



# Reporte Final de Estadía

Sandra Escobar Palacios

Análisis del control en el proceso de  
refinería



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo  
Ingeniería en Procesos Bio-Alimentarios

Reporte para obtener título de  
Ingeniero en Procesos Bio-Alimentarios

Proyecto de estadía realizado en la empresa  
Ingenio San Nicolás S.A de C.V

Nombre del proyecto  
Análisis del control en el proceso de refinería

Presenta  
T.S.U Sandra Escobar Palacios

Cuitláhuac, Ver., a 17 de Abril del 2018



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo  
Ingeniería en Procesos Bio-Alimentarios

Nombre del Asesor Industrial  
Ing. Miriam Rosalina Juárez Espinoza

Nombre del Asesor Académico  
MC. Ismael Alatraste Pérez

Jefe de Carrera  
MC en IBQ. Darney Citlali Martínez Díaz

Nombre del Alumno  
T.S.U Sandra Escobar Palacios

## Índice

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN.....	5
1.1.- Estado del arte.....	3
1.2.-Plantamiento del problema .....	4
1.3.- Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2.-Objetivos específicos.....	5
1.4.- Definición de variables.....	6
1.5.- Hipótesis .....	7
1.6.-Justificación .....	8
1.7.- Limitaciones y alcances.....	9
1.8.- La empresa Ingenio San Nicolás S.A de C.V .....	10
1.9.- Misión .....	10
1.10.-Visión.....	10
1.11.- Valores.....	10
1.12.- Alcance del sistema de gestión de calidad e inocuidad .....	10
1.13.-Objetivos de calidad e inocuidad .....	10
1.14.-Política de seguridad e Higiene.....	11
1.15.-Política de calidad e inocuidad.....	11
CAPITULO 2.-METODOLOGIA .....	12
2.1-Diagrama de flujo.....	12
2.2-Descripción de la metodología .....	13
2.3-Pasos para realizar un Informe del Capability Sixpack del proceso. ....	15
CAPITULO 3.-DESARROLLO DEL PROYECTO .....	16
3.1.-Descripción general de elaboración de azúcar refinada .....	16
3.2.-Graficas de la etapa de tratado de Diciembre, Enero y Febrero 2017-2018. ....	20
3.3.-Graficas de la etapa de clarificado de Diciembre, Enero y Febrero 2017-2018.....	23
3.3.-Graficas de la etapa de decolorado de Diciembre, Enero y Febrero 2017-2018.....	26



CAPITULO 4. RESULTADOS .....	28
5.1.-Recomendaciones.....	32
6.-Bibliografía .....	33

## Tabla de ilustraciones

Figura 1.-Diagrama de flujo de metodología. ....	12
Figura 2.-Imagen de pasos para graficar "Capability Sixpack" .....	15
Figura 3.-Imagen de distribución normal "Capability Sixpack" .....	15
Figura 4. Diagrama de proceso de elaboración de azúcar refinada.....	19
Figura 5.- Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	20
Figura 6.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	21
Figura 7.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	22
Figura 8.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	23
Figura 9.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	24
Figura 10.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	25
Figura 11.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	26
Figura 12.Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal. ....	27
Figura 13.Diagrama de causa-efecto del color durante el tratado .....	28
Figura 14. Diagrama de Causa-Efecto de clarificado.....	29

## Resumen

Ingenio San Nicolás S.A de C.V. se encuentra en la Congregación los Cobos, carretera hacia Cuichapa. Actualmente elabora azúcar refinada, moscabada y estándar al mismo tiempo, siendo la refinada la que se produce en mayor cantidad. Para elaborar azúcar refinada el proceso se divide en dos fases “crudo” y “refinería. La fase de refinería depende de la calidad de azúcar que se obtiene en crudo. Ingenio San Nicolás tienen presente lo importante que es tener controlado un proceso por ello se presenta la evaluación de las etapas de tratado (color), clarificado (fosfatos residuales) y decolorado (color) durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero de la zafra 2017/2018 con una herramienta de calidad (Capability Sixpack) que determina gráfico Xbarra, gráfico S, Dispersión del histograma, Histograma de capacidad, gráfica de probabilidad normal y capacidad del proceso en un resumen. Lo que permite tener un panorama de la dispersión de datos y observar si los datos se encuentran fuera de los límites superiores e inferiores. Durante el desarrollo de este proyecto se observó que existen puntos fuera de control en las etapas de tratado y clarificado, siendo la decoloración del licor la etapa que se mantuvo en control durante los meses analizados. Mediante un diagrama de causa y efecto para las etapas de tratado y clarificado se encontraron las causas a las cuales se les atribuye la variación de las etapas. Para la etapa de tratado se determinó que el color alto es causado por la fase de crudo ya que este depende del tratamiento que se le da en esta fase así como de la cantidad de impurezas que se eliminan.

En la etapa de clarificado se encontró que la cantidad de residuo de ácido fosfórico en el licor se debe a que durante la aireación se rompen los floculos ocasionando una revoltura en las partículas del precipitado con licor clarificado lo que ocasiona que al generarse la torta de lodos no se elimine por completo el ácido y pase a la siguiente etapa en el material. Se recomienda tomar muestras periódicamente del clarificado para verificar que se obtenga limpio y sin burbujas de aire. En el tratamiento químico el ácido fosfórico debe agregarse cuando el tanque contiene fundido por encima de la mitad de su capacidad.

## **CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN**

En México la caña se aprovecha para la producción de azúcar, como fruta, forraje y para la producción de piloncillo o panela. La caña de azúcar se produce en diversos climas, suelos y condiciones culturales en 14 regiones en 15 entidades federativas del país. El cultivo se sitúa entre los 37° de latitud norte y los 31° de latitud sur. Se encuentra en las costas del Océano Pacífico y del Golfo de México. Los estados con principal producción son Campeche, Chiapas, Colima, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. El estado de Veracruz constituye la entidad federativa más importante de la agroindustria de la caña de azúcar a nivel nacional. De los 58 ingenios que operan en la actualidad 22 se encuentran en el estado de Veracruz y el Ingenio San Nicolás S.A. de C.V. se encuentra en la congregación los Cobos, municipio de Cuichapa, estado de Veracruz.

El Ingenio San Nicolás S.A. de C.V. se dedica a la elaboración de azúcar refinada, próximamente estándar y moscabada. Cuenta con un proceso general para la elaboración de azúcar refinada que consta de dos clasificaciones crudo y refinería: la primera; troceado, molienda, pesado de jugo, alcalizado, clarificado, evaporado, cristalizado, centrifugado, secado y la segunda fundido, clarificado, decolorado, evaporado, cristalizado, centrifugado, secado, envasado y almacenado.

Para Ingenio San Nicolás es importante mantener el control de proceso lo más cerca posible de los límites mínimos y máximos con el fin de seguir obteniendo un producto final conforme. Los parámetros controlados más comúnmente son °Brix, pureza, pH, fosfatos, fosfatos residuales, pol, temperatura, entre otros. Para conocer que tan eficiente es el proceso en la etapa de refinería se plantea concentrar los datos obtenidos durante 3 meses de las diferentes áreas de refinería en las que sus datos sean cuantitativos durante los tres turnos para encontrar cualquier punto que rebase los límites inferiores o superiores con el fin de encontrar las posibles mejoras para optimizar el proceso.

El proceso de refinería tiene involucrado consigo etapas donde se monitorean diferentes parámetros, se da tratamiento químico, se clarifica el jugo proveniente del fundidor, se decolora, se concentra, se cristaliza, se da secado al azúcar, entre otros, todo esto influye de manera directa en la calidad del producto terminado por ello la importancia de monitorear las diferentes variables según la etapa; como lo son °Brix, pH, fosfatos,



fosfatos residuales, decolorado, temperaturas entre otros y con ello observar el comportamiento y funcionamiento de las diferentes etapas.

Se pretende aplicar un análisis estadístico con los resultados obtenidos en el monitoreo de las variables del proceso de refinería.

## 1.1.- Estado del arte

Blanco & Guevara (2015). Se evaluó el proceso tecnológico azucarero en las diferentes etapas del procesamiento de azúcar crudo y refinado manufacturado en el ingenio San Antonio. Se basó en un estudio analítico-experimental estableciendo una relación causa-efecto a través de la observación, experimentación y correlación de todas las variables medidas en el proceso, en el cual se analizaron las siguientes etapas: extracción, purificación, evaporación, cristalización, centrifugación y refinación, determinándose los siguientes análisis: °Brix, sacarosa, Pureza, pH, Glucosa, Sedimentación, Humedad, Ceniza, Color y Temperatura. Los resultados se analizaron con gráficos de control y compararse con parámetros u/o estándares de proceso azucarero, se estableció la relación de variables a través de un análisis estadístico de correlación y regresión. Se encontró que el proceso reflejó variaciones en cada una de las etapas en estudio, esto en consecuencia del manejo inadecuado de los equipos y por no cumplir con los parámetros de control.

