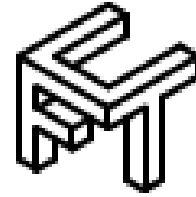




Universidad de Matanzas  
Facultad de Ciencias Técnicas  
Maestría en Ingeniería Asistida por Computadora  
Quinta Edición



# Evaluación preliminar del comportamiento de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de azúcar crudo del Central “Mario Muñoz Monroy”

Tesis Presentada como Requisito Parcial  
para la Obtención del Título de  
Máster en Ingeniería Asistida por Computadora

**Autor:** Ing. Luisbel González Pérez de Medina

**Tutores:**

Dr.C. Jesús D. Luis Orozco

Dr.C. Lourdes Y. González Sáez

Matanzas, 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ A mis padres, hermano y esposa, por librar tantas batallas juntos y estar a mi lado en todo momento dándome apoyo.
- ✓ A mis abuelas.
- ✓ A mi familia y suegros.
- ✓ A mis amigos Glennys y Jonathan.
- ✓ A mis tutores Lourdes y Orozco.
- ✓ Al coordinador de la maestría Quiza por darme la oportunidad de superarme y su ayuda brindada en todo momento.
- ✓ A mis diplomantes Eidys, Linnet y Yenisleidys.
- ✓ A mis amigos, compañeros y profesores.

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD Y NOTA LEGAL**

Yo, Luisbel González Pérez de Medina, declaro que soy el único autor de la siguiente tesis, titulada “Evaluación integral del proceso de obtención de azúcar crudo en el central Mario Muñoz Monroy” y, en virtud de tal, cedo el derecho de copia de la misma a la Universidad de Matanzas, bajo la licencia *Creative Commons* de tipo *Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada*, con lo cual se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de la obra y no realice ninguna modificación de ella.

Matanzas, 15 enero de 2020.



Luisbel González Pérez de Medina

## **RESUMEN**

Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de azúcar crudo en la UEB Central Azucarero “Mario Muñoz Monroe” de Matanzas. Para ello se determinan las causas que producen violación de la disciplina tecnológica y su influencia sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente; se emplean herramientas simples recogidas en la literatura como son: listas de chequeo, diagrama de Ishikawa, cartas de control, análisis de capacidad, Análisis de Peligros y Control de Puntos Críticos (HACCP), prueba de hipótesis, análisis de indicadores económicos de la producción, análisis de costos de calidad, “Análisis de modos de falla y efectos” (FMEA) e índice de calidad del agua. El control del proceso detectó siete parámetros en estado de control de un total de 34 analizados, ninguna de las etapas analizadas está bajo control y el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones del 91,52% de las variables analizadas. Se pudo detectar que por concepto de violación de la disciplina tecnológica se afecta la calidad del producto final, por esta razón se dejan de ingresar 3 341 603 CUP, y se debe producir 4 340,6 kg de azúcar más para obtener ganancia en el mes de marzo del 2019. El agua residual posee un índice de calidad ambiental de 20 %.

**Palabras claves:** disciplina tecnológica, evaluación de procesos, azúcar crudo.

## **ABSTRACT**

The objective of this investigative research is to evaluate the behavior of the technological discipline in the process of obtaining raw sugar in the “Mario Muñoz Monroe” Central Sugar UEB of Matanzas. Determine the causes that produce the violation of the technological discipline and its influence on quality, economy, safety and the environment. Simple tools collected in the literature are used for this purpose, such as: checklists, the Ishikawa diagram, control charts, capacity analysis, Hazard Analysis and Critical Point Control (HACCP), hypothesis testing, the analysis of economic indicators of production, the analysis of quality costs, the "Failure modes and effects analysis" (FMEA) and the water quality index. The process control detected seven parameters in a state of control out of a total of 34 analyzed, none of the analyzed stages is under control and the process is not capable of meeting the specifications of 91.52% of the analyzed variables. It could be detected that due to violation of technological discipline the quality of the final product is affected, for this reason 3,341,603 CUP is no longer entered, and 4,340.6 kg more must be produced to obtain a profit in the month of March 2019 Wastewater has an environmental quality index of 20%.

**Keywords:** technological discipline, evaluation of processes, raw sugar.

# TABLA DE CONTENIDO

## Título

Introducción -----	1
Capítulo 1 Estado del Arte -----	4
1.1 Factores que influyen en la disciplina tecnológica-----	4
1.1.1 Control del proceso-----	5
1.1.2 Instrumentación-----	8
1.1.3 Mano de obra-----	8
1.1.4 Mantenimiento -----	11
1.1.5 Entorno socio económico -----	12
1.1.6 Materiales-----	13
1.2 Aspectos sobre los que repercute la disciplina tecnológica-----	13
1.2.1 Calidad-----	13
1.2.2 Seguridad del proceso-----	14
1.2.3 Economía-----	17
1.2.4 Medio ambiente-----	19
1.3 Conclusiones parciales-----	20
Capítulo 2 Materiales y métodos -----	21
2.1 Descripción del proceso objeto de estudio-----	22
2.2 Determinación de los aspectos que influyen en la disciplina tecnológica-----	22
2.3 Metodología para el Análisis de Peligros y determinación de Puntos Críticos de Control-----	23
2.4 Procedimiento para evaluar los diferentes aspectos que influyen en la disciplina tecnológica-----	24
2.4.1 Control del proceso-----	24
2.4.2 Instrumentación-----	28
2.4.3 Mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico-----	29
2.4.4 Materiales-----	33
2.5 Evaluación de la repercusión sobre el proceso-----	34

