMEA.

Mejorar: Se empiezan a tomar acciones y decisiones para resolver el problema luego es necesario actualizar el FMEA ya que según las acciones tomadas es coherente que cambia el RPN. El RPN es calculado por la severidad del problema, la ocurrencia y la calidad del control que se tiene para solucionar el problema. A medida que se toman acciones la calidad del control va a variar incluso puede desaparecer el problema con esto cambiando el valor del RPN.

Controlar: Se mantiene un seguimiento de las acciones y tomadas y el comportamiento del sistema mejorado. Es posible que tenga que actualizarse el FMEA.

4.2 VARIABILIDAD

La variabilidad es la tendencia de una medida a dar resultados ligeramente diferentes para un mismo objeto de prueba, bajo condiciones estables o de cambio del día a día, ambiente, operadores, etc.

La variabilidad a corto plazo es la que describe el comportamiento típico de un instrumento de medida. En esta se asegura tener condiciones ambientales iguales, ejecutar procedimientos estándar de medición, un mismo operador para todas las medidas, una misma muestra para las distintas mediciones, etc. Mediante el análisis de la desviación estándar de los datos arrojados por varias mediciones a una misma muestra se puede especificar precisión del equipo. Se entiende precisión como el grado de dispersión que tiene los datos al analizar una misma muestra, el tener una buena precisión sugiere una pequeña desviación estándar.

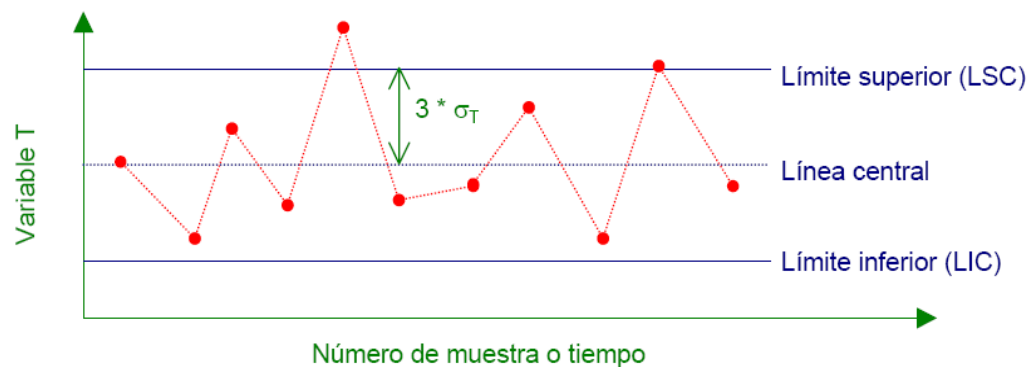
Otro tipo de variabilidad que se puede presentar es la dada por errores sistemáticos entre los operadores de los instrumentos. Para diagnosticar este problema se deben realizar mediciones a una misma muestra con las personas que manejan estos equipos y realizar un análisis de la dispersión que manejan los datos por operador.

El programa Minitab es una herramienta altamente útil para lograr la identificación de problemas de inconsistencia de datos. Por medio de los gráficos o cartas de control es posible determinar el nivel de dispersión que presentan los datos. A continuación una breve explicación de la elaboración de un gráfico de control:

La gráfica de control pretende determinar la calidad de un producto o proceso, en el caso de los trabajos realizados por el practicante lo que pretende es

verificar la calidad del proceso de medición de los equipos de laboratorio y en línea de la planta de agua. Para esto se grafican los resultados de las mediciones para una misma muestra. Se gráfica una línea central que es correspondiente a la media de las mediciones y unos límites de control cuyo proceso de obtención es un poco más complejo. Estos se determinan de tal forma que si el proceso se encuentra en un control estadístico los datos se encontraran entre ellos.

Figura 2. Diseño Carta de Control.



Fuente: Tomado del documento en línea Gráficos de Control por Variables

La determinación de los límites de control se basa en conceptos y resultados estadísticos según el documento: Gráficos de control por variables. Depende del tamaño de la muestra, de la distribución de los datos, de la característica de los datos, etc.

Límites de control para datos individuales

$$\begin{aligned} LSC &= \mu_T + 3\sigma_T \\ \text{Línea central} &= \mu_T \\ LIC &= \mu_T - 3\sigma_T \end{aligned}$$

Rango móvil $MR_i = \text{Max}\{X_i, X_{i-1}\} - \text{Min}\{X_i, X_{i-1}\}$

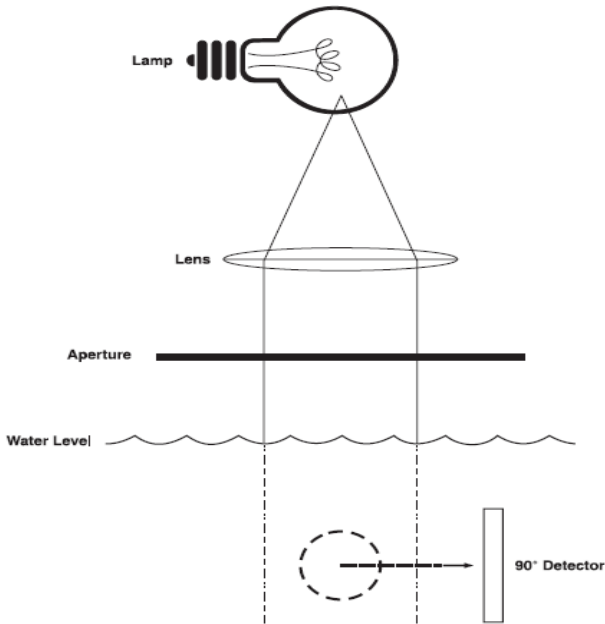
$$\begin{aligned} LSC &= d_2(1) \cdot \sigma + 3d_3(1) \cdot \sigma \\ \text{Línea central} &= d_2(1) \cdot \sigma \\ LIC &= d_2(1) \cdot \sigma - 3d_3(1) \cdot \sigma \end{aligned}$$

d_2 es un valor tabulado

4.3 TURBIDÍMETRO HACH 1720D

El principio de funcionamiento del turbidímetro consiste en emitir un haz de luz desde la cabeza del turbidímetro hacia la muestra de agua en el cuerpo del equipo. La luz que se dispersa a 90 grados de su incidencia es detectada por una fotocelda sumergida en la muestra. La cantidad de luz dispersada es proporcional a la turbiedad presente en el agua. Se entiende que si hay poca dispersión la cantidad de luz detectada por la fotocelda va a ser mínima y con esto la turbidez tendrá un valor bajo, mientras entre más luz sea esparcida se registrará un alto valor. En el gráfico a continuación se representa el funcionamiento del turbidímetro.

Figura 3. Detector de 90 grados



Fuente: Tomado del manual de operación del Turbidímetro marca Hach modelo 1720D.

4.3.1 Turbidez

“La turbidez es una medida de la falta de transparencia de una muestra de agua debida a la presencia de partículas extrañas. Estas partículas pueden ser placton, microorganismos, barro, etc.”⁴

Este parámetro del agua potable no cambia rápidamente con el tiempo siempre y cuando se conserve su forma de almacenamiento lo que ayuda a que su análisis sea más sencillo ya que no hay que llevar a cabo la medición inmediatamente se tome la muestra como sucede con otros parámetros de calidad del agua.

La unidad de medida para la Turbiedad es NTU que por sus siglas se refiere a Unidades Nefelométricas de Turbidez. Entre más turbia sea el agua tendrá un mayor valor de NTU, y se evidenciará en el color de agua siendo esta amarillenta o evidenciando algún tipo de color.

4.4 MFC ANALYZER CONTROLLER

Es importante conocer la naturaleza de un sistema que se pretenda controlar para poder determinar las acciones que repercutan en un óptimo funcionamiento. Para un sistema que tiene un comportamiento de cambio lento no es útil trabajar un control derivativo ya que este trataría de responder muy rápido a un cambio que requiera un tratamiento pausado. Este es el caso que le corresponde a la reacción de una adicción de cloro al agua. El cloro libre es el resultado de la reacción de mesófilos y de más cuerpos contaminantes presentes en el agua al interactuar con una solución de hipoclorito de calcio. El cloro residual o cloro libre es el que mide la cantidad de concentración de cloro que se encuentra presente en el agua potable y por consiguiente de este parámetro se realiza el proceso de control de desinfección del agua para su eventual distribución. El proceso de reacción es un proceso lento y de gran variabilidad ya que es afectado fácilmente por fenómenos como el cambio de temperatura ambiente, la capacitancia del tanque en que reside el agua a distribuir y donde primeramente sucede la desinfección, el estado de las tuberías de distribución, etc.

El equipo utilizado para el control de la bomba dosificadora de solución de hipoclorito de calcio es el MFC Analyzer Controller, el cual está programado para realizar un control Proporcional Integral. Mediante un control integral se garantiza que no exista un error en estado estable permitiendo que el control se mantenga cercano a un set point. El parámetro del equipo que maneja el tiempo de integración es representado por t_n . La razón de dosificación cambia hasta que alcanza el set point. A un mayor t_n el tiempo de respuesta del sistema es más lento mientras que para un t_n bajo se tendrá un control más rápido. El parámetro que maneja el control proporcional se encarga de la rapidez de respuesta del sistema de control teniendo en cuenta que entre más pequeño sea este valor mayor será la desviación con respecto al valor deseado, y se representa por la variable X_p . Esto anterior es debido a la función de transferencia del controlador PI dada por la ecuación:

$$Y_{out} = Y_{pi} = e_k \times K_p \times (1 + t/t_n)$$

t Es el tiempo de ciclo del controlador

t_n es el tiempo de acción integral

k_p constante proporcional dada como porcentaje de x_p . $K_p = 100 / x_p$

e_k la diferencia entre el valor actual del controlador y el set point

y_{pi} salida del controlador proporcional integral

y_{out} porcentaje que representa a y_{pi}

5. PLAN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS

5.1 INDUCCIÓN

Tiempo de desarrollo de esta actividad fue desde Julio 5 del 2007 hasta Agosto 3 del 2007. El proceso de inducción cumplió las siguientes funciones:

- Instrucción en el funcionamiento de la Planta de Agua
- Instrucción en las operaciones realizadas por la dependencia de servicios básicos.
- Participación en el programa de inducción a la empresa en el cual se recibieron charlas de los temas expuestos a continuación:
 - Conocimientos en las políticas de la empresa
 - Seguridad Industrial
 - Política de Protección ambiental
 - Bloqueo y Etiquetado
 - Espacios Confinados
 - Ergonomía
 - Seguridad de la Electricidad
 - Inducción al área de Trabajo
 - Conocimiento de las diferentes funciones
 - Presentación con el personal de trabajo
 - Acompañar a los técnicos de emergencia con el fin de conocer las instalaciones que competen el área de trabajo.
- Realización de cursos virtuales de seguridad en la red de la empresa

5.2 PROYECTOS ASIGNADOS AL PRACTICANTE

En el periodo de Agosto 4 a Septiembre 5 del 2007 se especificó las actividades a desarrollar por el practicante. Dentro de este periodo se dio inicio a los proyectos en el cual el estudiante fue solicitado por la empresa dentro de los cuales están:

- Contrato titulado “Aseguramiento del Protocolo de aislamiento”
 - Capacitación y estudio de los procedimientos de Bloqueo estipulados por la empresa.
 - Acompañar en recorridos de inspección de Bloqueos
- Proyecto Six Sigma titulado “reducir la variabilidad de los parámetros de calidad del agua potable en la mina”.

Familiarizarse con el problema planteado en Planta de Agua y orientaciones del Supervisor con respecto a la implementación de la metodología Six Sigma.

Etapa Definir (Six Sigma) en la cual se centra lo que se pretende realizar con el proyecto y además se definen las métricas a usar.

Realizar organización de actividades del proyecto mediante un charter. El charter es el contrato del proyecto y donde se mencionan todos sus participantes, las personas a las que le compete el proyecto, fecha tentativa de clausula del proyecto, métricas definidas, y demás características del contrato.

Realizar SIPOC (Fuente Entradas Proceso Salidas Cliente) de sus siglas en ingles. En este se especifican todas las posibles fuentes al proyecto, se enumeran las entradas salientes de cada una de estas fuentes. El proceso se muestra mediante un diagrama de flujo el cual desarrollo el estudiante en colaboración del equipo de trabajo. Las salidas del proceso especificaban lo que resulta del proceso de Planta de Agua lo cual es naturalmente agua tratada, y agua para uso industrial. El cliente es la persona que recibe los servicios del proceso para este caso sería el campamento de la mina y la sección industrial en donde se encuentran las oficinas.

- Curso de entrenamiento en operación de la planta de fuerza del campamento.

La Planta de Fuerza del campamento es un sistema compuesto por siete generadores y sus respectivas transferencias cuya función es alimentar al campamento en caso de una eventualidad de ausencia de energía por parte de la empresa Transelca la cual es encargada de prestar el servicio de energía eléctrica al campamento.

En lo que respecta al periodo comprendido desde septiembre 6 a noviembre 6 del 2007 se realizaron las siguientes actividades:

- Contrato del protocolo de aislamiento

En esta etapa se realizaron actividades de inspección en distintas areas de la mina con el fin de revisar el cumplimiento del protocolo. En caso de encontrar fallas en la aplicación del procedimiento se ejecutaba una retroalimentación además de la debida notificación al supervisor de area para notificarlo de lo sucedido.