Rojas (2014) Análisis del proceso de sulfitación en la etapa de clarificación en el proceso sustentable de fabricación de azúcar, se realizó la caracterización química de jugos y del producto final (azúcar). Se midió la concentración de sacarosa, claridad del jugo clarificado y pureza del guarapo, controlándose los principales factores de que depende el proceso (°Brix, Pol, Ph, claridad en jugos) y color ICUMSA en producto final. A partir de los datos obtenidos, se evalúan mediante una situación numérica en el software MATLAB, se presentó el uso de herramientas computacionales con entorno gráfico, abordándose el problema de análisis.

Roulet (2014). Evaluación del porcentaje de remoción de color y turbidez de un clarificador tipo Talofloc en una refinería de azúcar. Se evaluó el comportamiento del clarificador tipo Talofloc en función de los términos de remoción de color y turbidez del licor clarificado, se tomaron 60 días de operación con 6 muestras de cada uno de los materiales, obteniendo 360 datos que representa el 50% de los días de fabricación de azúcar refinado de la zafra 2013-2014. Después de graficar las variables, se determinó que la recirculación de jarabe disminuye la remoción de color y de turbidez del licor clarificado.

## **1.2.-Plantamiento del problema**

El Ingenio San Nicolás S.A. de C.V se dedica a la elaboración de azúcar refinada y este clasifica el proceso en crudo y refinera, de acuerdo a datos históricos este tiende a tener variaciones notorias en los parámetros de control de la parte de refinera, esta consta de las siguientes etapas fundido de azúcar, tratamiento químico, calentamiento primario, clarificación de refinado, calentamiento secundario, decoloración de licor clarificado, concentración de licor, cristalización de refinado, centrifugación de refinado, almacenamiento de azúcar húmeda, secado de azúcar, enfriador de azúcar, barras magnéticas, acondicionamiento de azúcar y envasado. Se plantea elaborar un estudio estadístico para conocer las posibles variaciones y la significancia que tengan estas sobre la calidad de producto final. Se considera evaluar los datos obtenidos durante el mes de Diciembre, Enero y Febrero de la zafra 2017-2018 de las etapas de fundido de azúcar (ph, °Brix y color ICUMSA), tratamiento químico (pH y fosfatos), clarificación de refinado (fosfatos residuales, °Brix y color ICUMSA) y decoloración de licor clarificado (pH, °Brix y color ICUMSA) con la medición de un Cpk y en caso de haber variaciones aplicar un R&R para saber más a detalle a que causa se atribuyen las variaciones con el fin de poder realizar las recomendaciones para las mejoras del proceso de ser necesarias.

## **1.3.- Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar los parámetros de control en la etapa de refinería del Ingenio San Nicolás S.A de C.V para la obtención de azúcar refinado durante la zafra 2017-2018.

### **1.3.2.-Objetivos específicos**

- Identificar el departamento y definir los parámetros de control a monitorear en la etapa de refinería.
- Recolectar datos de los parámetros a evaluar del proceso durante los meses de Diciembre, Enero y febrero (zafra 2017/2018) de los 3 turnos.
- Aplicar la herramienta de calidad (Cp) con los datos obtenidos de los parámetros monitoreados durante Diciembre, Enero y Febrero de la zafra 2017/2018 para conocer la distancia del objetivo al límite de especificación más cercano (LES o LEI) y la dispersión del proceso con base a la desviación estándar dentro del subgrupo.
- Interpretar mediante el análisis de calidad la variabilidad del proceso y de ser necesario aplicar un diagrama de pescado para encontrar las causas a las cuales se atribuyen las variaciones.
- Realizar la conclusión y las recomendaciones para mejoras del proceso.

## 1.4.- Definición de variables

Se medirán los siguientes parámetros como variables

°Brix: representa el peso en sacarosa pura en solución. En la industria azucarera se le considera como el porcentaje de sólidos disueltos y en suspensión, en las soluciones impuras de azúcar.

pH: Es la expresión de la intensidad de la acidez o alcalinidad de una solución. (Potencial de hidrógeno), se basa en la medición de la concentración de los iones hidrógeno empleando el logaritmo de la inversa de dicha concentración.

Fosfatos residuales: La claridad obtenida por el tratamiento con fosfatos elimina el color hasta un 30%(dependiendo de la cantidad de  $P_2O_5$  usado).

Color ICUMSA (decoloración): Valor del Índice de absorbancia multiplicado por 1000. Los valores que resultan se denominan unidades ICUMSA (IU) a pH 7,0 ( $IU_7$ ). Remoción de material que aporta color en forma de coloides por medio de separación por adsorción filtración.

Temperatura: Es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. La suma de las energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica; y la temperatura es la medida de esa energía promedio.

Se aplicara la medición de las variables de las siguientes etapas del área de refinería

Fundido (°Brix): El azúcar lavado se disuelve en aproximadamente la mitad de su peso en agua en un tanque conocido como fundidor provisto de un dispositivo para mezclar, mientras se le aplica vapor de escape para facilitar la formación de la solución. Para el fundido se utilizan las llamadas aguas dulces.

Tratamiento químico y clarificación refinería (Fosfatos y fosfatos residuales): Los polifenoles de hierro que dan un color café-verdoso al licor del crudo lavado son eliminados en el tratamiento con fosfatos. Una vez fundido el azúcar es pasado a los tanques de tratado agregándole cal para elevar el pH hasta 6.8 ó 7.0, y se le agrega ácido fosfórico, calentándolo a una temperatura de 90°C.

Decoloración de licor clarificado (color ICUMSA): La decoloración es resultado de un mecanismo de absorción, para esto se utiliza carbón activado granular que posee pequeños poros que retienen las impurezas causantes del color en el azúcar. El licor filtrado de color oscuro pasa por columnas llenas de carbón, bobeándose a la parte superior de las columnas saliendo el licor completamente incoloro por el fondo de los percoladores. El rango de color que se maneja es de 100-250 ICUMSA.

## 1.5.- Hipótesis

Hipótesis nula ( $H_0$ ):

No existe variación significativa en la evaluación de los parámetros que se monitorean en las etapas de refinería; fundido, tratamiento químico, decoloración, durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero de la zafra 2017/2018 que afecten la calidad del producto final.

Hipótesis nula ( $H_1$ ):

Existe variación significativa en la evaluación de los parámetros que se monitorean en las etapas de refinería; fundido, tratamiento químico, decoloración durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero de la zafra 2017/2018 que podría afectar la calidad del producto final, por ello se debe aplicar un estudio que pueda determinar las causas de las variaciones en los parámetros monitoreados.

## 1.6.-Justificación

El ingenio San Nicolás busca la mejora continua, así como la detección de etapas que presenten deficiencias, de acuerdo a datos históricos se encontró que había variaciones notorias en cuanto a los resultados que se obtenían de las diferentes etapas de refinado y se busca establecer un análisis estadístico para determinar si esas variaciones afectan la calidad final de producto terminado. Se propone recolectar los datos obtenidos durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero de la zafra 2017-2018 con el fin de observar la variabilidad existente durante tres meses en los diferentes turnos. La refinería engloba diferentes etapas de las cuales se analizarán fundido de azúcar, tratamiento químico y decoloración de licor clarificado de los resultados que se obtengan durante los tres meses se analizarán con un estudio Capability Sixpack. El programa minitab permite realizar el análisis de capacidad basados en la distribución normal o en la distribución Weibull. La opción basada en el modelo normal nos proporciona un mayor número de estadísticos, si bien para usar esta opción es necesario que los datos originales sigan una distribución aproximadamente normal. El resumen (Sixpack) de capacidad normal combina los siguientes gráficos junto a diversos índices de capacidad:

- X-barra(o individuales), R(o MR) y gráfico de rachas, a partir de los cuales se estudia si el proceso está o no bajo control.
- Un histograma de capacidad superpuesto a una curva normal, a partir del cual podemos analizar si se cumple la hipótesis de normalidad.
- Un gráfico de capacidad, el cual muestra la variabilidad del proceso comparándola con las especificaciones.

Con la interpretación de las gráficas se sabrá si existen variaciones en el proceso y con ello realizar las observaciones necesarias para implementar las mejoras en el proceso.

## 1.7.- Limitaciones y alcances

- Se espera realizar recomendaciones para el mejor funcionamiento de la etapa de refinado en el fundido, tratamiento químico, clarificado de refinado y decolorado con el fin de mantener en control el proceso y evitar tener problemas en el producto final como producto no conforme.
- Se analizarán los datos que se obtengan en las áreas a revisar mediante un análisis de capacidad (Cpk para realizar una medición de la capacidad potencial del proceso).
- Si se encontraran variaciones en algún departamento se aplicaría un diagrama de causa-efecto para identificar a que se le puede atribuir las variaciones del proceso.
- Se realizarán las recomendaciones sobre las posibles soluciones y la conclusión del estudio. (Nota: no se implementaran en el momento).