2.5.1 Calidad-----	34
2.5.2 Seguridad -----	34
2.5.3 Economía -----	36
2.5.4 Medio ambiente-----	38
2.6 Conclusiones parciales-----	40
Capítulo 3 Presentación y análisis de los resultados -----	41
3.1 Resultados de la determinación de los Puntos Críticos de Control-----	41
3.2 Resultados del estado de control del proceso tecnológico-----	43
3.3 Resultados del estado de la instrumentación del proceso-----	58
3.4 Evaluación de la mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico-----	60
3.5 Comportamiento de los materiales empleados en la industria-----	65
3.6 Repercusión de la disciplina tecnológica sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente de la planta-----	67
3.6.1 Comportamiento de la calidad y el cumplimiento de la normalización -----	67
3.6.2 Análisis económico del proceso de producción de azúcar crudo-----	71
3.6.3 Repercusión sobre la seguridad del proceso-----	75
3.6.4 Repercusión de los residuales líquidos sobre el medio ambiente-----	77
3.7 Conclusiones parciales-----	78
Conclusiones -----	79
Recomendaciones-----	80
Referencias bibliográficas-----	81
Anexos	

## INTRODUCCIÓN

La industria del azúcar y sus derivados ha tenido gran repercusión en el devenir histórico social de Cuba. La economía cubana con su marcado carácter coyuntural, influenciada notablemente por la dinámica geopolítica del mundo, ha convertido la fabricación de azúcar de caña en uno de sus principales renglones productivos.

La Industria Azucarera sufrió las consecuencias devastadoras del período especial, muchos centrales fueron cerrados, los ritmos productivos decayeron, disminuyó la calidad del producto terminado y se descuidó lamentablemente el cultivo de la caña, entre otras afectaciones que significaron un punto de giro para la economía y la vida de la sociedad cubana (Alfonso, 2019).

Las últimas zafras en la provincia de Matanzas han mostrado una disminución continua de la eficiencia industrial. Los cuatro centrales de la provincia cuentan con indicadores desfavorables como menor aprovechamiento del rendimiento potencial de la caña, menor recobrado y se ha observado un mayor consumo de caña para obtener una tonelada de azúcar. A partir del año 2015 existe una tendencia decreciente en el rendimiento, siendo más notoria en los Centrales Azucareros René Fraga y Mario Muñoz (Alfonso, 2019).

La UEB Central Azucarero Mario Muñoz Monroe está situada geográficamente en el municipio de Los Arabos, en la provincia de Matanzas fue fundada el 1 de enero de 1988 en la Finca Occitania. Cuenta con cuatro plantas principales en el proceso fabril: Planta Moledora, Planta de Fabricación, Planta de Generación de vapor y Planta eléctrica. Contribuye al sistema Electroenergético Nacional y se destaca en la producción de miel final, urea y bagazo.

La caña de azúcar constituye la principal materia prima, la que es cultivada en un área de 16 321,2 ha, englobada en 27 unidades productoras. Estas unidades están compuestas por 10 Cooperativas de Producción Agropecuarias (CPA), 6 Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS), 10 Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC) y una unidad estatal que es el Banco de Semilla. La caña se cultiva por cepas, parte de estas se encuentran bajo secano y otra por medio del riego estable y de supervivencia. El corte de la caña es mecanizado, íntimamente sincronizado con el estado productivo de la UEB y acorde con las especificaciones de calidad de



esta materia prima. Es de vital importancia determinar correctamente el índice de madurez, así como el momento oportuno del corte, para buscar la mayor riqueza posible en sacarosa. La red ferroviaria interior enlaza los centros de acopio y limpieza, existiendo dos centros de recepción para el beneficio de la caña.

En los últimos años el Central Azucarero Mario Muñoz ha mostrado una disminución significativa del porcentaje de materia extraña y del tiempo perdido por roturas, ha aumentado la extracción del tándem, porcentaje de cachaza en caña, y pérdidas en cachaza y miel final. Tendencias que demuestran la existencia de dificultades operacionales o fuentes de variabilidad externa en el proceso. Este comportamiento negativo en uno de los centrales azucareros de mayor capacidad productiva del país y el único que posee refinería anexa en la provincia ha captado el interés del grupo de investigadores, debido a la creciente necesidad de producir con eficiencia, aprovechar al máximo las materias primas, al menor costo posible y con el menor impacto ambiental en base a la tecnología existente. La necesaria recuperación de la producción de azúcar depende de una mejor organización, exigencia y disciplina tecnológica (Alfonso, 2019).

Tomando como referencia estos elementos se formula el siguiente problema:

**Problema:**

¿Cómo influye la disciplina tecnológica en los problemas técnicos, económicos, de seguridad y ambientales que genera el proceso de obtención de azúcar crudo en el central azucarero Mario Muñoz Monroy?

**Hipótesis:**

Si se hace una evaluación de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de azúcar crudo en el central azucarero Mario Muñoz Monroy, se podrán determinar los problemas de calidad, económicos, ambientales y de seguridad que se generan.

**Objetivo general:**

Evaluar el comportamiento de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de azúcar crudo en el central azucarero Mario Muñoz Monroy.

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar el proceso objeto de estudio.
2. Localizar los principales elementos que repercuten en violaciones de la disciplina tecnológica en el proceso objeto de estudio.
3. Valorar el estado de cumplimiento de los diferentes elementos de la disciplina tecnológica.
4. Determinar el efecto de la violación de la disciplina tecnológica sobre los factores dañados (calidad, economía, seguridad y medio ambiente) en el proceso objeto de estudio.