Coordinación de actividades de difusión con los supervisores de area de los diferentes departamentos de la empresa.

- Proyecto Six Sigma

Etapa Medir (Six Sigma)

- Realización de pruebas y seguimiento de procedimientos Six Sigma. (Actualizar FMEA)
- Comprobación del estado de los parámetros
- Diseñar y realizar procedimiento de valoración de los equipos de la planta de agua y laboratorio de ambiental del cerrejón.
- Realizó informe de consumo de químicos de planta de agua desde enero del 2006.
- El estudiante trabajó en el montaje de control y aprendizaje del equipo de control de cloro libre MFC Controller Analyzer, MARCA SIEMENS.
- Realizó procedimientos de prueba de perturbación a los equipos en línea de la planta de agua.
- Se determinó el tiempo en que demora en degradarse el cloro libre de un punto de la red de distribución del campamento a otro.
- Validación de la calidad de reactivos usados para las medidas con los equipos de laboratorio.

Etapa Analizar (Six Sigma)

- Análisis gráfico identificar posibles causas principales del problema.
- Se entregó informe de pruebas de equipos en línea y laboratorio.
- Validar causas estadísticamente

En el periodo comprendido entre Noviembre 6 y Diciembre 28 se realizaron las siguientes actividades:

• Protocolo de Aislamiento

Se desarrollaron charlas en diferentes departamentos explicando los procedimientos de etiqueta y candado enfocándolos a las actividades desarrolladas por público asistente.

Se empezó con el proceso de señalización de los dispositivos de bloqueo así como la identificación de equipos que no cumplan con el protocolo.

• Proyecto Six Sigma

Etapa Mejorar

- Se asignó al estudiante la realización de procedimientos de limpieza y mantenimiento de los equipos. Así como especificar cada cuanto se realizarían estos procedimientos.

- Junto con el operador de planta de agua se implementaron contadores para medir que cantidad de volumen de agua se agregaba a una solución con el fin de mantener una concentración constante para la dosificación de químicos.
- Curso en el manejo del programa de manejo de información de la empresa Elipse.
- Curso en CorVu 5 el cual toma la información de Elipse para realizar informes, gráficos enviar informes automáticamente, subir la información analizada a la red.
- Participación en Congreso de Seguridad Anual organizado por el Cerrejón.

6. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

6.1 INDUCCIÓN A LA COMPAÑÍA

En el inicio de la práctica se desarrolló por parte del departamento de recursos humanos el curso de inducción a la compañía. En esta etapa se explicó la visión de la empresa, sus políticas, su historia, el proceso carbonífero, además de charlas de primeros auxilios, contraincendios, sustancias químicas, concientización social, bloqueo y etiquetado, cuidados con las manos, PPABC (Programa de prevención de accidentes basados en el comportamiento), AST (Análisis de Seguridad en el trabajo). La empresa Cerrejón tiene como prioridad el trabajo seguro de sus empleados y constantemente realiza supervisiones de los trabajos con el fin de establecer el grado de seguridad. Antes de realizar cualquier trabajo se debe preparar un análisis del riesgo inminente del trabajo y a su vez las diferentes formas que existen para minimizar el riesgo lo mejor posible. Para esto se disponen de elementos de protección personal como son: Las gafas de seguridad, casco, botas con punta de acero, guantes de diferentes tipos según el trabajo, arneses de seguridad, líneas de vida, protección auditiva, mascara para filtrar polvos y olores de sustancias perjudiciales para la salud, en casos especiales mascararas de oxigeno. Además dependiendo de la gravedad del riesgo que se clasifica como alto, medio y bajo se realizan procedimientos estándar para asegurar que los trabajos de alto grado de posibilidad de un accidente sean supervisados por un personal de confianza calificado. En el proceso de inducción al sitio de trabajo se conoció al personal con el cual se tiene contacto en el área de operación de la planta de agua como en mantenimiento industrial o MTI. Antes de realizar cualquier recorrido por los sitios de trabajo fue necesario aprobar unos cursos virtuales que se encuentran en la red de la empresa y en los cuales quedan registrados los puntajes correspondientes. Entre estos están los de bloqueo y etiquetado, seguridad con la electricidad, manejo de químicos, seguridad ambiental, elementos de protección personal, ergonomía, AST (Análisis de seguridad en el trabajo), PPABC (Programa de prevención de accidentes basados en el comportamiento), bloqueo y etiquetado, espacios confinados.

6.2 PROCESO DE POTABILIZACIÓN

El proceso empieza por una captación que es de donde se obtiene la fuente de agua a potabilizar la cual es proveniente de pozos y del rio Ranchería. El agua es llevada a la planta de tratamiento mediante un sistema de bombeo. Primero pasa por un proceso de aireación en donde se oxidan los sólidos que se encuentran presentes en el agua, luego llega a un tanque retención de lodos en donde se decantan los sólidos y demás partículas existentes en el agua.

Luego el agua es almacenada en un reservorio en el cual empieza una precloración la cual es controlada manualmente. Después del almacenamiento el agua es bombeada con tres propósitos:

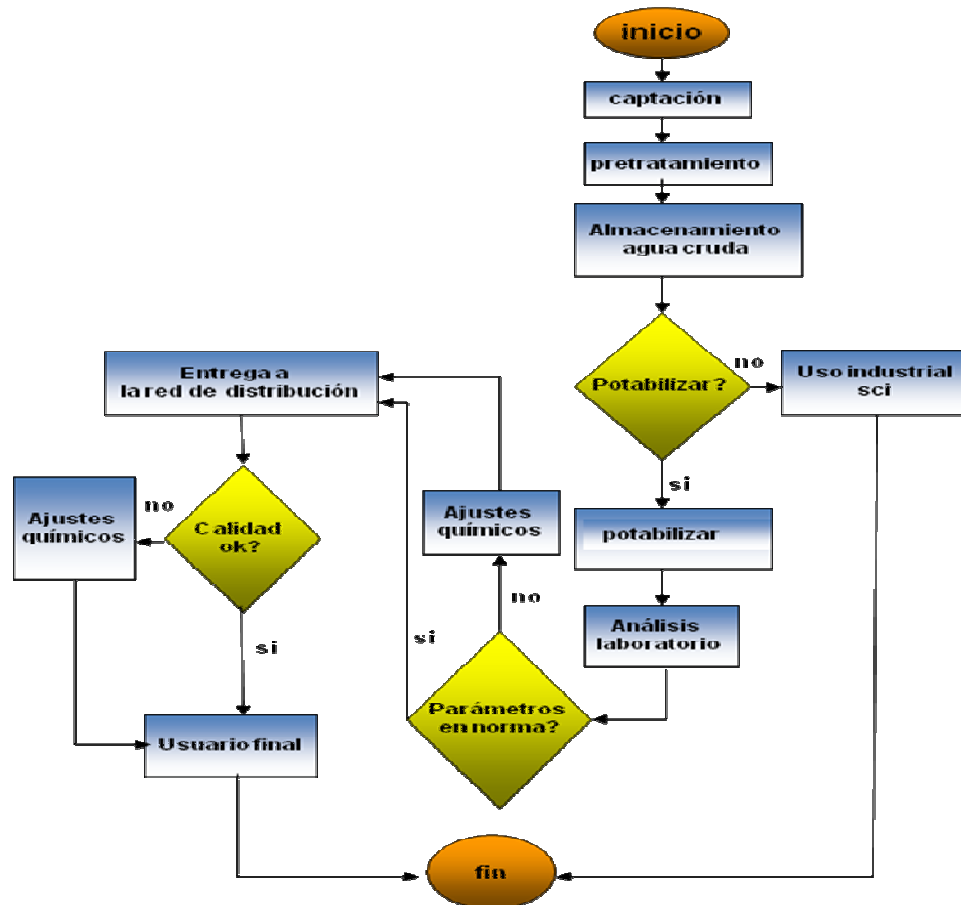
El primero es para uso exclusivo industrial, el segundo para uso del sistema contraincendio y el tercero es el agua a potabilizar. El agua que se lleva a potabilizar pasa por un proceso de adición de cal en donde empieza el proceso de ablandamiento con esto aumentando el pH. Luego es necesario aplicar un coagulante (Exro 616) con el fin de formar grumos de partículas que deben ser filtradas, el proceso de filtración detiene estas partículas y luego es necesario dosificar una cantidad de ácido sulfúrico para disminuir el pH a un nivel apto para el consumo humano. El proceso de dosificación de ácido sulfúrico es controlado automáticamente mediante un control PI. En las salidas del precipitador y filtros se utilizan para el monitoreo de turbidez los equipos en línea turbidímetro 1720D Marca HACH. El proceso de control de las medidas arrojadas por estos equipos es manual así como el del pH aumentado por el suministro de cal. Los filtros poseen un sistema de retrolavado la cual tiene como objeto hacer circular agua por el filtro en dirección opuesta a la usual para así limpiar las partículas que puedan perjudicar el funcionamiento óptimo del filtro. El sistema de aplicación de este retrolavado depende de las alarmas que se presenten según las medidas de los equipos en línea y actualmente el proceso es automático mediante una orden desde el cuarto de control de operación de la planta de agua. Como parte final del proceso de potabilización se adiciona cloro con el fin de desinfectar el agua antes de ser distribuida por un proceso de bombeo hacia tanques de almacenamiento, parte industrial de la mina y campamento. El sistema de dosificación de cloro es realizado manualmente. Existe un equipo para controlar la dosificación pero aun no se ha puesto en funcionamiento. Luego de este proceso de desinfección el agua llega al tanque 211 que es donde llega el agua saliente de la desinfección antes de ser distribuida. Para llegar el agua al campamento primero es necesario pasar por una trayectoria de tubería de 1700 metros hasta llegar a la denominada caseta de colinas. En esta se tiene dos tanques que almacenan agua para suministrar al campamento en caso de algún corte del servicio. Este corte puede ocurrir por mantenimiento a la tubería lo cual es necesario para asegurar que la calidad del agua se mantenga hasta llegar al campamento y que no se vea afectada por la red de distribución. Luego el agua cae al campamento por efecto de la gravedad y termina el proceso de distribución.

El agua bombeada hacia el área industrial pasa por un trayecto más corto pero es la que sufre la mayor cantidad de pérdidas de calidad del agua debido a la tubería. Actualmente está en estudio la razón por la cual esto sucede.

El proceso de monitoreo de los parámetros de calidad de agua se realiza por medio de un cuarto de control. En este se muestra con indicadores gráficos el nivel de pH en el agua, el estado de filtros y precipitador, y por medio de constantes mediciones se obtiene el nivel de cloro libre en el agua.

En el diagrama de flujo a continuación se muestra en simplificado todo el proceso desde la captación hasta la distribución del agua potable.

Figura 4. Diagrama de Flujo del proceso de tratamiento de agua



Fuente: Fredys Eljach. SIPOC. Carbones del Cerrejon Limited

6.3 PROYECTO SIX SIGMA

Debido la variabilidad que han presentado los parámetros de calidad del agua surgió un proyecto con el fin de mejorar el proceso. El proyecto es liderado por el Black Belt Jesus Restrepo, coordinador de la excelencia del negocio del departamento de servicios a la operación. El champion es el Gerente del departamento de servicios a la operación, Jorge Echeverry. El dueño del proyecto es el supervisor de planta de agua y MTI, Fabian Deluque. El equipo de trabajo está conformado por: Julio Cala (Yellow Belt), analista de planta de agua, Maria Jose Suarez (Yellow Belt), analista de control de calidad, Luis Martinez, analista del departamento de ambiental, Fredys Eljach (Yellow Belt) como estudiante en práctica. El estudiante realizó el curso de entrenamiento en

Six Sigma para Yellow Belt con el cual fue certificado por parte de Carbones del Cerrejón Limited.

En la etapa definir del proceso la participación clave se basó en la recolección de información y análisis estadístico de las tendencias en el tiempo de los parámetros de calidad. Se observó que los parámetros estaban fuera de control según los límites de control indicados por la empresa. La participación en las ideas de desarrollo de las metodologías estadísticas fue fundamental en el desarrollo del proyecto. Se realizó análisis de consumo de insumos y a su vez análisis de producción de agua potable. Se graficó la tendencia en el tiempo desde enero del 2006.