## **1.8.- La empresa Ingenio San Nicolás S.A de C.V**

Ingenio San Nicolás S.A de C.V se encuentra ubicado en congregación los Cobos, municipio de Cuichapa estado de Veracruz, código postal 94920, considera una empresa grande ya que cuenta con más de 151 personas laborando, se dedica a la elaboración de azúcar refinada, el ingenio se encuentra en expansión por ello está instalando una segunda línea de producción para elaborar azúcar moscabado.

## **1.9.- Misión**

Entregar a nuestros clientes azúcar de excelencia, que cumpla con sus necesidades y que aporte bienestar en toda la cadena de alimentos. Basándose en sólidos principios, valores corporativos y con una cultura de responsabilidad hacia el medio ambiente.

## **1.10.-Visión**

Ser una empresa líder en la industria azucarera con innovación, vanguardista, confiable, limpia y ordenada, reconocida por nuestros clientes en un mercado nacional e internacional por sus altos estándares de servicio, calidad, inocuidad y comprometida con el medio ambiente a través de la mejora continua.

## **1.11.- Valores**

Compromiso, confianza, responsabilidad, comunicación, servicio, sustentabilidad.

## **1.12.- Alcance del sistema de gestión de calidad e inocuidad**

Fabricación de azúcar refinado desde la recepción de caña en batey, extracción, elaboración hasta almacenamiento en bodegas.

Este alcance aplica a las instalaciones del Ingenio San Nicolás S.A. de C.V, ubicado en domicilio conocido Congregación Cobos García municipio de Cuichapa.

## **1.13.-Objetivos de calidad e inocuidad**

- 1.-Mantener las certificaciones en FSSC: 22000, ISO 9001:2015 Y SQF.
- 2.-Lograr la satisfacción del cliente en un 99% mediante la aplicación de encuestas.
- 3.-Lograr 0% de rechazos por inocuidad del producto terminado.

#### **1.14.-Política de seguridad e Higiene**

Todos los que laboramos en la empresa tenemos el compromiso de cuidar nuestra integridad física, cumpliendo con las disposiciones en materia de seguridad e higiene y con ello ser una empresa eficiente y segura.

#### **1.15.-Política de calidad e inocuidad**

Todos los que conformamos Ingenio San Nicolás S.A de C.V. asumimos el compromiso de elaborar un producto seguro, cumpliendo con los requisitos de calidad y de inocuidad de las normas nacionales e internacionales, logrando así la satisfacción de nuestros clientes comerciales, a través de la mejora continua de los procesos, cuidando nuestro entorno y medio ambiente.

## CAPITULO 2.-METODOLOGIA

### 2.1-Diagrama de flujo



Figura 1.-Diagrama de flujo de metodología.

## 2.2-Descripción de la metodología

1. Reconocer el área de refinería, elegir las etapas y características que se evaluarán en cada etapa. El proceso de refinación de azúcar consiste en la eliminación de impurezas sólidas que no se lograron quitar durante la clarificación del guarapo crudo y la disminución del color de las mieles. Gran parte de la coloración del azúcar crudo se debe a sus impurezas. Para obtener el azúcar refinado se realizan diferentes fases de las cuales se evaluarán fundido de azúcar crudo, tratamiento químico, clarificación y decolorado.
2. Recolectar los datos de Diciembre, Enero y Febrero de la zafra 2017/2018 de las etapas a evaluar. Se tomarán los datos de los tres turnos de todos los días que hubo producción de fundido de azúcar crudo se evaluarán los °Brix, de tratamiento químico el color del licor, de clarificado los fosfatos residuales y del decolorado el color.
3. Elegir el tipo de gráfico de control con base a las características de los datos. Se evaluarán los datos mediante un análisis de capacidad con datos continuos los cuales pueden ser provenientes de procesos industriales que siguen una distribución normal. Los datos continuos que no están distribuidos normalmente pueden seguir un tipo específico de distribución no normal, como una distribución de Weibull o exponencial. A veces, se pueden transformar los datos no normales para que se ajusten a una distribución normal.
4. Identificar los límites máximos y mínimos así como un objetivo en específico en el que se presentan las mejores características del proceso. Los límites se establecerán con los requerimientos que el cliente necesita y de acuerdo a los límites mínimos y máximos que establecen las NMX. El objetivo se tomará en cuenta de acuerdo al parámetro en el cual se observan las mejores características para el proceso.
5. Graficar los datos por meses e interpretar los resultados. Se obtendrán tres gráficas de una fase ya que se graficará por mes. Se compararán para observar en que mes hubo más variación. Y para identificar si existen parámetros fuera de control durante los meses evaluados.

6. De haber variaciones realizar un diagrama de causa-efecto para identificar las causas a las cuales se les atribuyen las variaciones y poder tomar las medidas necesarias para mantener el proceso en control.
7. Realizar las recomendaciones para mejorar los puntos fuera de control y conclusiones de la investigación.

## 2.3-Pasos para realizar un Informe del Capability Sixpack del proceso.

1. Seleccionar los datos a utilizar e introducirlos a la hoja de Minitad.
2. Seleccionar la pestaña “Estadísticas”, acceder a la opción “ Herramientas de calidad”.
3. Seleccionar Capability Sixpack.
4. Aparece un recuadro donde se selecciona el tipo (Normal).
5. Datos están organizados como: “Subgrupos en las filas”.
6. Seleccionar las columnas.
7. Especificar el límite inferior y superior
8. Ingresar el objetivo para la media del proceso.
9. Seleccionar el botón “Aceptar”.

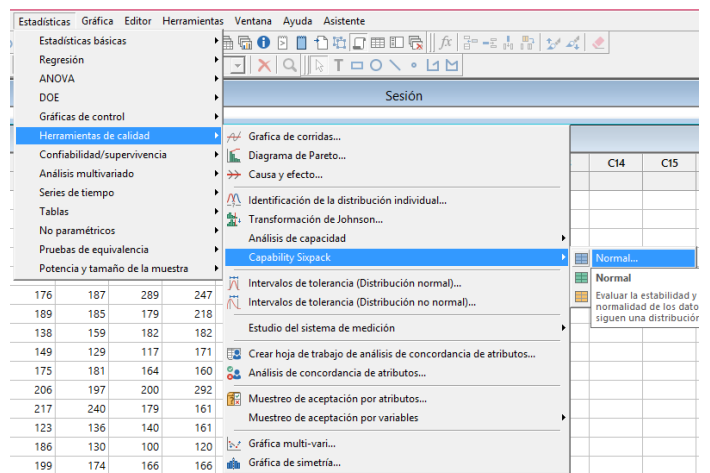


Figura 2.-Imagen de pasos para graficar "Capability Sixpack"

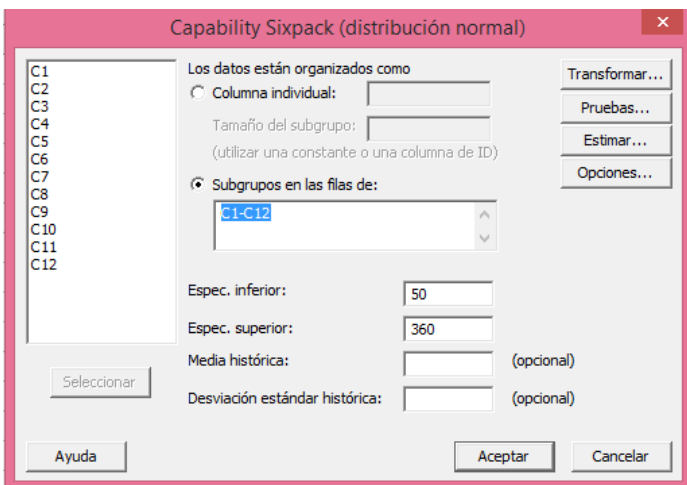


Figura 3.-Imagen de distribución normal "Capability Sixpack"

## **CAPITULO 3.-DESARROLLO DEL PROYECTO**

El proceso de fabricación de azúcar refinada es largo en este se presentan varias etapas en las cuales se podría aplicar una evaluación del control de las variables para conocer el proceso se presenta una descripción general de la elaboración de azúcar refinada.

### **3.1.-Descripción general de elaboración de azúcar refinada**

Preparación de caña: la caña se prepara para la molienda mediante cuchillas giratorias que cortan los tallos en pedazos pequeños, mediante molinos de martillos que desmenuzan la caña pero no extraen el jugo..

Molienda: La caña se muele en 4 molinos accionados por motores eléctricos y variadores de velocidad.

Clarificación: el jugo verde oscuro procedente de los trapiches es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación), diseñado para remover impurezas tanto solubles como insolubles. La lechada de cal neutraliza la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio. El calentamiento del guarapo alcalizado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas; el precipitado así formado atrapa los sólidos en suspensión al igual que las partículas más finas. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en tambores rotativos de filtración. El jugo filtrado regresa al proceso.

Evaporación: el jugo clarificado, que tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento de cal, contiene aproximadamente 85% de agua. Dos terceras partes de esta agua se evaporan en evaporadores al vacío de múltiple efecto, los cuales consisten en una sucesión de celdas de ebullición al vacío.