## **CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE**

El estudio de la disciplina tecnológica es muy importante en el buen desempeño de cualquier industria de procesos químicos. Esta trae asociada varios factores fundamentales que son de interés conocerlos y controlarlos, tales como: normalización, capacitación, control del proceso, estado de la instrumentación, mantenimiento, y entorno donde se desarrolla. Entre los aspectos que se ven afectados directamente por la violación de esta se encuentran: la economía, la seguridad del proceso, la calidad del producto y el medio ambiente. Existen hoy en día varias herramientas que permiten evaluar disciplina tecnológica de forma independiente cada una y no como una sola en particular. La industria azucarera es una industria carente de buena disciplina tecnológica. Todos los elementos anteriormente mencionados serán abordados en el presente capítulo.

### **1.1-Factores que influyen en la disciplina tecnológica**

Para analizar la influencia de la disciplina tecnológica en el proceso es importante describir cuales son los aspectos a evaluar. Una investigación de las infracciones disciplinarias en una Empresa Textil rusa identifica como causa probable la forma limitada del control que se ejerce sobre el proceso de producción, siendo el resultado de las interacciones sociales y de las dificultades materiales y psicológicas (Morrison, 2003). También ha sido de interés de numerosos investigadores el estudio de los riesgos y los instrumentos de medición y control, principalmente en la industria alimentaria, los cuales son factores importantes que el consumidor percibe en los alimentos e influye en su vida útil (Siegrist, 2008). Un estudio de los factores que influyen en la capacidad empresarial en China evidencia que los atributos externos, sus interacciones y relaciones con la sociedad generan impacto en la capacidad y calidad de producción (Petti & Zhang, 2011).

Los Centrales Azucareros cubanos cuentan con tecnologías que se remontan a la década de los años 90. Si se consideran los factores analizados en las diferentes industrias, se puede plantear que un estricto control del proceso, de la instrumentación, normalización, materiales, mano de obra, mantenimiento y entorno socioeconómico conducen a un incremento de las ganancias, se

obtienen mejores resultados de los parámetros de calidad, se conduce un proceso más seguro y la afectación al medio ambiente es mínima (Luis, 2020).

### **1.1.1-Control del proceso**

Según Edward Deming, famoso estadístico estadounidense, el Control Estadístico de Procesos (CEP) es una colección de herramientas para la resolución de problemas, y aplica para medir, monitorear y controlar procesos por medio de gráficos o cartas de control. Se utiliza para revisar y garantizar que los procesos cumplan con las especificaciones de calidad establecidas. El principal objetivo del CEP es proporcionar una señal estadística cuando aparezcan causas de variación imputables (problemas corregibles) y lograr una alta calidad del producto reduciendo costos de producción al minimizar los defectos del producto. Se dice que un proceso se encuentra bajo control estadístico cuando las únicas causas de variación son causas especiales ( P.Martínez, 2017; Rendón, 2013).

El pionero del control estadístico univariado (una sola variable o característica) fue Walter Shewhart, al reconocer que en toda producción industrial se da variación en el proceso. Observó que no pueden producirse dos partes con las mismas especificaciones, lo cual se debe, entre otras cosas, a las diferencias que se dan en la materia prima, a las diferentes habilidades de los operadores y las condiciones en que se encuentra el equipo. Más aún, se da variación en las piezas producidas por un mismo operador y con la misma maquinaria (M. Gutiérrez, 2004).

Esta herramienta proporciona solo información parcial acerca del proceso, porque no considera la correlación existente entre las variables y al mismo tiempo, no se controla el error global de tipo I, por lo tanto, es ineficiente para controlar este tipo de procesos y puede conducir a decisiones erróneas. Esta limitación se soluciona incluyendo más de una variable, lo que aumenta la eficiencia en el control del proceso (M. Gutiérrez, 2004; Montgomery, 2004; Rendón, 2013).

El control estadístico multivariado fue inicialmente introducido por Hotelling en 1947; en este modelo dos o más salidas de un proceso, que pueden estar correlacionadas, son graficadas a partir del cálculo del estadístico  $T^2$  que relaciona el comportamiento de las medias, las varianzas y la covarianza entre ambas variables, con el fin de obtener una región elíptica de control, en el caso

de dos variables, o un gráfico de control de Hotelling, generalizado a más de dos salidas de proceso (Montgomery, 2012).

El principal problema que presentan los métodos de control de estadístico multivariados, tal como lo establece Agudo & Richard (2003), es que los cálculos son muchos y requieren conocimiento específico de álgebra lineal, por esto la aplicación de estos gráficos de control multivariados en la industria ha sido lenta; sin embargo, en la actualidad existen diversos software estadísticos que permiten efectuar los cálculos de una forma rápida y que han posibilitado un mayor desarrollo de estas técnicas. También en muchas ocasiones no permite determinar cuál o cuáles son las variables que están fuera de control.

Teniendo en cuenta los aspectos referidos en la bibliografía especializada sería factible analizar el proceso de ambas maneras, el control estadístico univariado utilizando las cartas de control para medias y rangos, para determinar si la variable individual se encuentra fuera de control y las posibles tendencias que pudiera existir; y el análisis multivariado utilizando el gráfico de control de Hotelling, para analizar el proceso considerando las interacciones entre las variables y ver en qué puntos el proceso de forma global se encuentra fuera de control (Agudo & Richard, 2003; A.M. Contreras et al., 2012; M. Gutiérrez, 2004; Montgomery, 2012).