Luego fue necesario determinar la variabilidad que presentaban los instrumentos de medida del laboratorio y de los equipos en línea. Por consiguiente el estudiante propuso el plan de estudio de la confiabilidad de los instrumentos donde se incluyen:

- Colorímetro Hach DR/890
- Analizador Siemens
- Espectrofotómetro HACH DR/4000U
- Digital Titrator model 16900
- Turbidímetro WTW Turb 550/550IR
- Turbidímetro Hach 1720D (Equipo en Línea)
- MFC Analyzer Controller

En el plan se propuso pruebas de precisión y comportamiento bajo perturbación a los equipos. Se empezó trabajando con los equipos del laboratorio. Estos equipos no se sometieron a pruebas de perturbación ya que su lugar de funcionamiento no tiene condiciones cambiantes en temperatura, ruido, interferencias, etc. El estudiante realizó los procedimientos de prueba de precisión de estos equipos. Los resultados fueron los siguientes:

6.3.1 TURBIDÍMETRO WTW TURB 550/550IR

Especificaciones Técnicas:

Resolución:

Para el rango

0.01 a 9.99 NTU resolución = 0.01 NTU

Para el rango

10.0 a 99.9 NTU resolución = 0.1 NTU

Para el rango

100 a 1000 NTU resolución = 1 NTU

Desviación estándar teórica = 0,01 NTU

Tomando una muestra de agua a la salida del tanque 211, lo que implica que es agua tratada, se realizaron 10 mediciones con el equipo turbidímetro Turb 550. Este equipo mide la turbiedad dependiendo de la cantidad de luz que pueda penetrar a la muestra y sea captada por un sensor. Siguiendo los procedimientos de estándar de laboratorio para realizar mediciones se tienen los siguientes datos:

Tabla 1. Resultados para el Turb 550

PUNTO DE MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE TURBIEDAD (NTU)	
	HORA	TURBÍDIMETRO TURB 550/550IR
		1 Lectura
TANQUE 211 AGUA POTABLE	3:25 p.m	0,13
	3:27 p.m	0,13
	3:29 p.m	0,14
	3:31 p.m	0,12
	3:33 p.m	0,14
	3:35 p.m	0,13
	3:37 p.m	0,13
	3:39 p.m	0,13
	3:41 p.m	0,14
	3:43 p.m	0,13

Tomando los datos anteriormente encontrados se realiza el respectivo análisis estadístico. El dato estadístico más importante a observar es la desviación estándar ya que esta entrega una medida de la dispersión de los datos. Según la tabla 2 se observa que este dato es menor a +/- 0,01 NTU que es el dato de precisión dado de fábrica. Por lo tanto se puede ver que el equipo está respondiendo correctamente. Además con los datos de mediana y moda se puede observar que las mediciones apuntan siempre a la media. Esto ya que el dato que más se repite en todas las mediciones es +/- 0,13 NTU y a su vez es el que parte en dos a los datos obtenidos, siendo este cercano al valor de media resultante del análisis como se muestra en la Tabla 2 con el valor de +/- 0,132 NTU.

Otro dato del análisis que cabe señalar es el rango ya que este muestra la diferencia más grande que se puede tener en las mediciones y por tanto es de suma importancia tener en cuenta. Si este rango fuese muy grande las

medidas resultantes del equipo no fuesen muy confiables viendo a la necesidad de registrar el equipo para un ajuste de calibración.

Tabla 2. Análisis estadístico para el Turb 550

Media	0,132
Error típico	0,002
Mediana	0,13
Moda	0,13
Desviación estándar	0,00632456
Rango	0,02
Mínimo	0,12
Máximo	0,14
Cuenta	10

Utilizando el programa Minitab el cual se especializa en realizar análisis estadísticos se introdujeron los datos para generar las respectivas cartas de control de los equipos. Para saber qué tipo de gráfica se debe utilizar para realizar estas cartas de control es necesario tener en cuenta el número de observaciones realizadas. Para este caso fueron diez lo que implica que se puede usar un tipo de gráfico IM_R para datos individuales ya que no están agrupados. Lo que comprende el gráfico de la figura 5 es en su parte superior son los valores de los datos de la tabla 1 graficados ubicando sus límites de control. Estos límites son generados automáticamente por el programa y dependen de la desviación estándar hallada así como del rango de datos obtenidos. El hecho que todos los puntos estén dentro de dos desviaciones estándar implica que el instrumento funciona de manera correcta. En la parte inferior del gráfico se observa los rangos móviles. Esto es la diferencia de una medida con respecto a la siguiente y lo que pretende mostrar esta gráfica es que tan dispersos se encuentran los resultados dados por este equipo analizando una misma muestra.

En la figura 6 se muestra que tan desviado puede estar una medición obtenida por este equipo de su media lo cual es de suma ayuda ya que al tener este dato se puede estimar cual será el máximo desvío que pueda ocurrir en la medición y tomar acciones al respecto. En este caso como se observa en la gráfica la máxima desviación posible es de $\pm 0,012$ lo cual es muy pequeño y no genera inconvenientes para el operador de la planta de agua. El promedio de estos rangos es lo que se conoce como desviación media. Lo ideal es que este dato sea lo más pequeño posible para asegurar la confiabilidad de la medida sin embargo los datos resultantes de este equipo sugieren una gran precisión en sus lecturas.

El Turbidímetro Turb 550 demostró tener una gran precisión al obtener un error para valores pequeños de NTU de ± 0.01 NTU. Se concluye que este equipo es una fuente confiable y no producirá decisiones erróneas al operador de planta de agua en el rango de las mediciones tomadas. El equipo se comporta

de acuerdo a las especificaciones de fábrica y por tanto no requiere ningún ajuste.

Figura 5. Variabilidad Turb 550

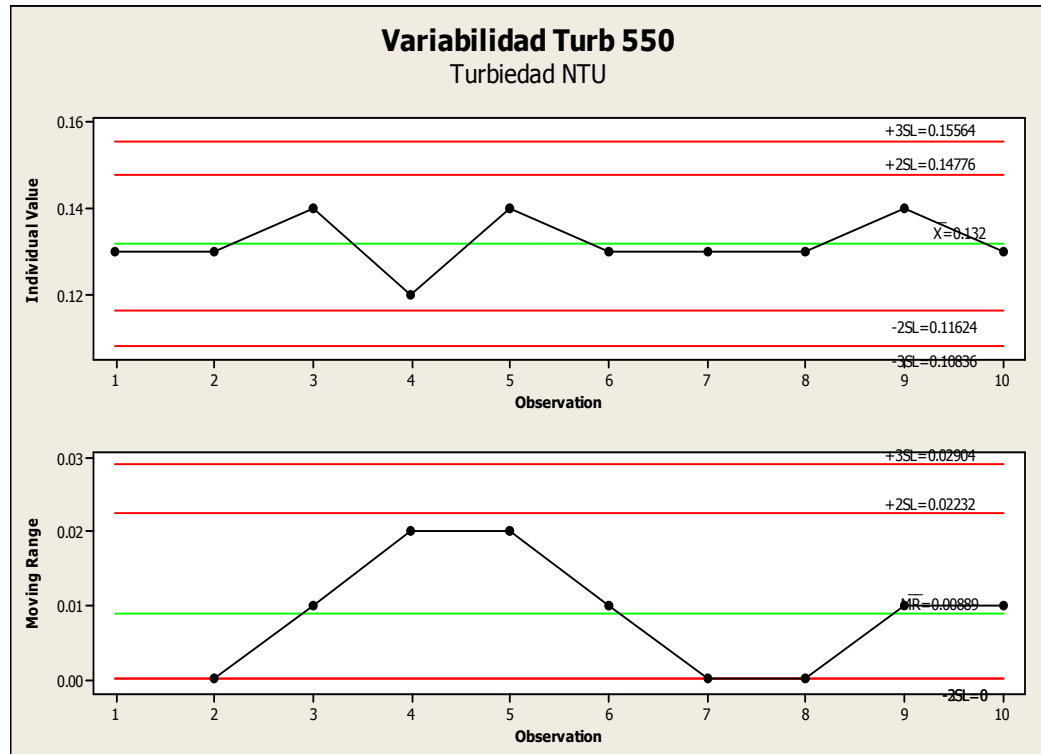
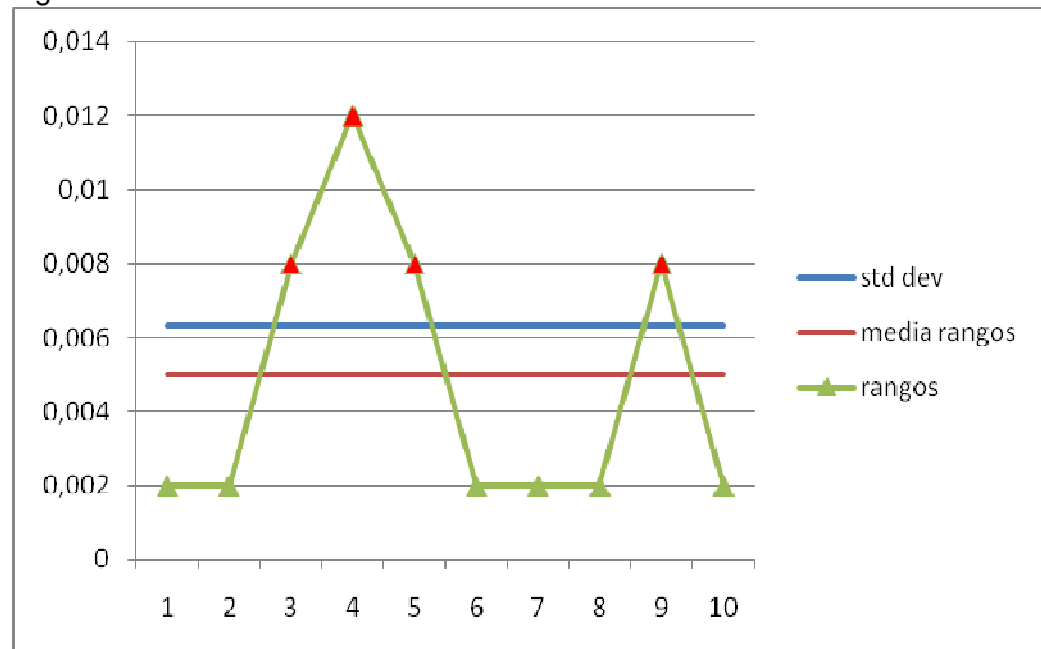


Figura 6. Desviacion media Turb 550



6.3.2 DIGITAL TRITRATOR

Especificaciones técnicas:

Para el rango

0-100

Resolución = 0.1 mg/L

Para > 100

Resolución = 1 mg/L

Utilizando una muestra de agua potable a la salida del tanque 211 y realizando 10 mediciones se tienen los resultados mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de medición con Digital Tritrator

PUNTO DE MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE DUREZA (mg/L)	
	HORA	Lectura
TANQUE 211 AGUA POTABLE	2:50 p.m	100
	2:54 p.m	115
	2:58 p.m	100
	3:02 p.m	110
	3:04 p.m	100
	3:08 p.m	115
	3:12 p.m	100
	3:16 p.m	105
	3:20 p.m	110
	3:24 p.m	100

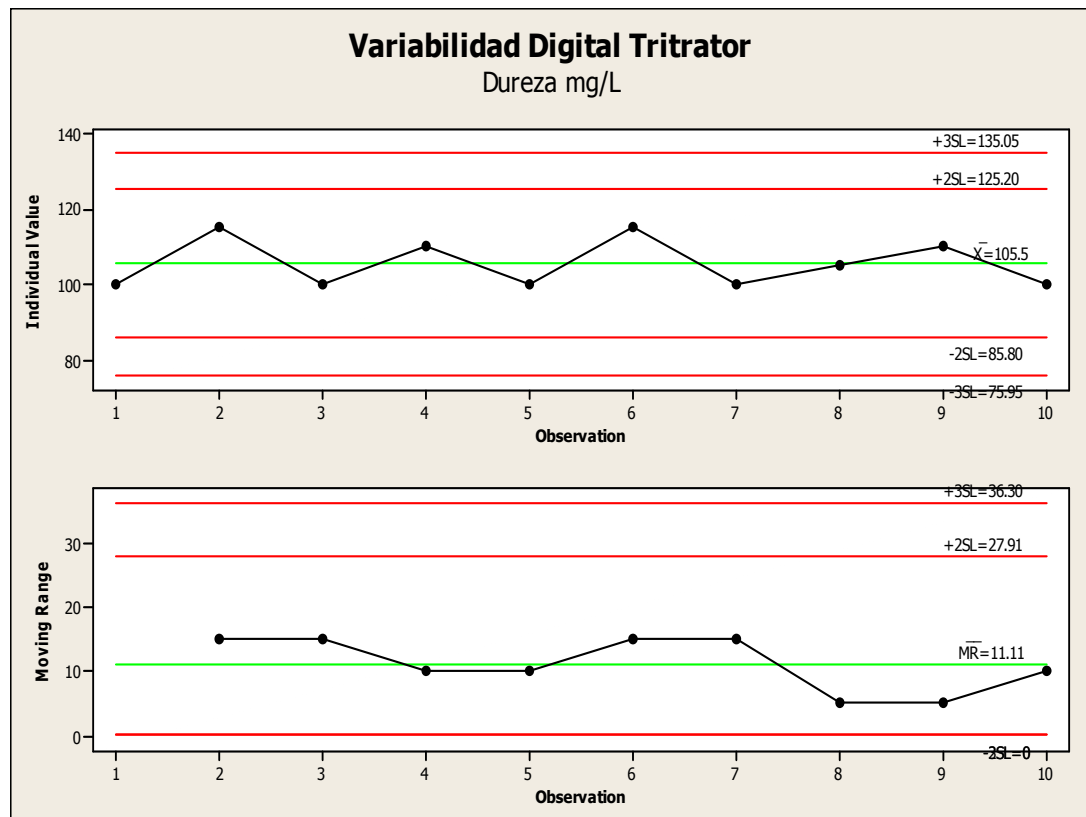
Tabla 4. Estadística para el Digital Tritrator

Media	105,5
Error típico	2,034425936
Mediana	102,5
Moda	100
Desviación estándar	6,433419689
Varianza de la muestra	41,38888889
Rango	15
Mínimo	100
Máximo	115
Suma	1055
Cuenta	10

En la tabla 4 se muestran los respectivos análisis estadísticos de los datos obtenidos. Se pueden observar que las diferencia entre medidas puede ser hasta de 15 mg/L lo cual es excesivamente grande.