Cristalización: tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho.

Centrifugación: la masa cocida proveniente del mezclador o del cristizador se lleva a máquinas giratorias llamadas centrifugas. El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con tela metálica, entre esta y las paredes hay láminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 100 y 1800 rpm.

Lavado de los cristales de crudo: consiste en eliminar la película de mieles que se adhieren a la superficie de los cristales del azúcar crudo.

Fundido del azúcar lavado: el azúcar lavado se disuelve en aproximadamente la mitad de su peso en agua en un tanque conocido como fundidor provisto de un dispositivo para

mezclar, mientras se le aplica vapor de escape para facilitar la formación de la solución. Para facilitar el fundido se utilizan las llamadas aguas dulces de alta concentración de los filtros-prensa.

Defecación o clarificación: el licor crudo lavado que viene del tanque de fundido contiene algún material insoluble, tal como bagacillo, arcilla, arena y una cantidad apreciable de suspensiones finas y dispersoides. También contiene gomas, pectinas y otros coloides que escaparon de la clarificación en la fábrica de crudo o se han formado en los procesos posteriores de fabricación. El licor crudo es también ácido. La clarificación se define como el tratamiento del licor del crudo o de los lavados del crudo con ciertas sustancias y color para lograr la precipitación de las impurezas solubles y coloidales. El tratamiento químico emplea sustancias que forman un precipitado en el licor. Los más comunes de los defecantes químicos son el ácido fosfórico y la cal. El término clarificador de espuma incluyen todos los sistemas que separan el precipitado de fosfato de calcio del licor por flotación con aire.

Decoloración: el licor clarificado pasa las columnas de percolación donde por adsorción quitan la mayor parte de las materias colorantes presentes en el licor.

Concentración y cristalización: el licor ya decolorado pasa a una segunda evaporación donde se concentra, se cristaliza en un tacho y pasa a la fase de centrifugas la separación de los cristales a partir del jarabe de las masas cocidas. Los azúcares blandos no se lavan en las centrifugas; el tiempo de purga se aprovecha para regular el color dejando más o menos jarabe en el grano.

Secado de los azúcares húmedos que se descargan de las centrifugas contienen aproximadamente 1% de agua y son llevados a depósitos de distribución colocados por arriba de los granuladores por medio de conductores del tipo espiral, vibratorio o de banda y elevadores canjilones. Los parámetros de secado y acondicionamiento del azúcar indican una temperatura de secado de 145°C

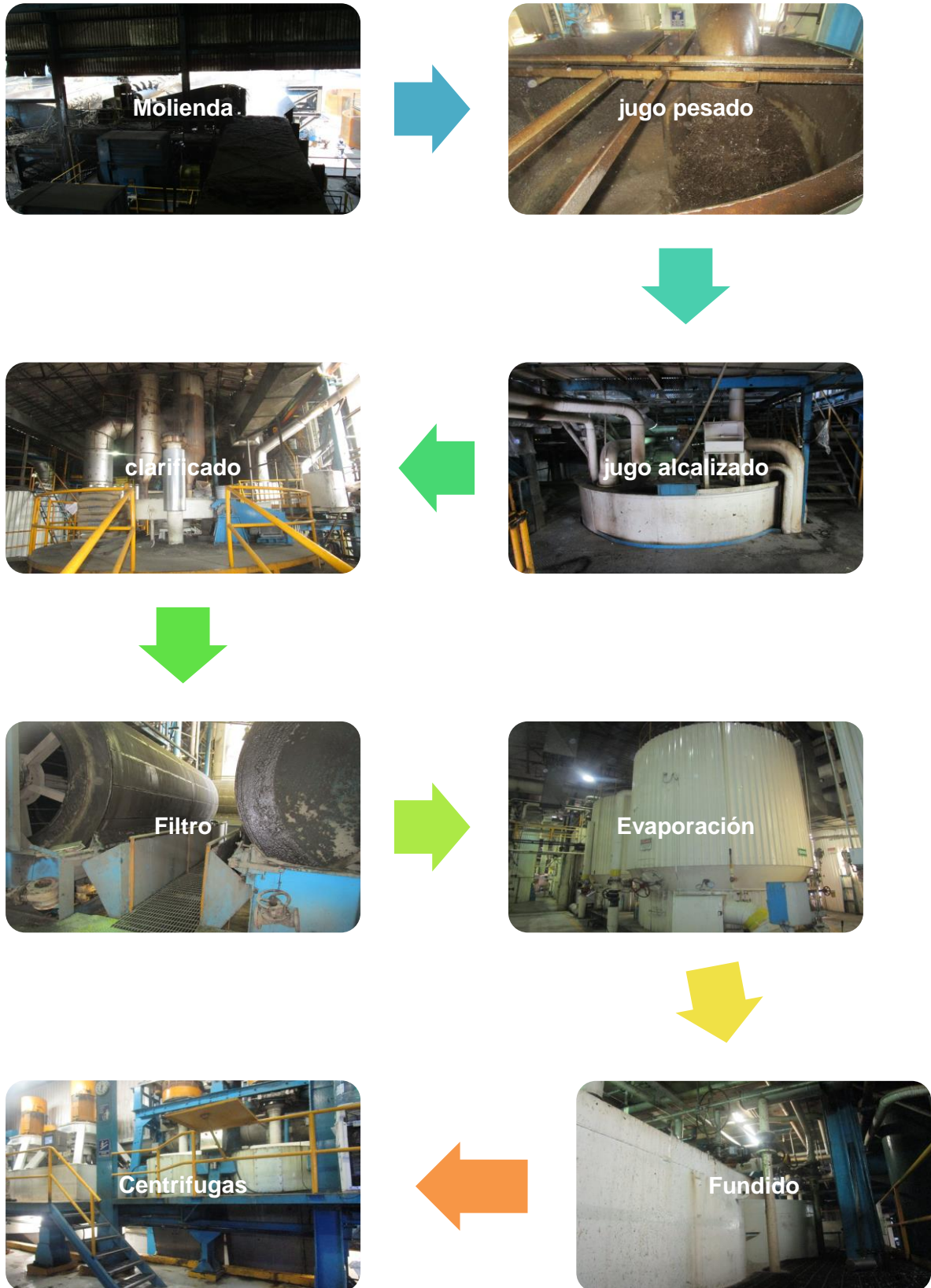
Envasado:

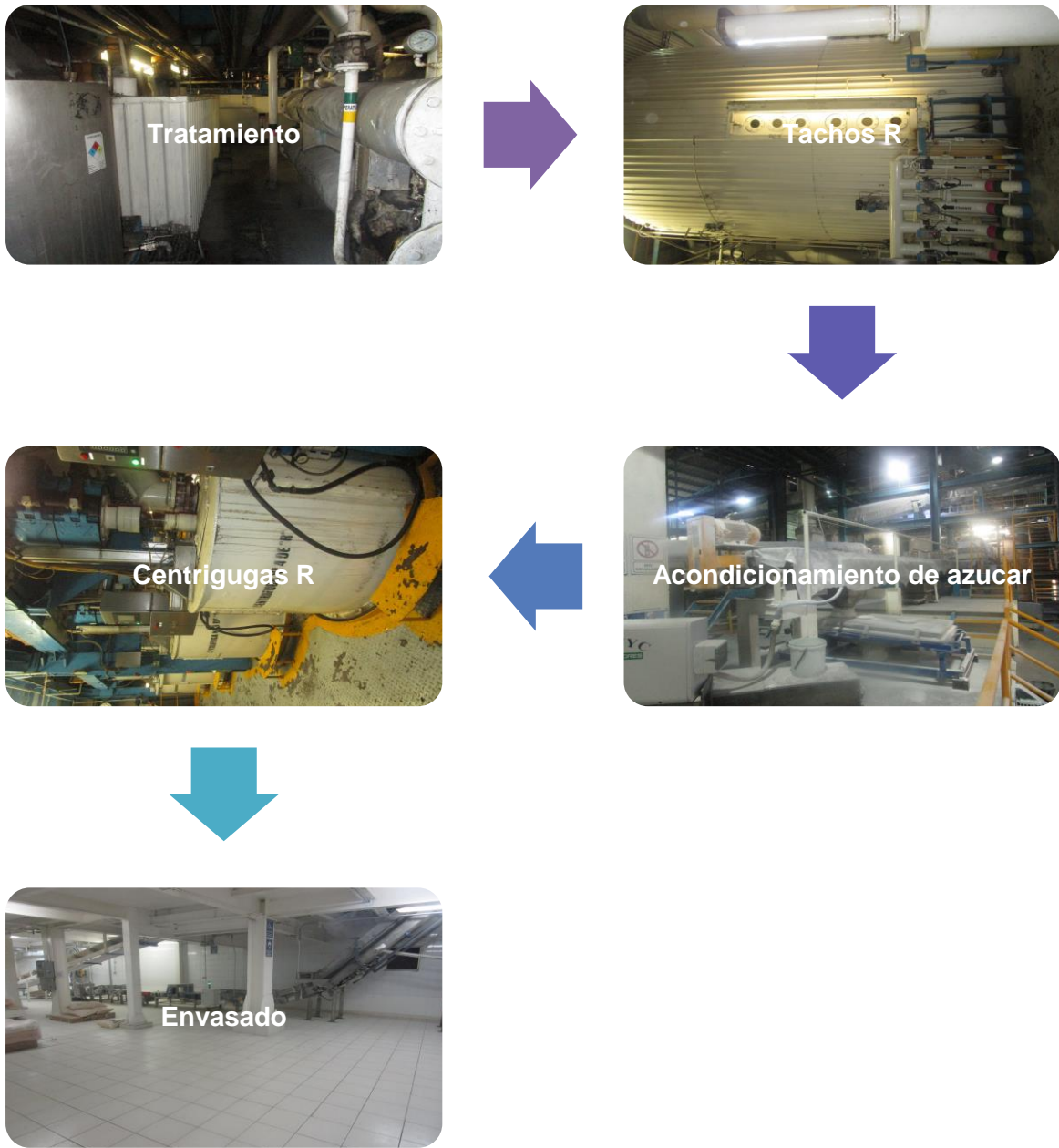
El azúcar estándar y moscabada se envasa en saco de 50kg y el azúcar refinada en sacos de 50kg, súper sacos 1000kg y llenado de ferrotolvas.