### **Índice de capacidad del Proceso**

Una vez comprobado el estado bajo control del proceso es útil comparar los límites de especificaciones actuales (límites de norma interna o Normas Cubanas) con los límites de control obtenidos, adquiriendo así información sobre la capacidad o robustez del proceso. Una de las herramientas gráficas para evaluar la capacidad es el histograma, este permite observar si hay corrimientos de la dimensión nominal y da una impresión general del cumplimiento de la especificación (Moreno & Vargas, 2000). Otra manera de expresar la capacidad del proceso ( $C_p$ ) es en términos de un índice, Barraza Ortiz et al., (2019) lo definen de la manera siguiente:

$$C_p = \frac{(LSE-LIE)}{(USL-LSL)} \quad (1.1)$$

Donde: LSE= Límite superior de especificación, LIE = Límite inferior de especificación, USL = Límite superior de control y LCL = Límite inferior de control.

En el caso de tener límites de control 3s (capacidad básica de proceso) la expresión para el cálculo de la capacidad de proceso es:

$$C_p = \frac{(LSE-LIE)}{6s} \quad (1.2)$$

La definición de  $C_p$  dada por las expresiones supone de manera implícita que el proceso está centrado en la dimensión nominal. Si el proceso presenta corrimientos de este valor su capacidad real será menor que la indicada por el  $C_p$ . Es conveniente considerar el  $C_p$  como una medida de la capacidad potencial, por cual se debe emplear una medida de capacidad real denominada  $C_{pk}$ , que es un cociente de capacidad unilateral del proceso que se calcula a la media con respecto al límite de la especificación que presente más inconvenientes en ser cumplido.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LIE-m}{3s}, \frac{m-LSE}{3s}\right) \quad (1.3)$$

Una vez calculado el índice de capacidad de proceso para cada variable se compara con los valores que se presentan a continuación, incluyendo además las medidas de control a seguir según el caso.

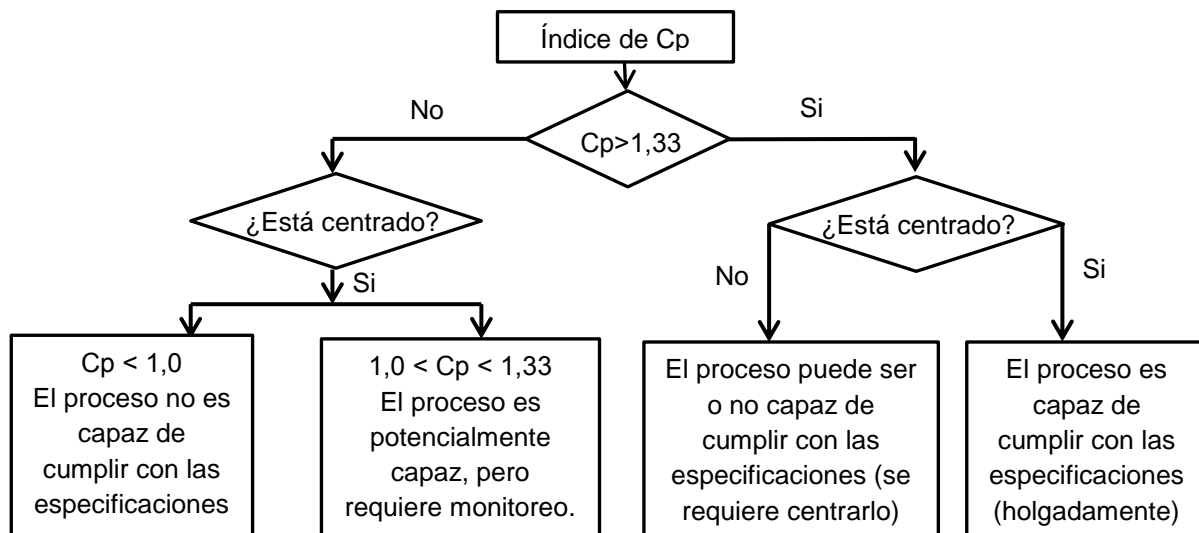


Figura 1.1. Árbol de decisión para analizar el proceso según el valor del índice de capacidad.

(Fuente: Elaboración propia)

### **1.1.2-Instrumentación**

El conocimiento del estado actual del proceso está dado por los valores de las variables contenidas en el modelo propuesto. Sobre la base del modelo, es posible analizar la instrumentación existente mediante técnicas y paquetes de softwares estadísticos que sirven para definir la cantidad mínima de instrumentos necesarios y su localización, a fin de obtener toda la información requerida del proceso (Bollaín, 2019; Guillén et al., 2010).

El monitoreo basado en modelos consiste en el uso de una combinación de modelos y mediciones en línea para producir estimaciones de variables medidas, identificar instrumentación que funciona mal, detectar operaciones inseguras y defectuosas e identificar eventos que puedan afectar la eficiencia y calidad de los productos (Bollaín, 2019; Montilla, 2002).

Para la selección y ubicación de instrumentos hay que considerar numerosos factores como la minimización de costos, estimabilidad, precisión, fiabilidad y error bruto de las variables claves (Maestre, 2012). Para analizar la importancia de una variable no medida en el proceso es necesario analizar si el sistema está diseñado en redes mínimas, esta técnica evita la pérdida de observabilidad del proceso cuando no se puede realizar la medición de dicha variable (Bollaín, 2019; Guillén et al., 2010; Maestre, 2012).

La importancia que tiene un instrumento para medir y controlar un proceso es valorada mediante la realización de un estudio que muestre como se diseña y selecciona la instrumentación, considerando el tipo de producto que se maneja, el tipo de instrumental que se necesita, si es indicador o transmisor que está en función de la necesidad del proceso, el rango de medición, su principio de operación, el tipo de conexión según el plano mecánico, el fabricante y el modelo (Bollaín, 2019; Montilla, 2002).