Gráficos de Control

Figura 7. Variabilidad Digital Tritrator



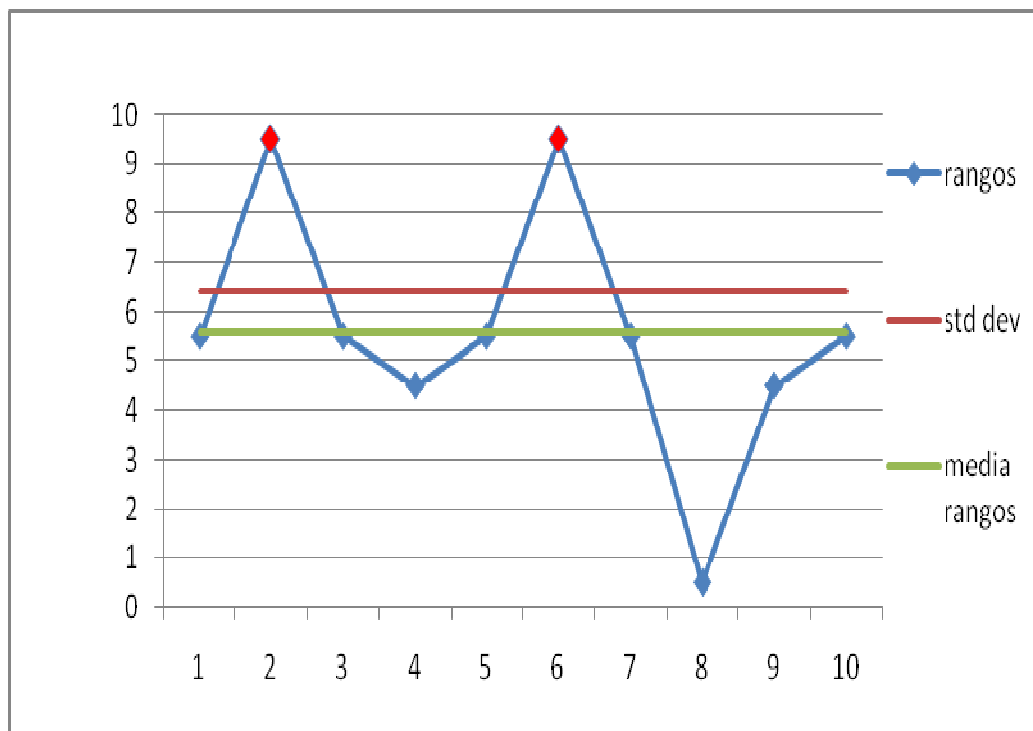
A pesar que se puede evidenciar que los datos están dentro de los límites de control, se puede observar en la parte superior de la figura 7 que en solo una ocasión coincide la medida dada con la media de todas las medidas. Esto implica un error sistemático en el proceso de medición. El proceso de obtención de esta medida se hace mediante un procedimiento manual lo cual explica la variación irregular de las mediciones.

En la figura 8 se puede ver como se puede tener desviaciones del valor medio de hasta 10 mg/L lo que implica un grado de error muy grande y pone en juicio que tan bueno es el procedimiento actualmente usado además de la necesidad de monitoreo en su aplicación.

El equipo medidor de dureza Digital Tritrator marca HACH se encontró una precisión de ± 6.4 mg/L para valores de dureza 105 mg/L lo cual representa

un grado de desviación aceptable teniendo en cuenta que es menos del 10% del valor medido aunque sin embargo es un valor a tener en cuenta al momento de registrar la medida. Los valores de dureza registrados oscilan entre valores grandes dentro de los cuales una desviación de ± 6.4 mg/L no perjudica la decisión que pueda tomar el operador de la planta de agua. El procedimiento para realizar esta medida sugiere la posibilidad de encontrar errores por parte de la persona que maneje el instrumento. Se recomienda realizar cuidadosamente el procedimiento así como asegurarse que los materiales, reactivos, y demás utensilios estén en buen estado.

Figura 8. Desviación media Digital tritrator



6.3.3 COLORÍMETRO HACH DR/890

Especificaciones Técnicas

Rango de 0 a 2.00 mg/L
 Resolución 0.01 mg/L
 Desviación estándar teórica: 0.01 mg/L

Tomando una muestra a la salida del tanque 211 y luego realizando 10 mediciones con el equipo Colorímetro Hach Dr 890 se obtuvo los siguientes datos.

Tabla 5. Resultados Mediciones Hach Dr890

PUNTO DE MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE CLORO (mg/L)	
		MULTIPARAMETRO HACH COLORIMETRO DR/890
TANQUE 211 AGUA POTABLE	HORA	1 Lectura
	2:50 p.m	1,43
	2:54 p.m	1,49
	2:57 p.m	1,39
	3:00 p.m	1,39
	3:02 p.m	1,47
	3:05 p.m	1,4
	3:07 p.m	1,41
	3:10 p.m	1,39
	3:13 p.m	1,46
	3:15 p.m	1,37

En la tabla 6 se evidencia un valor de desviación mayor al sugerido por el fabricante lo que implica que el equipo puede estar requiriendo un ajuste de calibración.

Tabla 6. Estadística Colorímetro Hach Dr 890

Media	1,42
Error Estándar	0,012823589
Mediana	1,405
Moda	1,39
Desviación estándar	0,04055175
Varianza	0,001644444
Rango	0,12
Mínimo	1,37
Máximo	1,49
Count	10

Gráfico de Control

Figura 9. Variabilidad Colorímetro DR890

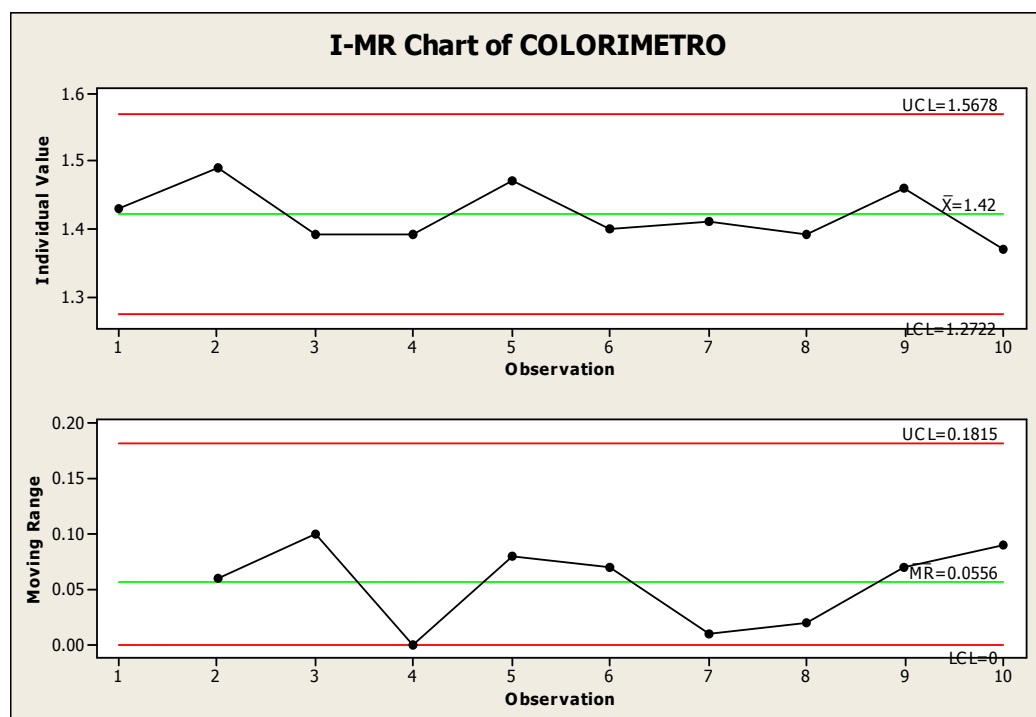
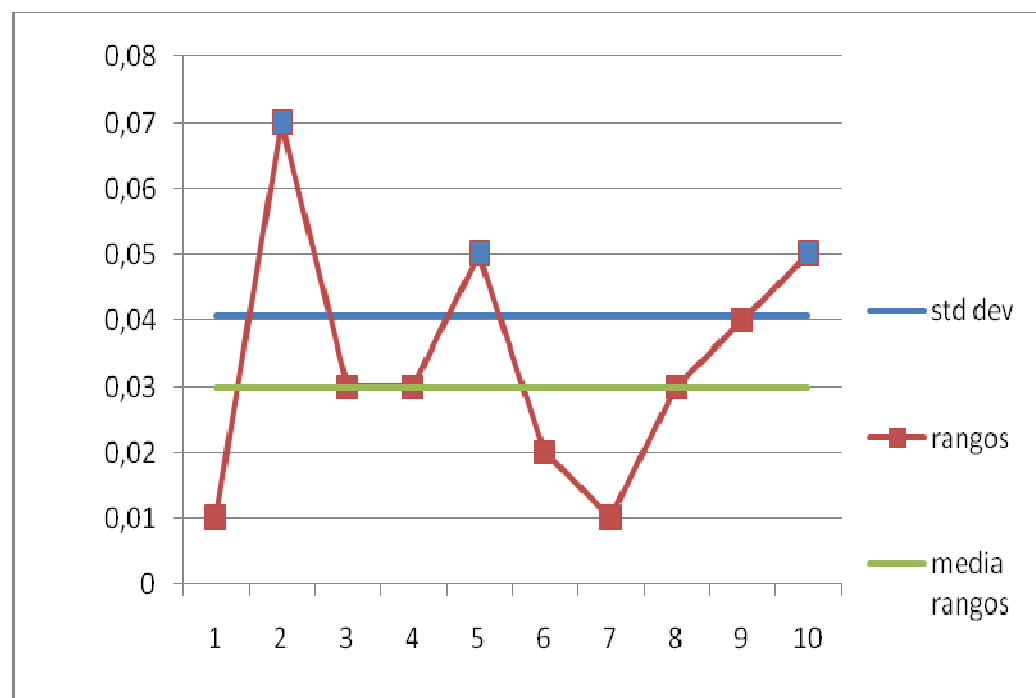


Figura 10. Desviacion media Colorimetro DR 890



5.3.4 ESPECTROFOTÓMETRO DR 4000U

Especificaciones Técnicas
Resolución: 0.01 mg/L

Tabla 7. Resultado de mediciones espectrofotómetro

PUNTO DE MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE CLORO (mg/L)	
		ESPECTROFOTÓMETRO DR/4000U
TANQUE 211 AGUA POTABLE	HORA	1 Lectura
	2:50 p.m	1,44
	2:50 p.m	1,52
	2:50 p.m	1,49
	2:50 p.m	1,54
	2:54 p.m	1,47
	2:54 p.m	1,52
	2:54 p.m	1,52
	2:54 p.m	1,52
	2:58 p.m	1,48
	2:58 p.m	1,57

En la tabla 8 se evidencia un valor de desviación mayor al sugerido por el fabricante lo que implica que el equipo puede estar requiriendo un ajuste de calibración. Se puede observar además un rango de 0,13 lo cual es significativo para el correcto registro de una medida. Cabe resaltar que esta variabilidad no solo depende del equipo si no a su vez de los reactivos usados para la toma de medida estos tienen asignado una desviación estándar correspondiente en su empaque e influyen en la variabilidad de las mediciones. Esto pasa igual para el colorímetro.

Tabla 8. Análisis Estadístico espectrofotómetro

Media	1,507
Error típico	0,01183685
Mediana	1,52
Moda	1,52
Desviación estándar	0,03743142
Rango	0,13
Mínimo	1,44
Máximo	1,57
Suma	15,07
Cuenta	10