De acuerdo a la información recaba en la empresa, se decidió evaluar las etapas de tratado (color), clarificado(fosfatos residuales) y decolorado(color) de la fase de refinería.



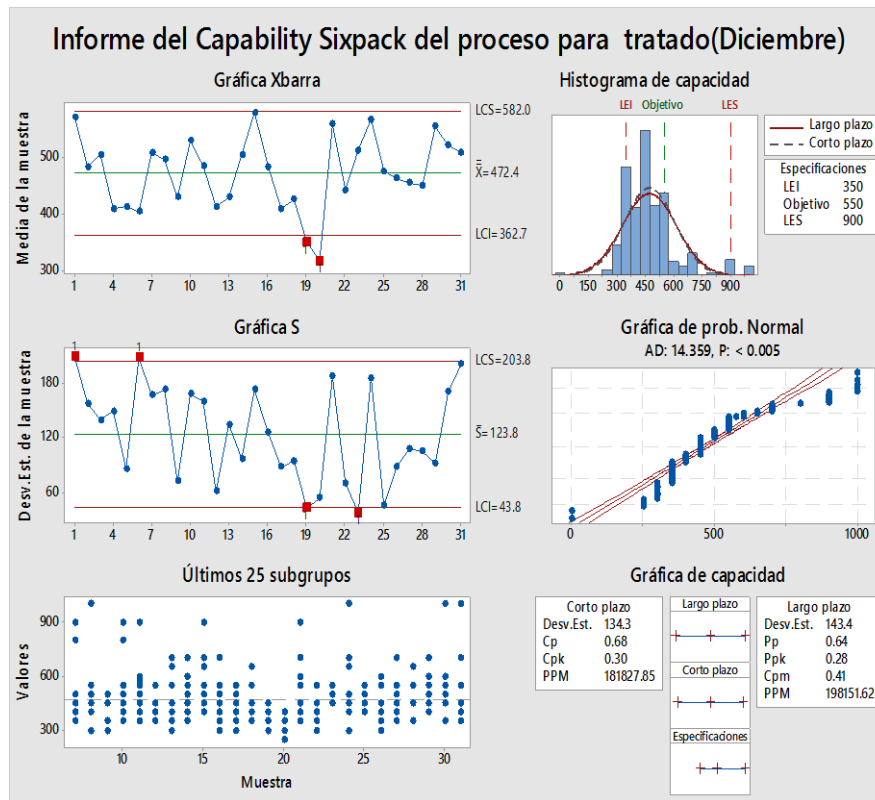
### 3.2.-Diagrama de proceso





**Figura 4. Diagrama de proceso de elaboración de azúcar refinada**

### 3.2.- Graficas de la etapa de tratado de Diciembre, Enero y Febrero 2017-2018.



**Figura 5.- Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de diciembre hubo puntos fuera de control en la etapa de tratado de licor esto se muestra en la imagen 3. Donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales también se observa que el proceso tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación durante la etapa ya que se notan desplazamientos fuera del límite inferior y superior, el histograma de capacidad muestra que la cola izquierda de la distribución cae fuera del límite inferior. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo Pp(distancia entre los límites de especificación) es 0.30 y Ppk(cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.28, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo Cp(distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.68 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza tercera clase se requieren modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria.

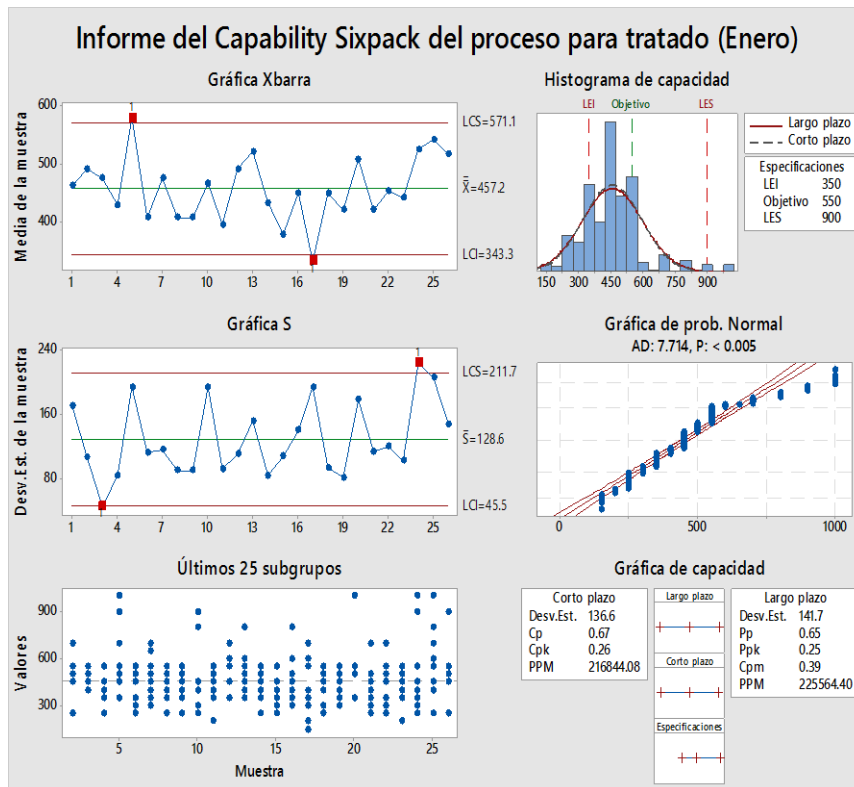
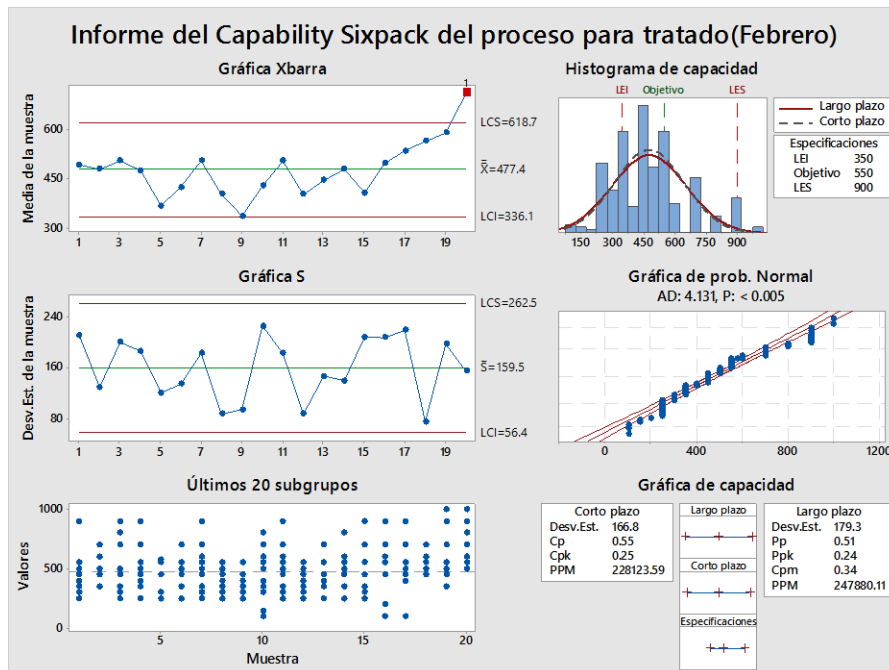


Imagen 4.- Informe gráfica Xbarra, gráfica S, dispersión del histograma y gráfica de probabilidad normal.