### **1.1.3-Mano de obra**

Uno de los temas más relevantes en la supervisión y administración de la obra de un proceso productivo es la forma de cuantificar diversos factores de interés que se presentan en el terreno (como la seguridad, calidad, rendimientos, entre otros), para que así se puedan tomar decisiones con datos e información objetiva sobre la realidad de la industria (Kisi, 2015; Simaan, 2010;

Temoche & Horna, 2019). Las distintas formas de medir la eficiencia de la mano de obra se pueden agrupar en técnicas de medición según la naturaleza de los datos que recolectan. Se puede identificar principalmente dos tipos de técnicas de medición usadas en procesos tecnológicos: Sistemas de Reconocimiento de Actividades (SRA) y Sistemas de Localización en Tiempo-Real (SLTR). Cada una de estas técnicas consta de varias alternativas para llevarse a cabo, en la figura 1.2 se muestra un esquema de las técnicas de medición y los principales sistemas implementados en terreno para llevarlas a cabo (Dozzi & AbouRizk, 1993; Gamarra et al., 2019).



Figura 1.2. Técnicas de medición. (Fuente: Elaboración propia)

### Sistema de Reconocimiento de Actividades

Esta técnica apunta a reconocer las acciones y movimientos de los trabajadores identificando si el trabajo que están realizando corresponde a trabajo contributivo o no contributivo. Los sistemas de medición que componen esta técnica se centran en medir el tiempo que los trabajadores emplean en acciones contributivas y/o no-contributivas (Kisi, 2015). El trabajo contributivo corresponde a todas las acciones que son necesarias ejecutar para poder llevar a cabo la tarea encomendada a un trabajador, es así que se pueden identificar dos tipos de acciones contributivas: acciones que agregan valor y acciones de apoyo. Las acciones que agregan valor son todas aquellas que contribuyen de forma directa, en el caso del área de producción, al progreso del proceso de extracción, la adición de la lechada de cal y el floculante en el área de clarificación, a la adición de los cristales en los tachos, entre otras. Las acciones de apoyo son todas aquellas que su



realización es necesaria, pero que no contribuyen de forma directa al avance del proceso, como por ejemplo escuchar instrucciones de los supervisores, inspeccionar la zona de trabajo, trasladar equipos y materiales, labores de limpieza de la zona de trabajo, herramientas o materiales, entre otras. En cambio, el trabajo no-contributivo corresponde a todas esas acciones que no contribuyen al trabajo encomendado a un trabajador y, por lo tanto, no le agregarán valor al progreso, ejemplos de estas acciones son tomarse descansos no programados, hablar/enviar mensajes de texto por el teléfono celular, conversar, fumar, tomar agua, entre otras. Se cuenta principalmente con tres sistemas de medición para esta técnica (Dhilipan et al., 2014; Fukunaga, 2013).

### **Muestreo del trabajo**

El muestreo del trabajo consiste en realizar una gran cantidad de observaciones de forma periódica, a trabajadores, máquinas o procesos que estén involucrados en cualquier operación, durante un período de tiempo determinado, para poder recolectar datos que permitan establecer qué tan productiva es la operación (Mavroforakis & Theodoridis, 2005).

Las principales ventajas de este método son: su simplicidad, no se requiere de equipos especiales para llevar a cabo el método, rápida disponibilidad de los resultados, bajo costo, no interfiere con las labores de los trabajadores, y muy útil para estudios de operaciones no-repetitivas. Sus principales desventajas son: procedimiento manual que requiere emplear observadores, mucho tiempo para la realización del método, y propenso al error e imprecisiones (Giacomantone et al., 2014; Kisi, 2015).

#### **1.1.4-Mantenimiento**

El mantenimiento industrial se basa en la revisión y control de todas las instalaciones, herramientas, maquinaria y todos los elementos relacionados con el proceso. La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles

mediante la utilización de estos activos para producirlos (Anojkumar et al., 2014; Fernández et al., 2019; Rajaeifar et al., 2019).

Se pueden mencionar cuatro tipos principales de mantenimiento: el mantenimiento correctivo, el preventivo, el predictivo y el temprano. El mantenimiento correctivo se basa en corregir acciones una vez detectadas, este tipo es el que menos seguridad aporta a la organización, ya que sólo se emplea cuando ha ocurrido la avería. Las Empresas que usan este tipo de mantenimiento creen que se emplean menos recursos económicos soportando la inactividad y añadiendo el tiempo de reparación que teniendo un plan de mantenimiento permanente. El mantenimiento preventivo se basa en reducir riesgos antes de que ocurran, mediante un plan exclusivo según las necesidades de la Empresa. De esta manera se reducen considerablemente los fallos, errores o averías debido a una constante revisión, según dicte la planificación en cada caso. El mantenimiento predictivo se basa en las estadísticas a raíz de la recopilación de datos. Si en algún momento la medición o análisis indica valores anómalos, se realiza una reparación o sustitución del elemento en cuestión. Por último, el mantenimiento industrial temprano se realiza para prevenir problemas antes de comprar, poner en marcha la maquinaria o instalar ciertos equipos. También cuando una Empresa está valorando la opción de lanzar un nuevo producto al mercado (Fernández et al., 2019; Rajaeifar et al., 2019).

El mantenimiento industrial del Grupo Empresarial Azcuba, se rige por normas y directivas de obligatorio cumplimiento que regulan los trabajos de montaje, reparación y mantenimiento de los equipos industriales durante todo el año azucarero, que comprende las siguientes etapas: desarme, revisión y conservación; reparaciones; prueba y afinación; puesta en marcha, asentamiento y zafra plena. Para lograr los objetivos del mantenimiento industrial azucarero es necesario organizar cuidadosamente todos los eslabones de la cadena de actividades enmarcadas dentro del año azucarero, cuya complejidad lo diferencia sustancialmente del resto de las industrias conocidas (Poveda, 1996).