Gráficos de control

Figura 11. Variabilidad espectrofotómetro

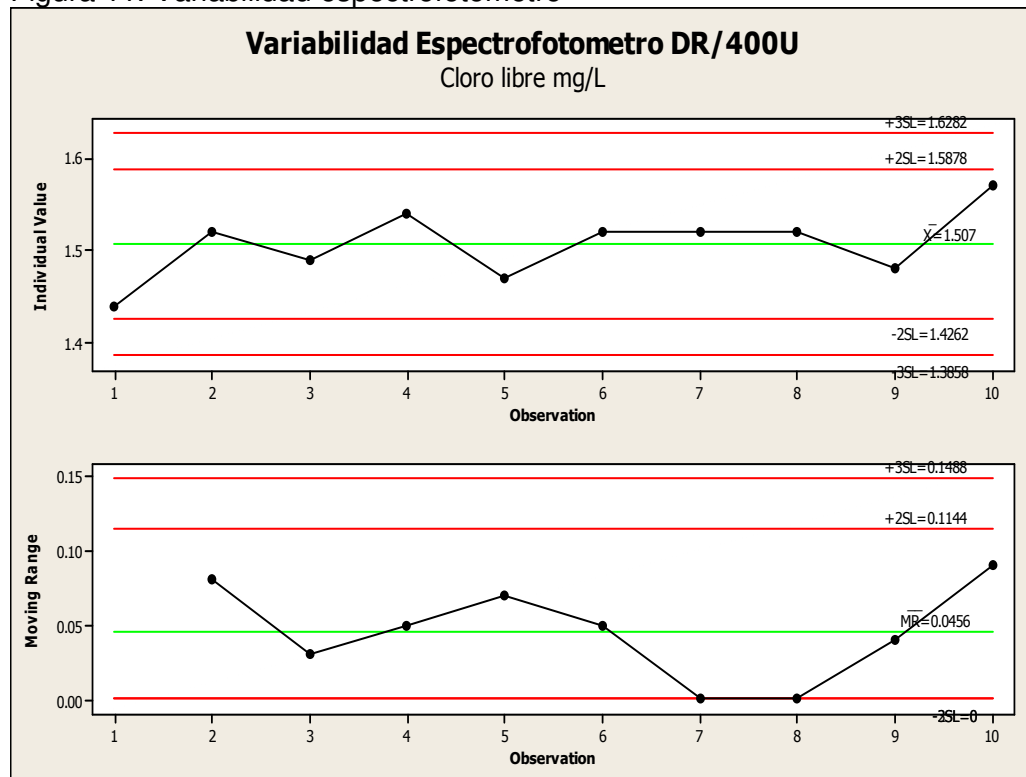
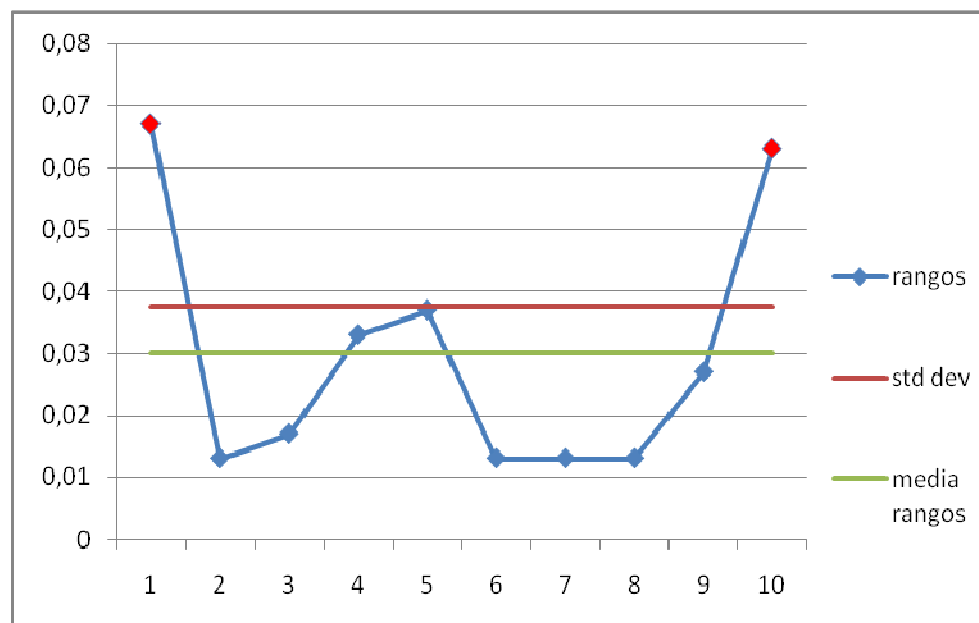


Figura 12. Desviación media



Para el Colorímetro HACH DR890 y espectrofotómetro se encontró un nivel de precisión de $\pm 0,04$ mg/L lo cual es menor a ± 0.10 mg/L que es el límite de desviación aceptable para una correcta decisión sobre el control de cloro libre en la operación de la Planta de Agua. Para ambos equipos se considera que un valor de desviación de ± 0.04 sugiere que el equipo está por fuera de los parámetros de calibración y requiere su respectivo ajuste. Recientemente el técnico representante de Hach realizó correcciones en estos equipos.

El procedimiento para realizar mediciones con estos equipos sugiere el uso del reactivo llamado DPD para cloro libre. La función de este es cambiar el color del agua al reaccionar con el polvo del reactivo. El color al cual cambia es un color rosado. Entre más oscuro sea ese color mayor cloro libre se encontrará en el agua. Para asegurar que el agua este bien desinfectada se recomienda que el agua presente una concentración de cloro libre entre 0,8 mg/L y 1,8 mg/L. Cada lote de DPD tiene una variabilidad distinta y en varias ocasiones se detectaron lotes que daban completamente distinto de otros por lo que se generó la queja correspondiente a la compañía Hach fabricante de los reactivos.

6.3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS VARIABILIDAD OPERADORES DEL LABORATORIO

Para los siguientes análisis se siguió el procedimiento a continuación:

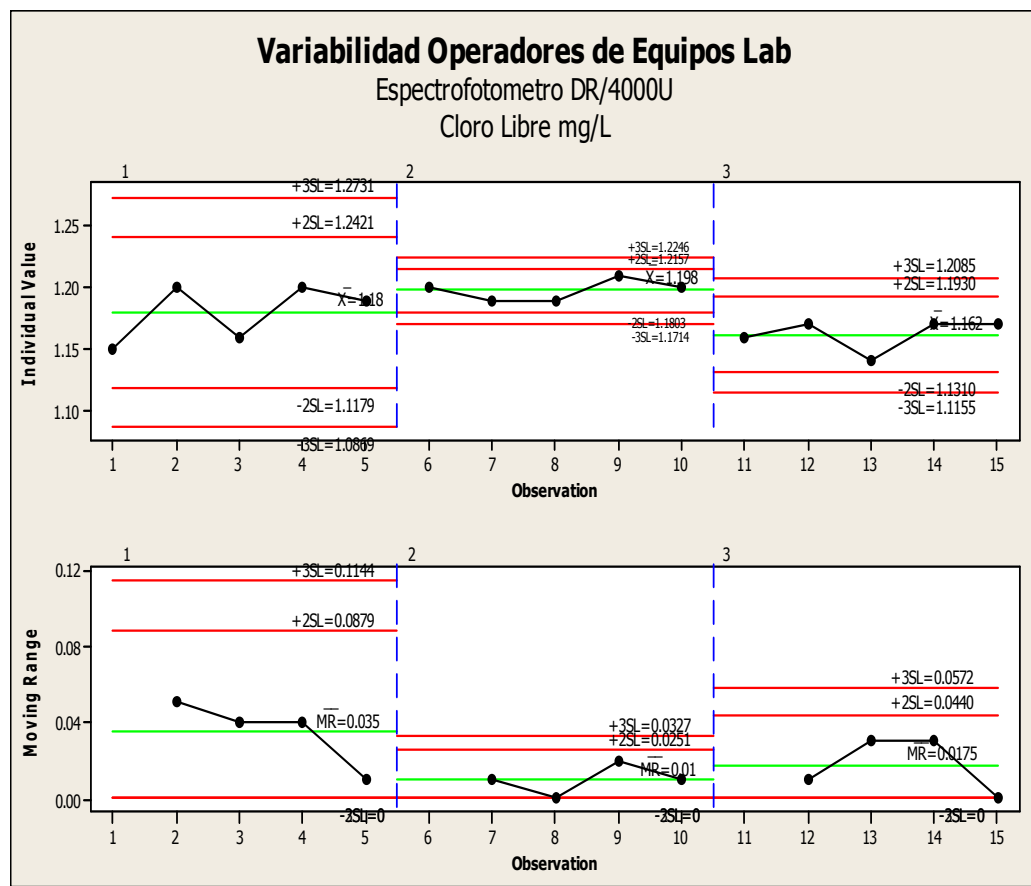
- Se tomó una muestra de agua a la salida del tanque 211
 - Cada uno de los operadores del laboratorio (3) realizó 5 medidas con el instrumento.
- ESPECTROFOTÓMETRO DR/4000U

En la tabla 9 mostrada a continuación se evidencia la variabilidad que muestra el equipo dado el operador del mismo. Mediante el programa Minitab es posible ver esta variabilidad utilizando la función en la grafica de control denominada stages. Esta escoge límites de control distintos por diferentes etapas, las cuales son especificadas por el analista. Como se trabajó con tres analistas se utilizaron tres etapas. En la carta de control se puede evidenciar claramente cuál de los operadores introduce más variabilidad a la medida. Entre mas estrechos sean los limites de control menor dispersión tendrán las medidas resultantes del operador. En la figura 13 se puede observar como hay diferencias entre la dispersión de cada operador así como en las medias resultantes de cada uno. Esto puede ocurrir debido a la manipulación del instrumento y el no cumplir con los procedimientos de medición. Sin embargo cabe resaltar que la variabilidad general de todas las mediciones es similar a la dada por el equipo en sí, lo que puede sugerir que la dispersión de estas mediciones depende directamente del estado de calibración del equipo.

Tabla 9. Resultado mediciones operadores espectrofotómetro
CLORO LIBRE EN mg/L

LAB 1		LAB 2		LAB 3	
	1,15		1,2		1,17
	1,2		1,19		1,16
	1,16		1,19		1,14
	1,2		1,21		1,17
	1,19		1,2		1,17
Σ	0,02	σ	0,01	σ	0,01
Media (μ)	1,18	Media (μ)	1,20	Media (μ)	1,16
2σ	1,24	2σ	1,215	2σ	1,19
-2σ	1,12	-2σ	1,18	-2σ	1,13
3σ	1,27	3σ	1,225	3σ	1,21
-3σ	1,08	-3σ	1,17	-3σ	1,11

Figura 13. Variabilidad Operadores ESPECTROFOTÓMETRO

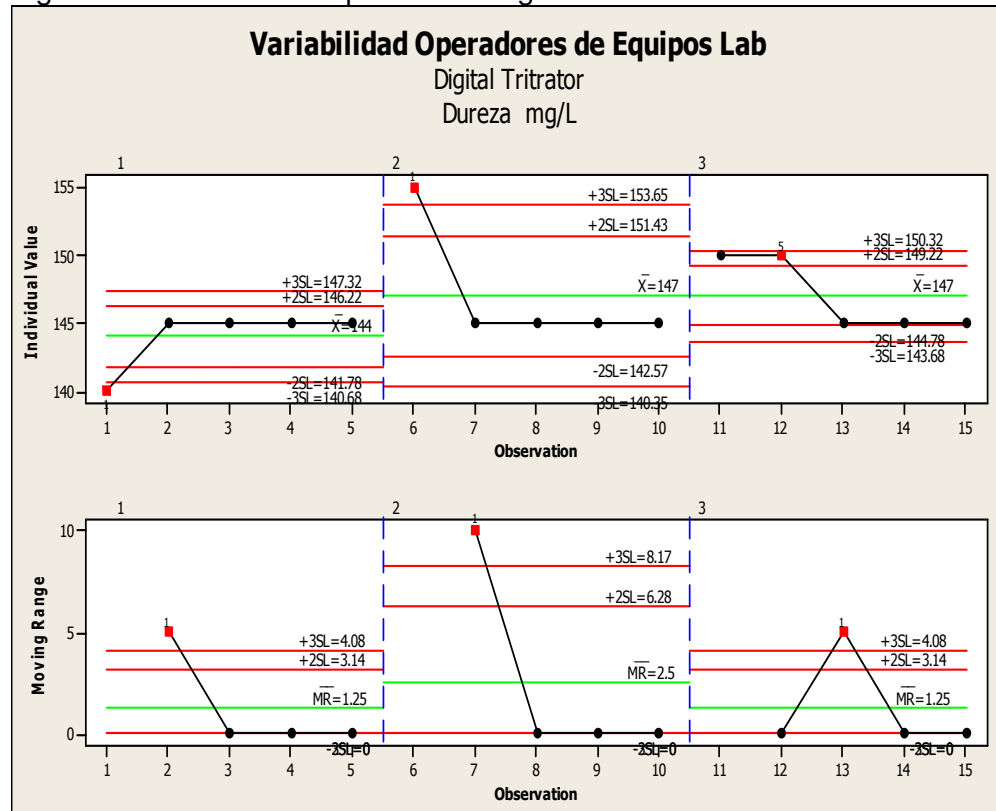


- Digital Titrator

Tabla 10. Resultados variabilidad entre operadores Digital Titrator

LAB1		LAB2		LAB3	
140		155		150	
145		145		150	
145		145		145	
145		145		145	
145		145		145	
Σ	2,23606798	σ	4,47213595	σ	2,73861279
Media (μ)	144	Media (μ)	147	Media (μ)	147
$\mu + 2\sigma$	148,472136	$\mu + 2\sigma$	155,944272	$\mu + 2\sigma$	152,477226
$\mu - 2\sigma$	139,527864	$\mu - 2\sigma$	138,055728	$\mu - 2\sigma$	141,522774
$\mu + 3\sigma$	150,708204	$\mu + 3\sigma$	160,416408	$\mu + 3\sigma$	155,215838
$\mu - 3\sigma$	137,291796	$\mu - 3\sigma$	133,583592	$\mu - 3\sigma$	138,784162