**Figura 6. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Enero hubo puntos fuera de control en la etapa de tratado de licor esto se muestra en la imagen 3 donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales también se observa que el proceso tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa ya que se notan desplazamientos fuera del límite inferior y superior, el histograma de capacidad muestra que la cola de izquierda y derecha de la distribución caen fuera de los límites. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo  $P_p$  (distancia entre los límites de especificación) es 0.65 y  $P_{pk}$  (cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.25, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo  $C_p$  (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.67 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza una tercera clase se requieren modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria.



**Figura 7. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Febrero hubo puntos fuera de control en la etapa de tratado de licor esto se muestra en la imagen 3 donde si bien la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales no se observa que el proceso tenga puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa ya que se notan desplazamientos fuera del límite inferior y superior, el histograma de capacidad muestra lo contrario a la gráfica Xbarra ya que la cola de izquierda y derecha de la distribución caen fuera de los límites. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo Pp(distancia entre los límites de especificación) es 0.51 y Ppk(cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.24, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo Cp (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.55 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza la cuarta clase se requieren modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria ya que es la más baja clasificación.

### 3.3.-Graficas de la etapa de clarificado de Diciembre, Enero y Febrero 2017-2018.

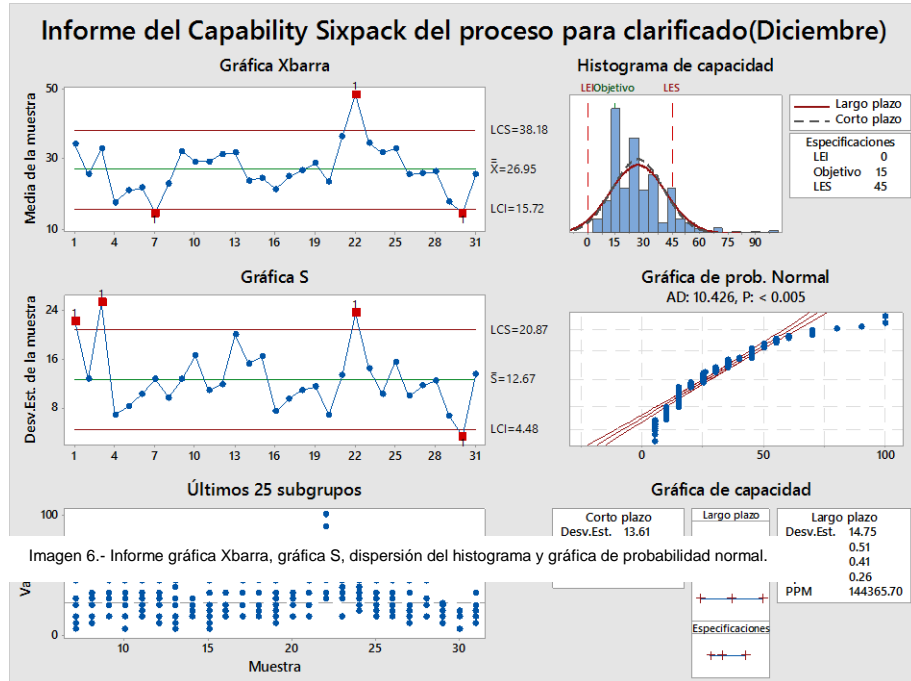
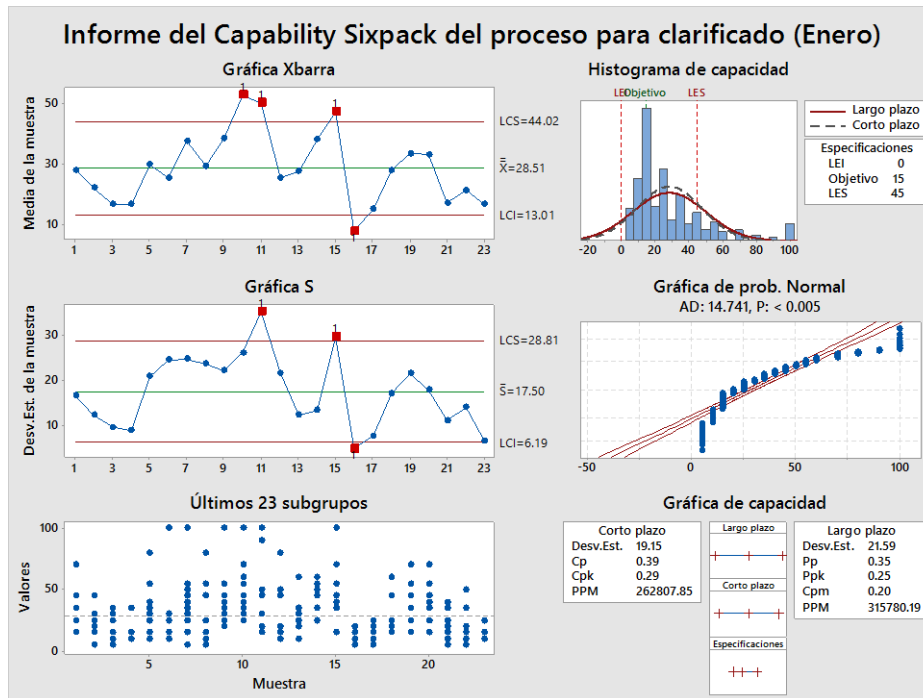


Imagen 6.- Informe gráfica Xbarra, gráfica S, dispersión del histograma y gráfica de probabilidad normal.

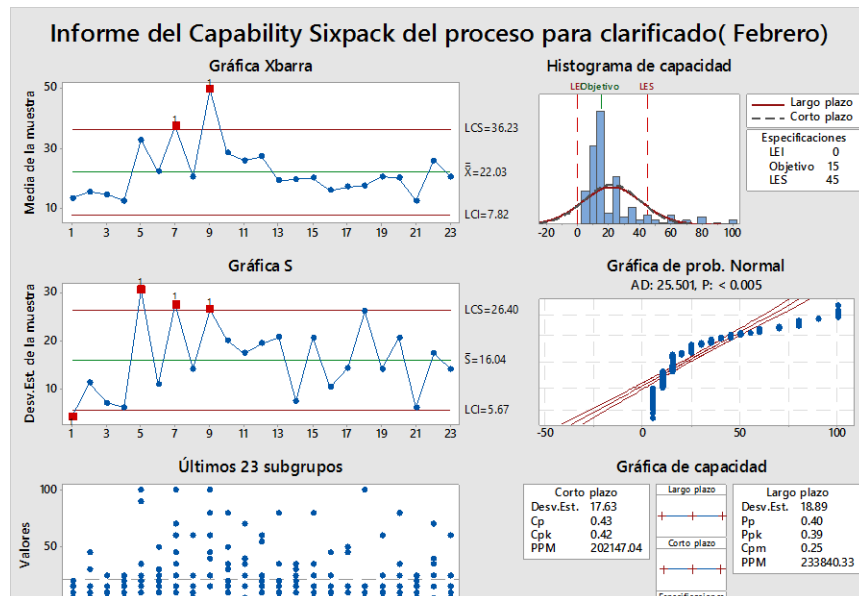
**Figura 8. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Diciembre hubo puntos fuera de control en la etapa de clarificado de licor esto se muestra en la imagen 6 donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales se observa que el proceso tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa ya que se notan desplazamientos fuera del límite inferior y superior, el histograma de capacidad muestra que la cola de derecha de la distribución cae fuera del límite. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo  $P_p$ (distancia entre los límites de especificación) es 0.51 y  $P_{pk}$ (cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.41, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo  $C_p$  (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.55 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza la cuarta clase se requieren modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria ya que es la más baja clasificación.



**Figura 9. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Enero hubo puntos fuera de control en la etapa de clarificado de licor esto se muestra en la imagen 6 donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales se observa que el proceso tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa ya que se notan desplazamientos fuera del límite inferior y superior, el histograma de capacidad muestra que la cola de derecha de la distribución cae fuera del límite. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo Pp(distancia entre los límites de especificación) es 0.35 y Ppk(cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.25, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo Cp (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.39 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza la cuarta clase se requieren modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria ya que es la más baja clasificación.



**Figura 10. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Febrero hubo puntos fuera de control en la etapa de clarificado de licor esto se muestra en la imagen 6 donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales se observa que el proceso tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa ya que se notan desplazamientos fuera del límite inferior y superior, el histograma de capacidad muestra que la cola de derecha de la distribución cae fuera del límite. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo Pp(distancia entre los límites de especificación) es 0.40 y Ppk(cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.39, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo Cp (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.43 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza la cuarta clase se requieren modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria ya que es la más baja clasificación.