Un estudio realizado por Batista & Portuondo (2002), evalúan la organización del mantenimiento de los centrales cubanos, haciendo énfasis en el central Fernando de Dios de la provincia de Holguín. Demuestran que la implementación de técnicas de mantenimiento

predictivo es la mejor opción para aumentar la productividad, calidad y disminución de los costos de producción del azúcar de caña.

Otro estudio realizado en la Industria Mielera “Amancio Rodríguez” de la provincia de Las Tunas, implementa un nuevo procedimiento que incorpora a las estrategias de reconversión basadas en el análisis de la tríada confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. En todas las áreas objeto de estudio se observa la baja efectividad del mantenimiento preventivo; sin embargo se avizoran los mayores problemas en la zona de generación de vapor la cual se manifiesta como un punto débil y zona de peligro en cuanto al riesgo por disminución de la disponibilidad, lo cual puede ir en detrimento de la sostenibilidad de la diversificación en este complejo, unido a las largas distancias que separan a la Empresa de sus plantas de derivados perdiéndose la integración másica y energética entre los mismos (de la Cruz et al., 2017).

### **1.1.5-Entorno socioeconómico**

Las industrias azucareras demandan especialmente obreros y operarios de producción, profesionales, técnicos y tecnólogos, y administrativos. Con lo cual, el sector se posiciona en un importante generador de empleo en la región donde se ubica, sin embargo se desconocen los rasgos socioeconómicos que poseen los individuos que laboran en estas organizaciones, así como las características específicas de sus puestos de trabajo (Contreras, 2007).

Considerando la teoría del capital humano, la cual parte de considerar que las fuentes de bienestar para los seres humanos son de diversos tipos, algunas de las cuales tienen origen en el consumo, otras del capital físico, y otras más provienen de los propios individuos. Estas últimas se refieren a inversiones en salud, educación, adquisición de habilidades en el trabajo, información sobre el mercado, entre otras (Nwosu et al., 2019; J. Wang et al., 2019). Para el cumplimiento eficiente de la disciplina tecnológica es necesario realizar un estudio del medio en que se desarrolla la Empresa. Una de las formas de estudiar el mercado es usando fuentes primarias y secundarias, con la finalidad de obtener la información necesaria para asegurar que el proyecto sea verídico. Dentro de las fuentes primarias están la experimentación y la encuesta, y dentro de las secundarias una de las más empleadas es la recogida de datos de centros estadísticos. Entre los principales elementos a estudiar se encuentran: consumo y frecuencia, preferencia, marcas más

consumidas, presentación, precio, lugares de adquisición, *marketing*, posicionamiento del producto y competencia (Salazar & Vargas, 2015).

### **1.1.6-Materiales**

En el diseño y desarrollo de cualquier proceso tecnológico, la selección de materiales es uno de los temas más desafiantes y también es fundamental para el éxito y satisfacción de las demandas de reducción de costos y mejor desempeño. Generalmente, los expertos eligen un material mediante la adopción de métodos de prueba y error, con una inversión de gran costo o se basan en la recopilación de datos preliminares, que conducen a una pérdida de tiempo (Gopinath et al., 2018; Jayabalan et al., 2019).

Al seleccionar materiales alternativos, se requiere una comprensión clara de las necesidades funcionales de cada componente individual y se deben considerar varios criterios importantes. Una selección incorrecta puede afectar negativamente la productividad, rentabilidad y reputación de una organización (Anastopoulos et al., 2017; Mahto et al., 2017; Setyowati, 2014).

Las complejas interrelaciones entre la variedad de materiales y sus criterios de selección frecuentemente hacen que el proceso de selección de materiales sea una tarea difícil y que requiere mucho tiempo. Por lo tanto, es necesario un enfoque sistemático y eficiente de la selección de materiales con el fin de elegir la mejor alternativa para un producto. Los grandes esfuerzos deben extenderse para determinar los criterios que influyen en la selección del material para eliminar las alternativas inadecuadas y seleccionar la alternativa del material adecuado para un producto utilizando métodos simples y lógicos (Darji & Rao, 2014; Jayabalan et al., 2019; Rajaeifar et al., 2019).

## **1.2-Aspectos sobre los que repercute la disciplina tecnológica**

### **1.2.1-Calidad**

La industria nacional debe adaptarse a los cambios del mercado, lo cual implica que las Empresas deben realizar en la mayoría de los casos las modificaciones de sus procesos productivos, para poder mantenerse competitivos. Estos ajustes tienen que ver con la reducción de sus costos,

tiempos de producción y la mejora de su calidad, lo que ha llevado a las Empresas a usar metodologías de *Lean Manufacturing* y en el caso de la calidad reforzar esta metodología mediante el uso de técnicas estadísticas (Contreras et al., 2019; Pulido et al., 2020).

La finalidad de todo proceso industrial es la reproducción del prototipo de un producto. Cuando el producto está bien diseñado y se fabrica cumpliendo las normas establecidas, el mismo cumple las expectativas para el cual fue elaborado. En consecuencia, se hace necesario que todos los productos se fabriquen ajustados a las normas, el control de calidad interviene para asegurar el fiel cumplimiento de estas normas por el producto (Contreras et al., 2019; Saturno, 2004).

Puesto que la calidad es variable, va en contraposición a la uniformidad y en la práctica esta situación se obvia llegando a la transacción entre ambos, estableciendo límites para definir las variaciones con respecto a las especificaciones cualitativas permisibles y tolerables en el producto final. Sin embargo existen elementos perturbadores que impiden que la producción se ajuste lo mejor posible a las especificaciones cualitativas, tales como: irregularidad en las máquinas, imprecisiones humanas, errores de los instrumentos de control, condiciones ambientales, entre otros (A. Rodríguez et al., 2010).