Figura 14. Variabilidad operadores Digital Titrator

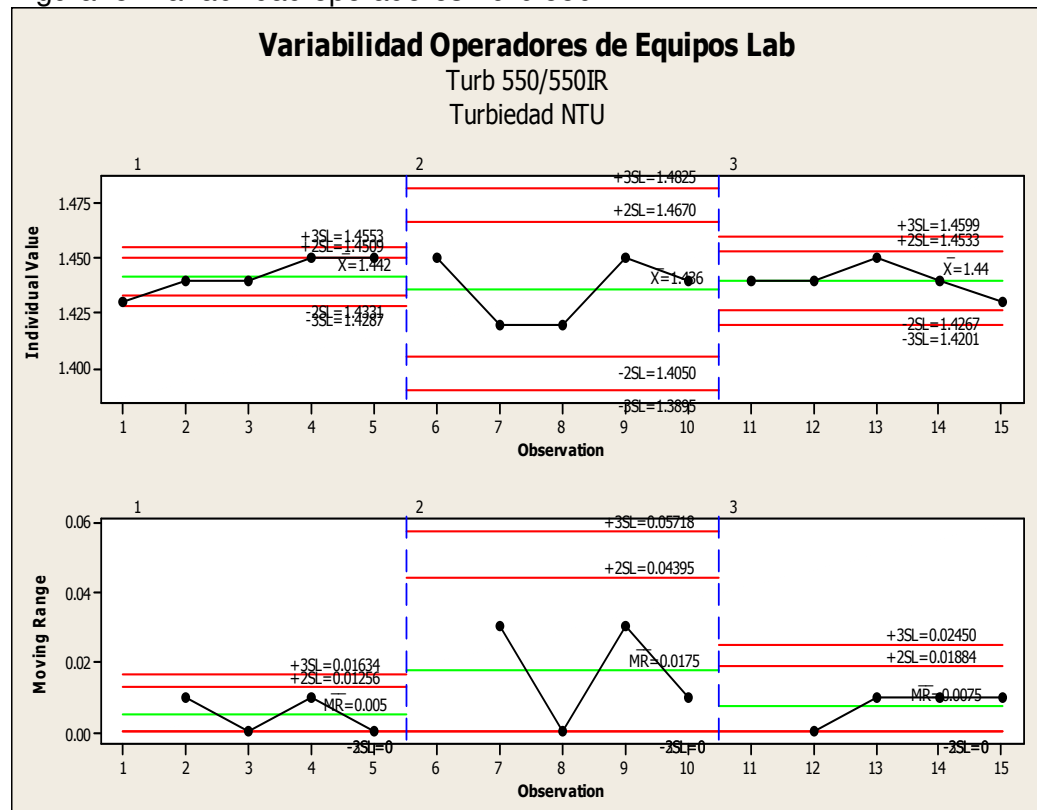


- TURB 550/550IR

Tabla 11. Variabilidad entre operadores Turb 550 en NTU

LAB1		LAB2		LAB3	
1.43		1.45		1.44	
1.44		1.42		1.44	
1.44		1.42		1.45	
1.45		1.45		1.44	
1.45		1.44		1.43	
Σ	0.00837	σ	0.0152	σ	0.00707
Media (μ)	1.4420	Media (μ)	1.436	Media (μ)	1.4400
2σ	1.4509	2σ	1.467	2σ	1.4533
-2σ	1.4331	-2σ	1.405	-2σ	1.4267
3σ	1.4553	3σ	1.4825	3σ	1.4599
-3σ	1.4287	-3σ	1.3895	-3σ	1.4201

Figura15. Variabilidad operadores Turb 550



En lo que respecta al titulador digital se observó que la variabilidad dada por la manipulación del instrumento cambia de forma irregular. Esto se debe a la forma en que se realiza esta medición puede involucrar error humano. El proceso implica que una persona suministre unas gotas de agente reactivo a la muestra hasta que esta cambie de un color rojo a azul. Mediante este proceso es muy factible que puedan suceder eventualidades como gotas demás innecesarias, distracción de la persona manipuladora, etc. La precisión de este equipo depende enteramente de la forma en que se lleve a cabo el procedimiento.

El equipo Turb 550 continua mostrando el mejor comportamiento en lo que tiene que ver con la dispersión de sus medidas. La variabilidad dada por los operadores no es significativa. El equipo sigue dando resultados coherentes y confiables para su correcto registro.

6.3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE EQUIPOS EN SU LUGAR DE OPERACIÓN

Los equipos HACH 1720D determinan la medición de la turbiedad del agua tratada y dependiendo de los resultados que arroje se ejecutan acciones tales como: Revisión del funcionamiento de las bombas dosificadoras de coagulante y floculante, revisión del manto del precipitador, ejecución del sistema de retrolavado de los filtros. Lo que se pretende es determinar la precisión del instrumento, determinar que variables del proceso puedan afectar la medida y llevar un seguimiento de su funcionamiento desde la fecha de realización de los procedimientos propuestos hasta la fecha de próxima calibración programada por la UAS de electrónica. La importancia de determinar la confiabilidad de estos equipos se fundamenta en que el caso de un mal funcionamiento repercute directamente en la calidad de agua potable para el consumo de los habitantes y trabajadores del Cerrejón.

Medida de NTU dada por el laboratorio=0,26 NTU

TURBIDÍMETRO HACH 1720d

Especificaciones Técnicas

Exactitud: $\pm 2\%$ de la lectura o $\pm 0,002$ NTU

Repetibilidad: Mejor que el 1% o $\pm 0,002$ NTU

Resolución: 0,001 NTU

Temperatura de Operación recomendada por fábrica: 0°C a 40°C

Tabla 12. Tiempos de respuesta Turbidímetro HACH 1720D

% Step Change	Flow Rate (mL/min)		
	250	500	750
10	2 1/2 minutes	1 1/2 minutes	1 1/4 minutes
50	6 minutes	2 1/2 minutes	2 minutes
90	9 minutes	3 1/2 minutes	3 minutes
99	12 minutes	5 minutes	4 minutes

Fuente: Manual de Operación del turbidímetro Hach 1720D

Tabla 13. Datos tomados con el turbidímetro en el lugar de operación (salida precipitador)

SALIDA DIGITAL NTU	SALIDA ANALOG A mA	HORA DE MEDICIÓN	TEMPERATURA	PERTURBACIONES
0,277	4,04	10:18	34,1	NA
0,231	4,04	10:21	34,4	NA
0,245	4,04	10:27	34,1	NA
0,243	4,04	10:31	34,1	NA
0,230	4,04	10:34	34,3	NA
0,277	4,04	10:44	34,6	NA

Al equipo se le sometió ruido por radiofrecuencia, se expuso a alta luminosidad y las medidas no se vieron afectadas. El manual del equipo recomienda no mantenerse en lugares donde las condiciones ambientales cambien con frecuencia.

Tabla 14. Estadística del Turbidímetro a la salida del precipitador

Media	0,2505
Error típico	0,00873976
Mediana	0,244
Moda	0,277
Desviación estándar	0,02140794
Varianza de la muestra	0,0004583
Rango	0,047
Mínimo	0,23
Máximo	0,277

De los análisis estadísticos se puede observar que una medida de turbiedad de este equipo puede oscilar entre $\pm 0,021$ NTU lo cual es un valor que no afecta la decisión del operador de planta de agua.

ERROR CON RESPECTO A MEDIDA DEL LAB: 3,8%

Desv. Estándar = 0,02140794 NTU

Gráficos de Control

Figura 16. Variabilidad Turb 1720D Salida del precipitador

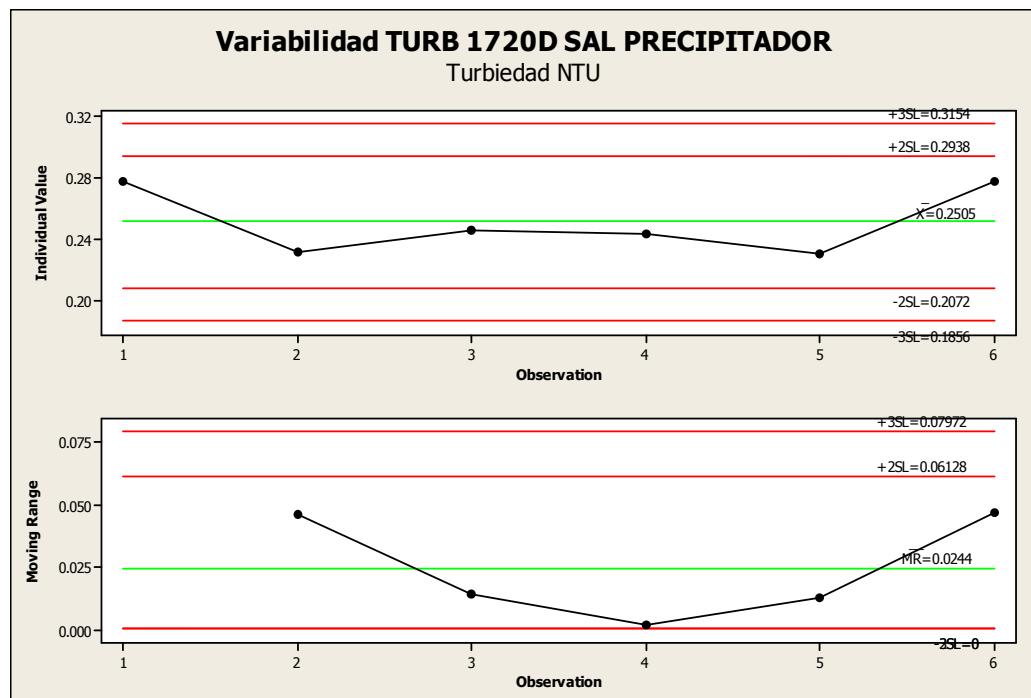
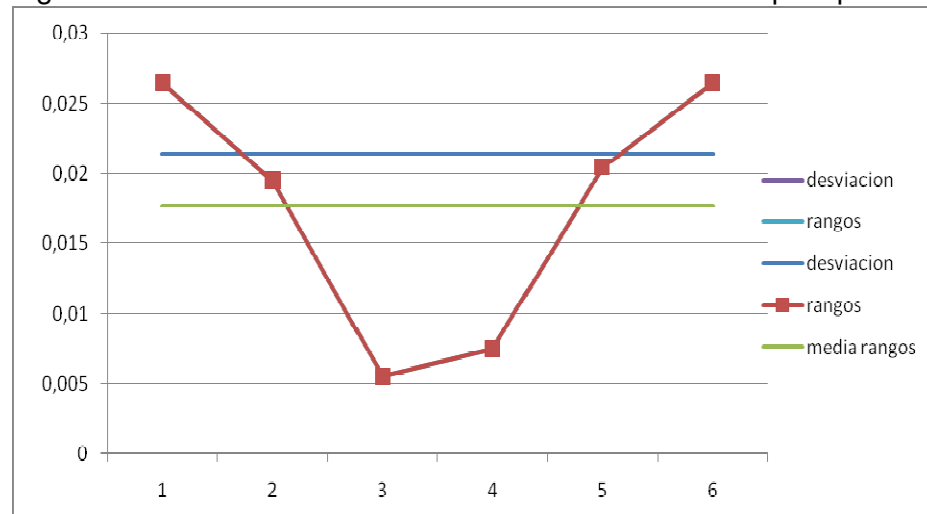


Figura 17. Desviación Media Turbidímetro a la salida del precipitador



Revisión de mantenimiento

En el momento de mantenimiento la manguera de muestreo se encontraba totalmente tapada por cal. La tubería de alimentación a dicha manguera se encontraba parcialmente obstruida emitiendo un flujo incapaz de llegar al cuerpo del turbidímetro donde se realiza la medición. En el momento de mantenimiento se corrigieron estos inconvenientes además de realizar una limpieza al cuerpo del turbidímetro, fotocelda.

Luego de dos días de haber realizado este mantenimiento el flujo en el cuerpo del turbidímetro se encuentra nuevamente taponado. La conexión entre la tubería y la manguera de muestreo estaba taponada por cal impidiendo el flujo hacia el turbidímetro. Además se encontró cal depositada en el fondo del turbidímetro.

Este equipo presenta un bloqueo en el software de tal forma que no permite ajustar la calibración.

Tabla 15. Datos tomados con el turbidímetro en el lugar de operación (salida filtros)

SALIDA DIGITAL NTU	HORA DE MEDICIÓN	TEMPERATURA	PERTURBACIONES
0,249	11:30	36,6	NA
0,252	11:45	36,6	NA
0,25	11:50	36,6	NA
0,261	11:58	35,5	NA
0,265	12:05	35,5	NA
0,245	12:12	34,6	NA
0,24	12:24	34,6	NA
0,249	12:32	34,6	NA

Al equipo se le sometió ruido por radiofrecuencia, se expuso a alta luminosidad y las medidas no se vieron afectadas. El lugar de operación está protegido contra incidencia directa del sol.

Tabla 16. Estadística turbidímetro salida de filtros

Media	0,251375
Error típico	0,00287189
Mediana	0,2495
Moda	0,249
Desviación estándar	0,00812294
Varianza de la muestra	6,5982E-05
Rango	0,025

Este equipo tiene una precisión $\pm 0,008\text{NTU}$ lo cual es una gran precisión y no afecta en absoluto la decisión del operador de la planta de agua.