### 3.3.-Gráficas de la etapa de decolorado de Diciembre, Enero y Febrero 2017-2018.

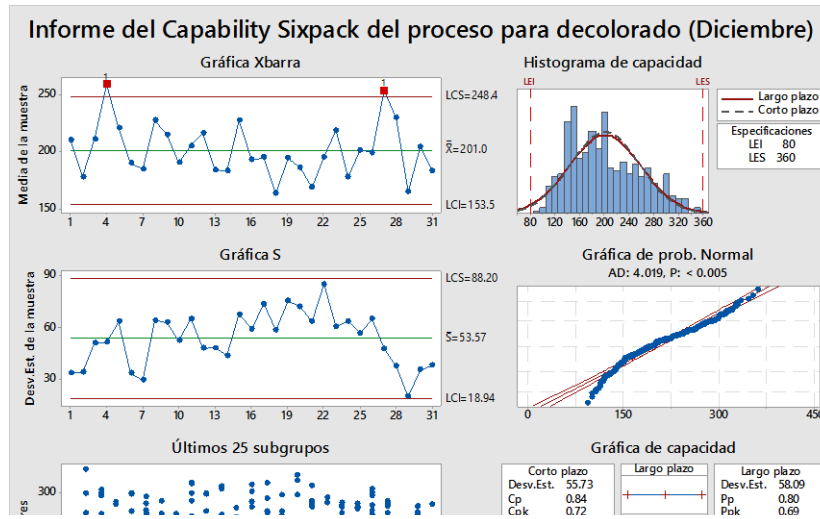
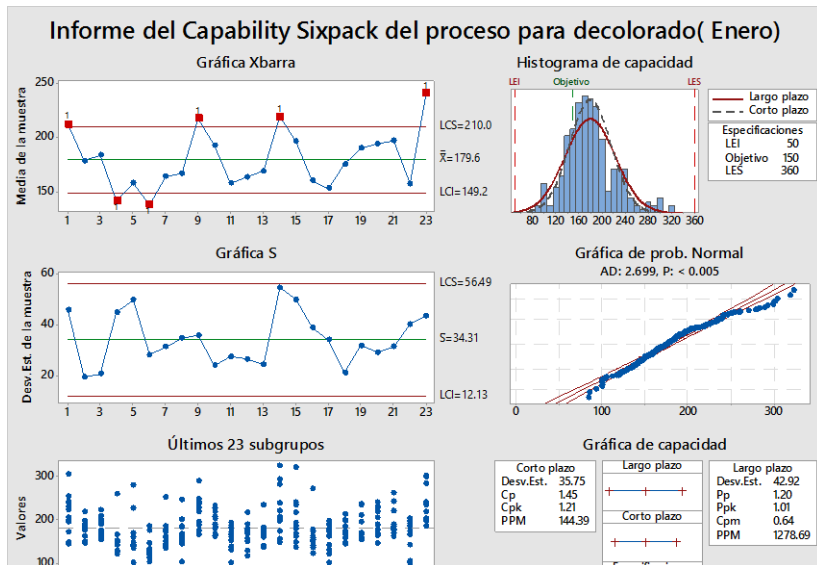


Imagen 9.- Informe gráfica Xbarra, gráfica S, dispersión del histograma y gráfica de probabilidad normal.

**Figura 11. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Diciembre hubo puntos fuera de control en la etapa de decolorado del licor esto se muestra en la imagen 9 donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales se observa que el proceso no tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa, no se notan desplazamientos fuera de los límites. El histograma de capacidad muestra que ninguna de las colas cae fuera de los límites de distribución. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo Pp(distancia entre los límites de especificación) es 0.80 y Ppk(cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 0.69, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo Cp (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 0.84 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza la tercera clase se requieren modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria superior.



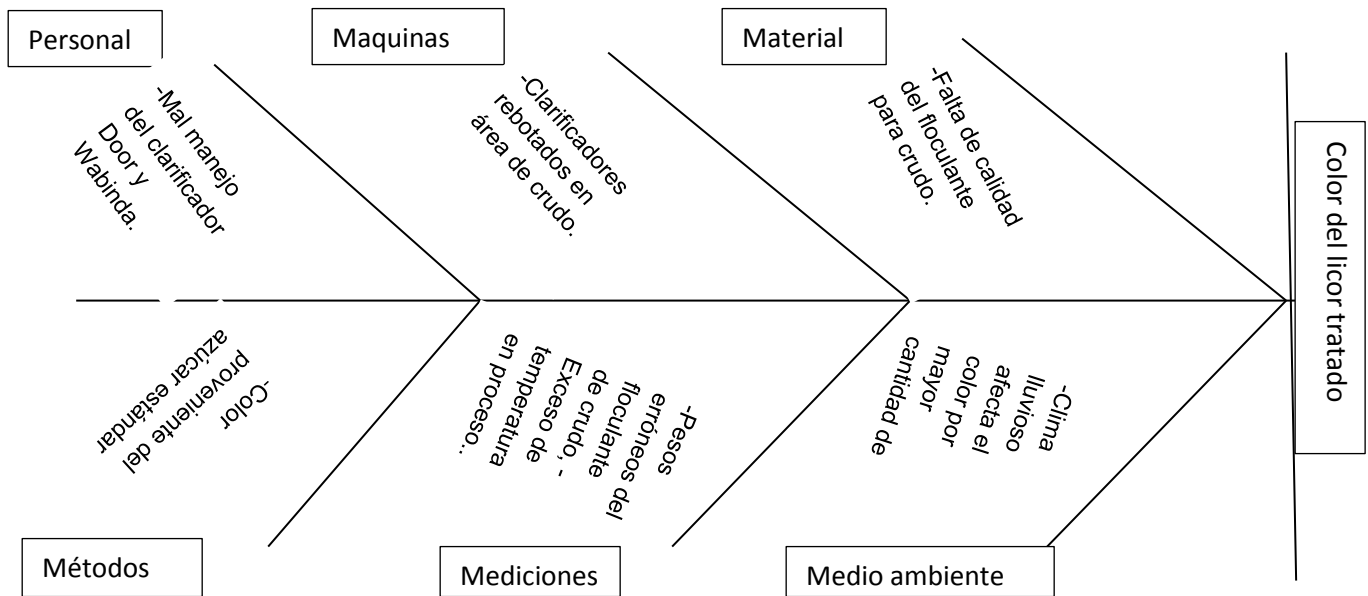
**Figura 12. Informe grafica Xbarra, grafica S, dispersión del histograma y grafica de probabilidad normal.**

Se observó que durante el mes de Enero hubo puntos fuera de control en la etapa de decolorado del licor esto se muestra en la imagen 10 donde la gráfica Xbarra muestra puntos fuera de los límites de la media, en la gráfica S se muestra la desviación estándar de las medias muestrales se observa que el proceso no tiene puntos fuera de control, en la gráfica 3 se muestra la dispersión de los datos con base a los límites que la empresa utiliza como parámetros durante el proceso donde se muestra que existe variación en la etapa, no se notan desplazamientos fuera de los límites. El histograma de capacidad muestra que ninguna de las colas cae fuera de los límites de distribución. La grafica de probabilidad normal muestra los datos y su desplazamiento en los límites inferior y superior. La grafica de capacidad refleja que la capacidad a largo plazo Pp(distancia entre los límites de especificación) es 1.20 y Ppk(cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural) 1.01, el valor mínimo aceptado es de 1.33 lo que indica que los valores se encuentran por debajo del límite lo que demuestra que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones durante todo el proceso. La capacidad a corto plazo Cp (distancia entre los límites de especificación) de los datos es de 1.46 y el límite mínimo es de 0.67 el proceso alcanza la primera clase se tiene un control de calidad adecuado.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

De acuerdo a las gráficas que se obtuvieron de los datos que se utilizaron para la herramienta de Capability Sixpack las etapas del proceso que requieren mejoras son las etapas de tratado (Diagrama 4) y clarificado de licor, ya que la etapa de decoloración no tiene tanta variación como lo muestra la gráfica del mes de enero donde se demuestra que el proceso tiene un control de calidad seis sigma. Para saber cuáles son las causas de las variaciones en el proceso de refinería de azúcar se estableció un diagrama de causa y efecto.

### 4.1.-Diagrama de causa y efecto de tratado



**Figura 13. Diagrama de causa-efecto del color durante el tratado**

De acuerdo a la lluvia de ideas para elaborar el diagrama de causa y efecto se determinaron las causas a las cuales se les atribuye la variación del proceso, se dividieron en causas internas y externas.

Internas: se plantea capacitar al personal sobre la correcta operación de los clarificadores, así como las dosificaciones específicas de floculante para crudo a utilizar. Clarificadores rebotados por impurezas provenientes del jugo pesado y color proveniente de las etapas de crudo debido a deficiencias en las etapas anteriores, así como de temperaturas que

sobrepasen los límites en la etapa de fundido y calentadores secundarios provocando un que el licor se queme y por ende afecte directamente el color.

Externas: comparar los beneficios del floculante actual con los que ofrecen diferentes proveedores y la temporada de lluvias que permite que la caña contenga mayor cantidad de impurezas teniendo una mayor producción de cachaza, siendo poco efectivo el floculante utilizado y teniendo una mayor remoción de los clarificadores.