Antes de iniciar la fabricación de un producto, se requiere fijar las especificaciones de lo que se va a hacer. Después, viene la manufactura real de este producto y finalmente la comprobación para verificar si está de acuerdo con lo especificado. Al pensar en todos los puntos relacionados con la calidad es conveniente hacerlo en término de estas tres funciones: Especificación, fabricación e inspección (Hernandez & Pérez, 2019; Pulido et al., 2020).

### **1.2.2-Seguridad del proceso**

Los accidentes son tan antiguos como la actividad humana y algunos de los más antiguos vestigios arqueológicos indican que asegurar la seguridad de la actividad ha sido objeto de regulación desde la antigüedad (Medina et al., 2014). En la actualidad siguen ocurriendo accidentes que generan, en correspondencia con el impetuoso desarrollo industrial que se ha alcanzado, cuantiosas pérdidas tanto a la economía como al medio ambiente, además de cobrar cientos de vidas humanas. Como reclamo de la sociedad a la operación de forma segura de las

instalaciones industriales se hace necesario implantar un sistema de gestión del riesgo (SGR) que permita administrar los riesgos asociados a sus procesos (Ibarra et al., 2015).

Para aplicar un SGR se deben realizar las dos actividades siguientes:

1. Análisis de los peligros (PHA)
2. Análisis del riesgo

El análisis de los peligros tiene como función fundamental identificar, evaluar y mitigar los peligros potenciales que puedan dañar la seguridad y salud de las personas, causar pérdidas económicas y dañar el medio ambiente en las diferentes etapas de vida de un proceso (Ibarra et al., 2015). Mientras que el análisis del riesgo, completa el SGR ya que una vez identificados y analizados los peligros se deben de desarrollar otros estudios del tipo cuantitativo que permitan conocer la magnitud de los riesgos contraídos, considerándose que el riesgo es la consecuencia del accidente por la frecuencia con la que ocurre el accidente. Según Cabeza & Cabrita (2006), los estudios cuantitativos de riesgo tienen como objetivo específico la revisión cuantitativa de los riesgos que pueden presentarse en la industria de procesos, mientras que Medina et al., (2014) los definen como métodos detallados porque requieren de la identificación de fallas, la evaluación de los datos de fallos y un análisis de consecuencias. Una definición más completa la brindan Colmenares & Velásquez (2012), al definir estos estudios como un método de ingeniería y formulaciones matemáticas, combinadas con información estadística de fallas, para producir resultados numéricos de consecuencias de accidentes y sus frecuencias o probabilidades de ocurrencia, usados para estimar riesgos.

### **Análisis de peligros**

En cualquier industria de alimentos, la inocuidad de los productos debe considerarse, sin ninguna duda, la prioridad máxima. Un alimento inocuo es lo que cualquier cliente espera, esto es evidente, y no negociable a diferencia de otras características del producto. Los inconvenientes por microorganismos en la industria azucarera son muy diversos entre ellos los más relevantes se encuentran en las zonas de recolección y en el proceso productivo (principalmente en las etapas de extracción y clarificación) (Rodríguez, 2018).

El análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP), fue desarrollado como técnica por la Administración Nacional de Aeronáutica del Espacio, NASA por sus siglas en inglés, en los años 60. Se desarrolló con la finalidad de diseñar y producir alimentos para los astronautas, los cuales debían estar libres de patógenos que pudiesen causar alguna enfermedad a la tripulación, ya que los métodos tradicionales no daban la suficiente garantía de producir alimentos seguros. Es conveniente señalar que inicialmente el HACCP fue un sistema de control de la producción a escala industrial, voluntario, específicamente orientado a los aspectos de la seguridad de los alimentos (Feng et al., 2019; Tian, 2017).

Sin embargo, desde el principio fueron evidentes las ventajas de su aplicación, respecto a los métodos clásicos, cuando se le analizaba desde el punto de vista de la inspección del producto. Así el HACCP viene a ser utilizado por primera vez, desde un punto de vista reglamentario, por el *Food and Drug Administration* (FDA) de Estados Unidos de América, con relación al control del proceso y prevención del peligro de la toxina del *Clostridium botulinum* en conservas de baja acidez (Feng et al., 2019; Soman & Raman, 2016).

### **Análisis de riesgos**

Las plantas químicas no deben ser solamente rentables desde el punto de vista económico, deben evitar o minimizar también el riesgo ante los factores tecnológicos, colocando esto a la seguridad como uno de los principales componentes en la operación de estas plantas (Medina et al., 2014). Para evitar o minimizar el riesgo primero hay que identificarlo y evaluarlo, la evaluación del riesgo consiste en determinar las consecuencias y sus probabilidades de hechos de riesgo identificados, teniendo en cuenta la presencia (o no) y la eficacia de cualquier control existente combinándose consecuencias y probabilidades para determinar un determinado nivel de riesgo. Los métodos utilizados en el análisis de riesgos pueden ser cualitativos y semicuantitativos (Akay, 2011).

Los métodos más usados en el análisis de riesgo según Casal et al., (2001) son:

Métodos cualitativos: Auditoría de seguridad (*Safety review*) análisis histórico de accidentes, análisis preliminar de peligros (*Preliminar Hazard Analysis, PHA*), listados de control, análisis

de peligro y operabilidad (*Hazard and Operability Analysis, HAZOP*) y análisis de modos de fallo y efectos (*Failure Mode and Effect Analysis, FMEA*).