ERROR CON RESPECTO A MEDIDA DEL LAB: 3,8%

Gráficos de control

Desv. Estándar = $0,00812294\text{ NTU}$

Figura 18. Variabilidad Turbidímetro Salida de Filtros

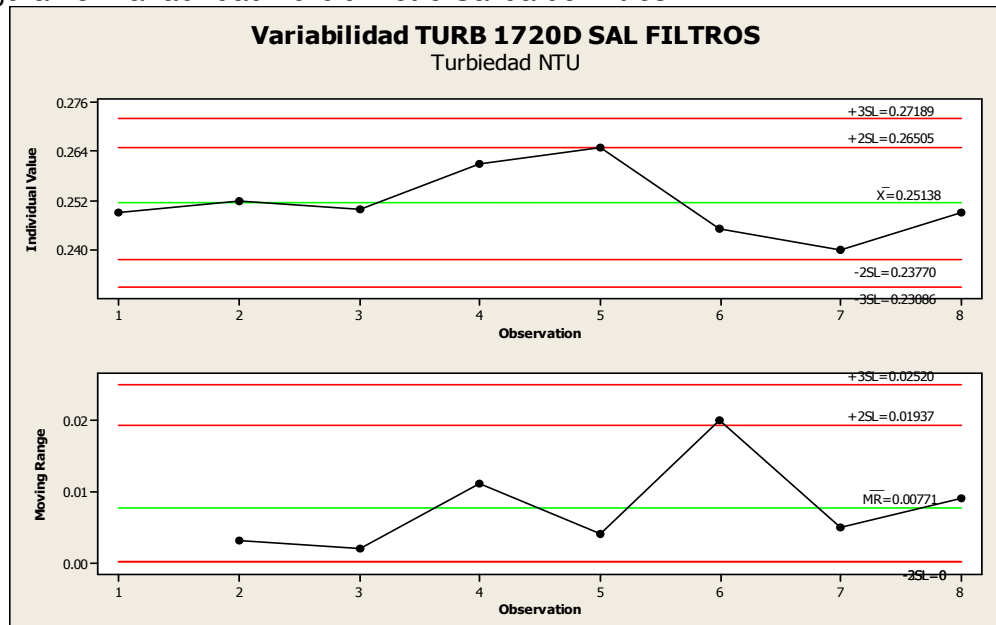
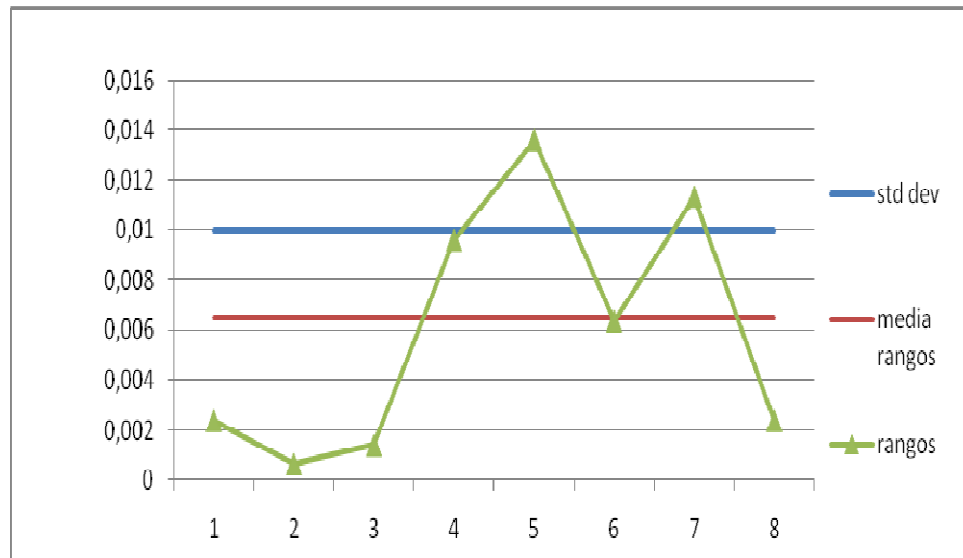


Figura 19. Desviación media TURBIDÍMETRO salida de filtros



Revisión de mantenimiento

En el momento del mantenimiento el equipo no presentaba flujo alguno lo cual impide que se puedan realizar lecturas del agua circundante. La manguera no se encontraba taponada lo cual implica que el problema surge de la tubería de donde llega el flujo de muestreo. Aumentando el flujo entrante al turbidímetro se solucionó el problema temporalmente. Luego de una nueva revisión en el mismo día el equipo se encontraba nuevamente sin flujo. Se debe tener en consideración que dependiendo del flujo por el cuerpo del turbidímetro se tendrá una mayor rapidez de respuesta, ninguna respuesta, y en caso de un flujo que exceda la capacidad del equipo puede llegar a poner en corto la alimentación de la lámpara.

RECOMENDACIONES

Se debe revisar diariamente el estado de los equipos y realizar mantenimiento cuando se requiera para asegurar la veracidad de la medida. es necesario determinar la causa de variación del flujo de muestreo en el cuerpo de los turbidímetro a la salida del precipitador, a la salida de los filtros y a la salida del tanque 211 para asegurar que no se produzca estancamiento o sobreflujo que pueda perjudicar la medida o el equipo.

El flujo a través del cuerpo del turbidímetro debe mantenerse a una rata de 750 ml/min con el fin de asegurar una respuesta más rápida del sistema.

Se debe especificar a operadores de la planta de agua el estado en que deben mantenerse los equipos para su correcto funcionamiento, así como reafirmar la importancia de la revisión diaria de estos equipos para la toma de decisiones del mantenimiento de las bombas dosificadoras coagulante y floculante, de los filtros y precipitador.

6.3.7 ANALYZER CONTROLLER

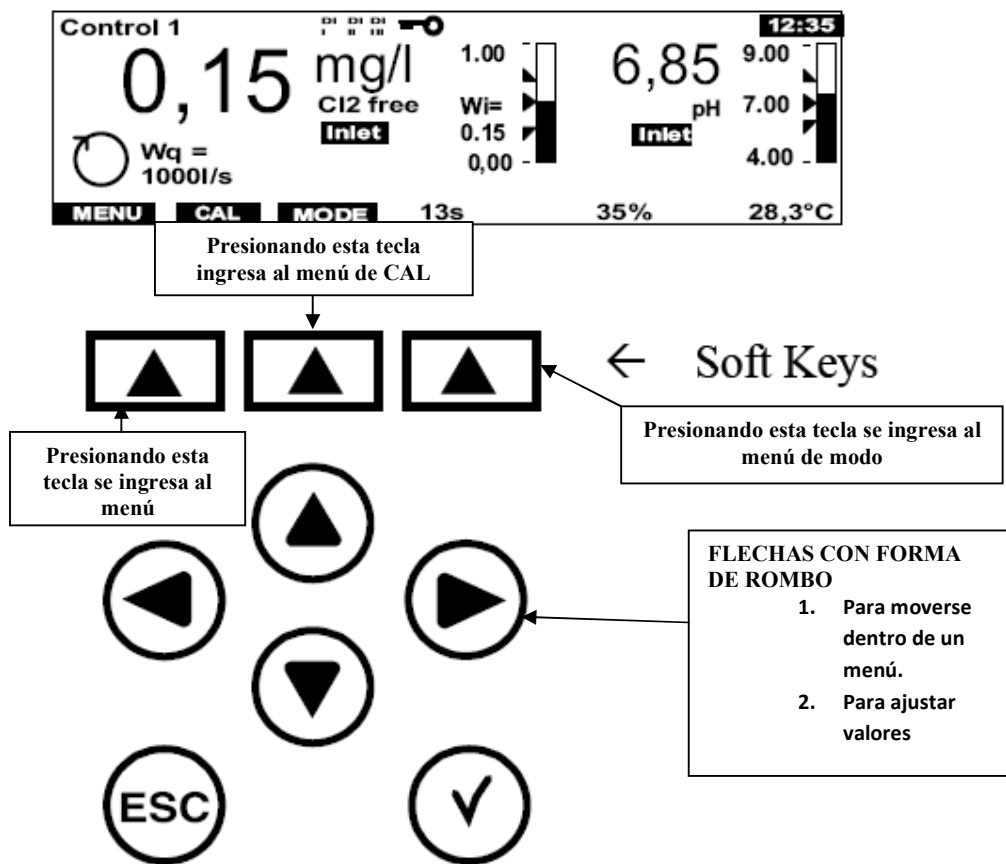
FIGURA 20. MFC ANALYZER CONTROLLER



- A DEPOLOX
- B SENSORES
- C CONTROLADOR

FUENTE: MANUAL DEL MFC ANALYZER CONTROLLER

Figura 21. MENU PRINCIPAL MFC ANALYZER CONTROLLER



FUENTE: MANUAL DEL MFC ANALYZER CONTROLLER

Calibración del cero para Cloro libre (Se debe realizar cuando el equipo se salga de parámetros de calibración con frecuencia)

1. Se debe cerrar la válvula de entrada al Depolox
2. Ingresar al menú Cal mostrado en el indicador del equipo
3. Seleccionar la opción CL2free del menú Cal presionando la flecha correspondiente al enter.
4. Se debe seleccionar la opción cal zero presionando la flecha correspondiente a enter y esperar hasta que el indicador de corriente del sensor en microamperios no varíe por lo menos un minuto.

5. Luego de esto se debe ingresar el valor correspondiente al cero en caso que sea distinto al mostrado en pantalla presionando nuevamente la flecha correspondiente a enter.
6. Se debe salir del menú de Cal usando la flecha correspondiente a BACK.
7. Se debe esperar por los menos 5 minutos y luego realizar el ajuste de Span

Calibración del SPAN para cloro libre (Esta calibración se debe efectuar diariamente)

1. Ingresar al menú Cal mostrado en el indicador del equipo
2. Seleccionar la opción CL2free del menú Cal
3. Se debe seleccionar la opción cal span presionando la flecha correspondiente a enter.
4. Medir con el colorímetro DR 890 el valor de cloro libre del flujo saliente del Depolox
5. Luego de esto se debe ingresar el valor correspondiente medido con el colorímetro al MFC Analyzer controller en caso que sea distinto al mostrado en pantalla. Moviendo las flechas que se encuentra en el centro en forma de rombo su mueve hacia la derecha e izquierda del valor dado en 0,00 mg/L y con las flechas hacia arriba y hacia abajo se modifica el valor para ingresar el requerido.
6. Cuando se ha cuadrado el valor deseado se presiona la flecha correspondiente al enter.
7. Se debe salir del menú de Cal usando la flecha correspondiente a BACK.

Calibración PH (Esta calibración se debe efectuar semanalmente)

1. Ingresar al menú Cal mostrado en el indicador del equipo
2. Ingresar a la opción PH del menú Cal
3. Se debe ubicar en la opción Cal PH7 y presionar enter
4. Se debe sacar el sensor de PH del Depolox y enjuagar con agua destilada
5. Se debe introducir el sensor de PH en una solución patrón de PH de 7.
6. Cuando se haya estabilizado la señal del sensor se debe presionar la tecla enter para que tome el valor de 7.
7. Se debe presionar la flecha correspondiente a la opción back.
8. Rociar el sensor de PH con agua destilada
9. Se debe ubicar en la opción Cal PH y presionar enter
10. Se debe sumergir el sensor de PH en una solución patrón de PH de 4.
11. Cuando se haya estabilizado la señal del sensor se debe presionar la tecla enter para que tome el valor de 4.
12. Se debe presionar la flecha correspondiente a la opción back hasta retornar al menú principal.

CHECK LIST

1. Se debe realizar una medida del nivel de cloro libre con el colorímetro y compararla con la mostrada por el equipo. En caso de encontrarse una diferencia se debe ajustar la calibración del equipo con el span.

2. Se debe revisar que la presión de entrada sea 30 +/- 1PSI
3. Se debe revisar el estado del agua dentro del Depolox (Para esto ayuda cerrar la válvula de entrada ya que con flujo no es fácil ver el estado de la celda)
4. Se debe asegurar que el flujo de salida se encuentre en el rango de 30 a 33 l/h.
5. Se debe revisar que no se presenten fugas en el Depolox y que todo esté perfectamente ajustado.
6. Se debe revisar el nivel de electrolito y la cantidad de arena de la celda semanalmente.
7. Se debe remplazar el electrolito y la arena cada seis meses. **Especificar cantidad**
8. El sensor de PH debe calibrarse semanalmente **mirar procedimiento de arriba**
9. Revisar que en el menú principal no aparezcan los siguientes mensajes de error de operación.

ERROR	CAUSA	SOLUCION
El valor de medida titila	El valor de medida está por fuera de parámetros	Chequear el rango de medida y cambiar si es necesario
DI I titila	Flujo de muestreo insuficiente (Chequear posible taponamiento en el drenado)	Chequear que el flujo dentro del Depolox sea aproximado a 33 L/h Realizar limpieza a los filtros
Se acciona DI II Y DI III	Se accionaron las entradas digitales DI II Y DI III	Revisar la configuración para averiguar la causa de la activación de estas señales (Actualmente no están habilitadas)
Zero pt Mod 1 Zero pt Mod 2 Zero pt Mod 3 Zero pt Mod 4	El sensor de cloro libre tiene corriente de cero mayor a 5 microamperios o menor a -5 microamperios	Puede estar mal seleccionado el voltaje de Upot. Se debe seleccionar el voltaje adecuado. Se debe realizar limpieza a los sensores de cloro libre, cambiar arena si es necesario.

Este equipo actualmente se encuentra controlando la dosificación de la solución de hipoclorito de calcio. El equipo presenta problemas de calibración por lo que las medidas de cloro libre se alejan del valor real. Para solucionar este problema se ha enviado notificación de las condiciones presentadas a los fabricantes del equipo. El equipo presentaba una gran cantidad de sucio en la celda lectora lo que implica que los sensores que miden el cloro también deberían estarlo. La detección del estado de esta celda fue al realizar calibración del cero del equipo. Al inhibir el flujo de la celda el agua inmediatamente cambio a un color café. El equipo consta de una arena que se encuentra en la celda cuya función es mantener limpio los sensores. Debido a

las condiciones en las que se encontraba el agua la arena se había pegado con el sucio hasta el punto de formarse grumos. Debido a esto fue necesario drenar toda el agua del interior de la celda y realizar la limpieza correspondiente. Además fue reemplazada la arena por una nueva libre de suciedad que pueda realizar mejor la función de limpieza a los electrodos que miden el cloro. Según recomendaciones del fabricante se debe calibrar después de un día de hacer el mantenimiento. El equipo funcionó sin problemas siguiendo el valor real de cloro por una semana. La adición de cloro está siendo regulada automáticamente con este equipo y los resultados de la semana en mención muestran una variabilidad del set point máxima de 0,1 mg/L lo cual es plenamente satisfactorio.