#### 4.2.-Diagrama de causa y efecto de clarificado

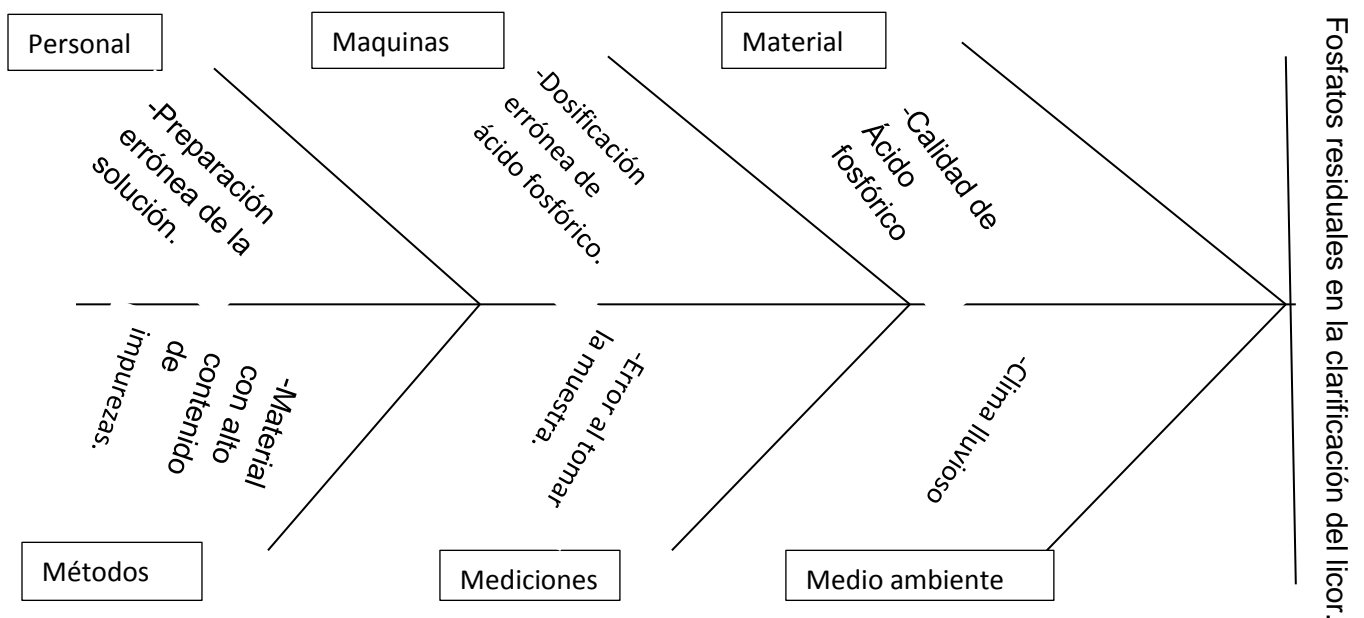


Figura 14. Diagrama de Causa-Efecto de clarificado

Con el diagrama de causa y efecto se encontraron las diferentes causas que podrían afectar el proceso, se encontraron causas internas y externas. Las internas son la calidad del ácido fosfórico, la dosificación errónea del tanque de preparación al tanque de tratamiento, preparación errónea de la solución de ácido fosfórico y agua, material proveniente de la fase de crudo con alto contenido de impurezas y color y realizar las mediciones con las muestras erróneas. En las externas se incluye el clima lluvioso ya que este provoca que la materia prima tenga mayor cantidad de impurezas y por ende el ácido tenga dificultad para retirar la mayor parte de impurezas.

## 5-.CONCLUSIONES

- Se identificaron los puntos clave evaluar en la fase de refinería donde se encontró que el color del jugo tratado viene de la fase de crudo pero este a su vez se ligada con la etapa de clarificado donde se obtiene la cantidad fosfatos residuales que se tienen en el jugo después de la adición de ácido fosfórico para la eliminación de las impurezas que pasaron de la fase de crudo a la de refinería y el color que se obtiene del licor tratado en las columnas de percolación donde se filtra el licor con el carbón para obtener un licor clarificado.
- Se recolectaron datos de la etapa de tratado durante Diciembre, Enero y Febrero (zafra 2017/2018) del color del licor, del clarificado se tomaron datos de Diciembre, Enero y Febrero (zafra 2017/2018) de la cantidad de fosfatos residuales que tenía licor clarificado y decolorado donde se evaluaron los datos del mes de Diciembre y Enero zafra 2017/2018 del color del licor decolorado.
- Se utilizó la herramienta de calidad “ Capability Sixpack” para graficar por mes cada etapa, los límites superiores e inferiores los tiene establecidos la empresa para control de las etapas donde durante el tratado el color del licor necesita un rango de color 250-900 con un objetivo 550 que sería el parámetro con el que se tienen mejores características para el proceso, para el clarificado se necesitan fosfatos residuales con un rango 0-45 con un objetivo de 15 y para decolorado se permite un rango de 50-360 con un objetivo de 150.
- La evaluación de la etapa de tratado durante los tres meses arroja que el proceso tiene puntos fuera control por lo tanto no se considera un proceso capaz y se necesitan hacer correcciones para mejorar la calidad del proceso. Resulta importante señalar que cual fuera el procedimiento de tratado químico que se utilice en el ingenio, la calidad del azúcar crudo con que se trabaja influye mucho en el proceso de refinería. Las características del azúcar crudo que más influyen ya sea positiva o negativamente en el proceso de refinería son: la polarización, el color, las cenizas, la dureza y tamaño del grano. Como se explica el color depende del proceso que recibe el jugo de caña en la fase crudo las causas a las cuales se le atribuye el color del licor son impurezas que trae el licor debido a una mala clarificación en el área crudo, a la falta de eficacia del floculante de crudo, el que se reboten los clarificadores(esto sucede cuando es temporada de lluvias debido a que la materia prima trae mayor cantidad de impurezas lo que causa que el floculante no tenga la efectividad normal, también en consecuencia se produce mayor cantidad de cachaza misma que se revuelve con el jugo y provoca que el jugo salga mezclado con cachaza y dificulta su tratamiento en la fase de refinería.

- Se observó en la etapa de clarificado durante los tres meses hubo puntos fuera de control, por tanto no se considera un proceso capaz, necesitan hacer mejoras que permitan tener una etapa más controlada. Se determinaron las principales causas a las cuales se les atribuye la variación es la adición de ácido fosfórico. El tratamiento con ácido fosfórico tiene por objetivo eliminar la mayor parte de impurezas del fundido de segunda, incluyendo sustancias coloidales que contienen hierro. Al fundido tratado con ácido fosfórico y lechada de cal se le inyectan finísimas burbujas de aire. El fundido emulsificado con aire pasa al clarificador donde los floculos ayudados por las burbujas de aire ascienden a la superficie y el licor clarificado se queda abajo. Al ser atrapadas disminuye aproximadamente en un 25% el color del fundido. La cantidad de residuo de ácido en el licor se debe a que por descuido durante la aireación se rompen los floculos ocasionando una revoltura de partículas de precipitado de fosfato con licor clarificado. También se debe verificar que la solución de ácido fosfórico utilizada sea la correcta, que la forma de preparar sea la correcta y que el dosificador que vierta la cantidad correcta al tanque químico.
- En la etapa de decoloración se encontró el proceso más estable ya que en Diciembre y Enero no hubo variaciones. Lo que indica que esa etapa del proceso actualmente está controlada. El tratado proveniente del clarificador pasa a las columnas de percolación donde se eliminara gran cantidad de sustancias colorantes sin ningún problema.

## 5.1.-Recomendaciones

- El ácido fosfórico debe agregarse cuando el tanque contiene fundido por encima de la mitad de su capacidad.
- Debe conservarse los floculos los más grandes posibles, lo que se logra con adecuada velocidad y tiempo de agitación.
- El fundido tratado debe tener un pH de 7.2 a 7.6.
- La alimentación a los clarificadores debe ser continua y uniforme.
- La aireación del fundido tratado debe ser suficiente y el tamaño de las burbujas lo más fino posible,
- Se deben tomar periódicamente muestras del clarificado para verificar que sale limpio y sin burbujas de aire.
- El contenido de cenizas del azúcar crudo, deben ser lo más bajo posible. Un exceso de cenizas dificulta el proceso de refinación aumenta el consumo de ácido fosfórico, cal y carbón vegetal.

## **6.-Bibliografía**

Chen James. (2006). Manual del azúcar de caña. México, D.F.Limusa. Pag. 73 a 611.

Instituto de Capacitación de la Industria Azucarera. (1977). Refinería. CIPAP, Vol.2, pag.2 a 71.

Instituto de Capacitación de la Industria Azucarera. (1977). Cristalización. CIPAP, Vol.2, pag 2 a 39.

Zaparolli José. (2016). Determinación de la dosificación óptima de carbón activado y tierra diatomácea, para la remoción del color de licores de azúcar derretida en la fabricación de azúcar refinado. 2016, de Universidad de San Carlos de Guatemala Sitio web: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1286\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1286_Q.pdf)