Según el fabricante la arena debería ser cambiada cada seis meses, pero debido a las condiciones en que se encontraba la celda no fue posible seguir esta instrucción. Por consiguiente se evaluó la razón por la cual la celda lectora logró llegar a tener tanta suciedad. Se encontró que en la entrada del sensor de PH que trae incorporado el equipo se dejaba un pequeño orificio por el cual se le puede entrar polvo al equipo. Se recomendó implementar un dispositivo para evitar que le entre suciedad al equipo de carácter removible ya que por este orificio se purga el equipo, esto es elimina cualquier presencia de burbujas de aire. Actualmente el equipo requiere de una limpieza semanal para asegurar su funcionamiento

6.3 Programa de Bloqueo y Etiquetado

En lo que corresponde al bloqueo y etiquetado fue recopilada y estudiada toda la información que tiene que ver con el protocolo propuesto por la empresa BHP Billiton. Este consiste en los pasos a ejecutar antes de hacer mantenimiento a equipos en donde la liberación de energía sea potencial, cinética, hidráulica, neumática, eléctrica, etc., pueda ocasionar lesiones al personal que ejecuta el trabajo (Empleados del cerrejón y contratistas). El procedimiento de bloqueo consiste en:

1. Informar al personal involucrado en el área de trabajo que se va a realizar un procedimiento de bloqueo.
2. Apagar el control del equipo que se desea bloquear
3. Realizar corte de energía o aislamiento físico
4. Ubicar tarjeta roja (Indica que el equipo está en mantenimiento o down)
Esta tarjeta es colocada por el supervisor de área o dueño del equipo. La tarjeta roja debe ir con un candado ubicado en un dispositivo de bloqueo con el fin de inhabilitar la posibilidad de activar la fuente de alimentación al equipo. Ubicar la tarjeta blanca que indica que hay personal técnico trabajando en el equipo. Debe haber tantas tarjetas blancas como personas trabajando en el mantenimiento. Además cada técnico posee un candado personal con llave única que acompaña la tarjeta blanca y es ubicado en el dispositivo de bloqueo para impedir la acción de energizar el equipo. Las tarjetas deben indicar el nombre de la persona que está trabajando, la fecha y el trabajo que se está realizando. Se debe comprobar que no haya fuentes residuales de energía como aquellas almacenadas en bancos de condensadores en

generadores y demás equipos que puedan permitir que aun estando el equipo bloqueado libere energía que ponga en riesgo la salud del trabajador.

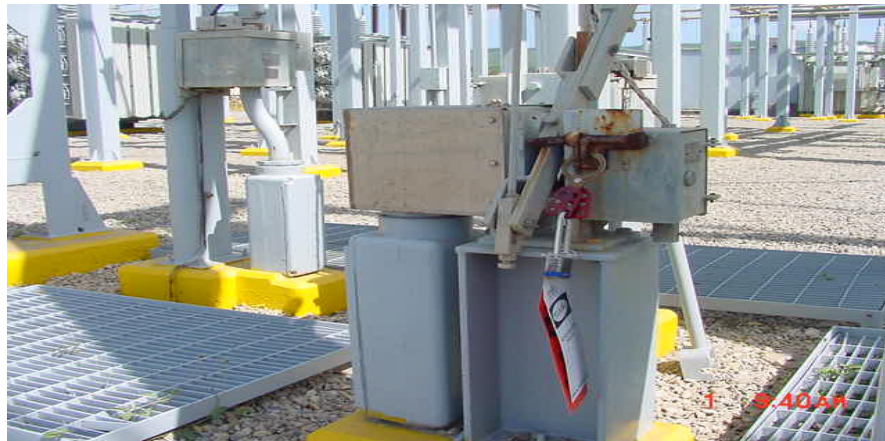
5. Se debe presionar los botones de control para comprobar que el bloqueo fue hecho satisfactoriamente.
6. Se realiza el trabajo
7. Fin de trabajo
8. Se debe avisar que el equipo se va a retirar del estado down a todo personal involucrado.
9. Los trabajadores del equipo deben retirar sus tarjetas blancas y candados personales.
10. El supervisor o dueño del equipo debe retirar la tarjeta roja y candado personal además del dispositivo de bloqueo.
11. Se debe determinar visualmente que no haya nadie en el área de operación del equipo.
12. Se alimenta la energía del equipo y se activa el control del mismo

Se han realizado inspecciones y se han encontrado hallazgos de incumplimiento del procedimiento. Para estos casos se realizan retroalimentación al técnico junto con el supervisor.

En este momento se están mejorando los procedimientos que tienen los departamentos para tareas específicas con el fin de asegurar el bienestar de los técnicos y el cumplimiento del protocolo de aislamiento. Las mejoras consisten en especificar exactamente donde se bloquean los equipos y si es necesario que existan variaciones del procedimiento para hacer el trabajo más seguro.

En lo que corresponde a las inspecciones realizadas al departamento de alta tensión se revisaron los puntos de bloqueo designados en el sistema de redes eléctricas. A continuación se muestran algunos de los puntos de bloqueo ubicados en esta área, para mostrar la correcta aplicación del protocolo:

Figura 22. Puesta a tierra



FUENTE: Fredys Eljach. La Mina. Carbones del Cerrejon Limited. Departamento de alta tensión.

Figura 23. Seccionador de Líneas



FUENTE: Fredys Eljach. La Mina. Carbones del Cerrejon Limited.
Departamento de alta tensión.

Figura24. Disyuntor primario del Transformador



FUENTE: Fredys Eljach. La Mina. Carbones del Cerrejon Limited.
Departamento de alta tensión.

En lo que corresponde a las charlas de etiqueta y candado se observó que la presentación realizada no se amoldaba a las necesidades del personal técnico asistente. Esto es que se limitaban a difundir el procedimiento general de etiqueta y candado sin tener en cuenta los procedimientos específicos que aplican los técnicos en sus respectivos trabajos. Se hizo la recomendación de investigar los procedimientos de etiqueta y candado realizados por los técnicos en sus respectivas tareas con el fin de incluir en las diapositivas fotos y ejemplos acorde con los trabajos del día a día. Esto se debe hacer para el personal de los distintos departamentos. Además es necesario valorar que tan efectivo es el procedimiento actualmente planteado y realizar los procedimientos en caso que no existan para tareas específicas.

6.5 Consumo de Químicos

Los resultados del análisis del consumo de químicos demostraron la irregularidad en que se están gastando los insumos para el tratamiento del agua potable. Es necesario estandarizar la dosificación de estos químicos para lograr un menor consumo de los mismos así como para reducir la variabilidad de los parámetros. Es evidente que si existe una variabilidad irregular en la dosificación existirá una similar en los parámetros del agua potable. En este momento el proyecto si sigma se encuentra en la etapa analizar, dependiendo de las decisiones que se tomen se realizarán las mejoras necesarias.

6.6 Curso en funcionamiento de la planta de fuerza del campamento

En lo que corresponde a la planta de fuerza del campamento el estudiante realizó un curso teórico práctico de la implementación de un nuevo sistema automatizado para la activación de los generadores de energía que alimentan al campamento ante cualquier eventualidad de fallas en la red. La activación de los generadores es comandada por el controlador Woodward EGCP-2. El controlador espera 30 segundos de ausencia de red y si en este tiempo no ha retornado la energía envía una señal a un PLC con el fin de sacar los alimentadores de red. En un acto seguido el sistema automático da la orden de arranque a los generadores sincronizando primero uno de ellos en barra muerta y luego sincroniza los demás con el primero en barra viva. Cuando se encuentran todos sincronizados el PLC da la orden de cierre del circuito para que el sistema de generadores alimente el campamento.

El EGCP-2 contiene un sistema de administración de cargas, es decir, con el fin de no gastar más energía de la necesaria, el observa la demanda de carga y con respecto a esta saca o mete generadores. Si los generadores están trabajando por debajo del 40% de su capacidad el EGCP-2 da la orden de sacar generadores, mientras que si los generadores se encuentran trabajando por encima del 70% de su capacidad se da la orden de meter generadores para suplir la demanda. En el momento de restablecimiento de la energía de la red el sistema automático detecta la presencia de esta y el PLC da la orden de sincronismo de la red con el sistema de generación de energía, con esto

evitando un segundo apagón. Luego de este sincronismo el EGCP-2 da la orden para sacar los generadores uno a uno.

Conclusiones

El trabajo seguro debe ser un pilar para cualquier empresa o institución ya que se pone en juego la vida de una persona. Además el tener una persona incapacitada es una pérdida de horas laborales lo cual también perjudica en cantidad a la empresa. El reconocer que punto es designado de bloqueo es una labor vital para asegurar el trabajo seguro. Es de suma importancia que todos los puntos aptos de bloqueo estén rotulados y especifiquen que es lo que están desenergizando con el fin de asegurar que se inhabilite el equipo correcto. En la empresa se está trabajando actualmente en mejorar y difundir a nivel de toda la mina estos procedimientos de bloqueo a sus empleados y contratistas. Se han detectado equipos subestandar los cuales estarán pronto en inventario para su futura estandarización. Se debe revisar que en todos departamentos tengan a la mano en sus bodegas dispositivos de bloqueo para facilitarle a su personal de mantenimiento, que no ocurra un accidente por falta de uso del dispositivo adecuado. La difusión de la cartilla y las charlas sobre bloqueo a los trabajadores serán un arma para cumplir con los objetivos de mejorar la seguridad de los empleados, acompañado de rutinas de inspección y detección de equipos subestandar.

Lo que tiene que ver con los equipos en línea se encontró lo siguiente:

El Turbidímetro a la salida del precipitador demostró tener una precisión de ± 0.021 NTU. Este equipo aunque mostró estar dentro de parámetros de calibración dada su variabilidad es necesario correr el programa de ajuste de calibración. Se escribió a HACH solucionar el problema del bloqueo en el software que permite la calibración. El equipo se encuentra actualmente calibrado y revisado por el técnico representante HACH.

El equipo ha tenido un mal desempeño en su funcionamiento debido a que en repetidas ocasiones se veía interrumpido el flujo de muestreo por el cuerpo del Turbidímetro. Es necesario establecer una rutina de revisión y mantenimiento según criterio del analista, de las mangueras, tuberías de muestreo, el cuerpo del Turbidímetro para asegurar la veracidad de la medida. Además es necesario realizar un entrenamiento a los operadores de la planta con el fin que estén familiarizados con el equipo en su funcionamiento y respectivo mantenimiento.

Dado que se requería el uso de la lámpara del equipo para el Turbidímetro a la salida de filtros, se encuentra actualmente este instrumento fuera de servicio.

El Turbidímetro a la salida de los filtros mostró tener una gran precisión al obtener un nivel de dispersión de la medida de solo ± 0.008 NTU. El error de calibración que se estaba presentando fue solucionado cambiando la lámpara del cuerpo del Turbidímetro. Recientemente el bombillo se había quemado debido al cambio de flujo de muestreo. Se debe revisar las causas de los

cambios en el flujo por el Turbidímetro ya que de este depende tanto que se tenga una lectura rápida y apropiada del valor de turbiedad en el agua, así como la integridad del equipo.

El estudiante realizó el estándar de revisión de los equipos con Check List con el fin de asegurar que se mantengan funcionando de forma óptima. Actualmente está en proceso de aprobación del estándar.

En lo que respecta a los equipos de laboratorio se encontró lo siguiente:

La variabilidad presentada por los equipos del laboratorio no perjudica la decisión del operador de la planta de agua. Sin embargo por mostrar valores de variabilidad mayores a los especificados de fábrica se realizaron los respectivos ajustes de calibración a los equipos Colorímetro DR/890 y espectrofotómetro DR/4000U. Estos quedaron funcionando correctamente y se consideran confiables para el proceso de medición.

El equipo MFC Analyzer Controller no se considera confiable para la operación, es de suma importancia mantener un seguimiento permanente y realizar ajuste de calibración cuando sea necesario. El periodo de funcionamiento correcto después de una limpieza es de una semana, lo que implica que para que el equipo funcione de forma correcta se le debe hacer el respectivo mantenimiento semanal.

BIBLIOGRAFÍA

UNIVERSIDAD OBERTA DE CATALUNYA. GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES. Disponible el 24 de enero del 2008.
www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_3.pdf

TURB 1720D HACH, Manual de Operación

MFC ANALYZER CONTROLLER SIEMENS, Manual de Operación.

COLORÍMETRO HACH DR/890, Manual de Operación.

ESPECTROFOTÓMETRO HACH DR/4000U, Manual de Operación.

TURBIDÍMETRO WTW TURB 550/550IR, Manual de Operación

TITULADOR DIGITAL HACH, Manual de Operación

Carbones del Cerrejón Limited. Inducción Básica a la compañía.

Carbones del Cerrejón Limited, Manual de Operación de Planta de fuerza del campamento.

Carbones del Cerrejón Limited, Manual de Operación de Planta de Agua.