Métodos semicuantitativos: Índice *DOW*, Índice *Mond*, Índice *SHI* y *MHI* (*Substance Hazard Index and Material Hazard Index*), Árboles de fallos (*Fault Tree, FT*) y Árboles de sucesos (*Event Tree, ET*).

El Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos (FMEA) fue gestado dentro de la Norma *Military Standard* “MIL-STD16291”, que data de 1949, donde se titula “Procedimientos para la realización de análisis de modo de fallo, efectos y criticidad”. A mediados de 1960 la industria aeroespacial americana lo pone en práctica, con algunas modificaciones, en los primeros viajes espaciales realizados por la NASA (Li & Chen, 2019; Liu et al., 2019; Nie et al., 2018; Wang et al., 2018). El procedimiento FMEA busca identificar fallas potenciales en un proceso o producto y sus posibles efectos, para luego determinar la forma de evitarlas. Su carácter es entonces preventivo, anticipándose a los posibles errores antes que estos afecten la calidad del producto final, mostrando también espíritu de mejora continua. Se trata de una herramienta sistemática y de trabajo en equipo, que pretende asegurar que se han considerado y analizado todos los fallos potencialmente concebibles. Estableciendo finalmente las acciones necesarias para la prevención de un fallo o la detección de este en caso de que ocurra. (Ghoushchi et al., 2019; Li & Chen, 2019; Nie et al., 2018).

### **1.2.3-Economía**

Los recursos o factores se tornan cada vez más escasos y, como resultado, la toma de decisiones para definir las distintas alternativas de uso debe ser lo más eficiente posible para poder aspirar al desarrollo sostenible de los sistemas productivos. Para mejorar la eficacia de técnicos y productores en la toma de decisiones para optimizar la distribución de los recursos, es necesario dar seguimiento y efectuar un análisis económico de las alternativas tecnológicas disponibles (Paz & Hernández, 2015; Santochi et al., 2015).

El análisis económico viene a constituir una herramienta importante, aplicable a cualquier sistema productivo, para establecer las bases de una adecuada distribución de los recursos



disponibles entre las distintas etapas del proceso. Está dirigido a evaluar flujos y resultados económicos que, como el análisis de proceso y social, será un criterio para la toma de decisiones en las distintas actividades del proceso de producción de azúcar crudo (Abreu et al., 2016; Paz & Hernández, 2015).

### **El modelo de costo de calidad PAF (Prevención- Evaluación- Fallas)**

Feigenbaum (1991), propuso un modelo para analizar el costo de la calidad que es universalmente aceptado (Plunkett & Dale, 1987; Porter & Rayner, 1992). Este modelo supone que los costos de producción pertinentes a los cambios en la calidad pueden ser divididos en tres categorías: costos de prevención, costos de evaluación y costos de fallas, y pueden ser definidos como sigue (British Standard Institution, 1981):

#### Costos de prevención

Estos son los costos de las actividades dedicadas a la prevención de defectos que ocurren durante el desarrollo, producción, almacenamiento y transporte de un producto. Se refieren a la calidad, antes que una sola unidad de producto sea elaborada. Usualmente representan los costos previos, que deberían minimizar el costo global, por la realización de cada tarea adecuada y con éxito, desde el primer intento.

#### Costos de evaluación

Estos son los costos de inspección y ensayos para asegurar que los productos, partes y materias primas cumplen con los requerimientos de calidad. Este es generalmente el tipo más fácil de costos para medir. Como la temperatura es el parámetro individual más importante en la implementación del HACCP, los costos relacionados con la medición, registro y control de temperatura, incluida la calibración del equipo, deben ser considerados como costos de evaluación. El nivel del costo de este ítem puede ser un buen indicador de la implementación del HACCP.

#### Costos de fallas

Los costos originados por fallas para lograr la calidad especificada. Estos pueden ser divididos en costos internos y externos, si las fallas son producidas dentro de la planta o después de la

transferencia del propietario al cliente. Los costos por fallas internas incluyen los desechos y reprocesamiento. Los costos por fallas externas son los costos de los defectos encontrados después del envío al comprador o consumidor. Este tipo de falla es probablemente la más cara de todas. Debido a las implicaciones comerciales, es muy difícil encontrar valores de este tipo de costo y las industrias azucareras, en general, no son vulnerables al mismo.

Los costos de calidad no son fáciles de determinar a partir de los informes rutinarios de la contabilidad estándar y deben ser primero identificados y registrados en forma separada, en un libro contable auxiliar o en una cuenta acumulativa. (Delfín & Acosta, 2016; Sandholm, 1987).

#### **1.2.4-Medio ambiente**

La intervención del hombre en la naturaleza comenzó hace miles de años y el proceso de daños a causa de la actividad humana fue escaso y lento al inicio, sin embargo, hoy en día, el uso de sustancias químicas utilizadas en la agricultura y en la industria, el uso irracional de recursos y la contaminación, entre otros factores, destruyen en minutos lo que la naturaleza construyó en siglos o milenios.

Como uno de los problemas de la industria azucarera y que conduce a la contaminación ambiental está el uso de los combustibles fósiles, donde es usado con frecuencia el fuel oil en la producción de energía en el proceso de obtención de azúcar, así como en refinado y producción de otros derivados. También se emplea la biomasa cañera, la cual contribuye de manera importante a la red energética nacional. A todo esto se le suma el efecto positivo sobre el medio ambiente que ejercen todos estos combustibles, que permitirán hacer de Cuba uno de los destinos turísticos más importantes del Caribe y el mundo (Díaz, 2018; Rodríguez & Batista, 2009; Rubio & Rubio, 2018), pero la contaminación atmosférica no es la más preocupante en dicha industria, los grandes volúmenes de agua hacen de este sector una alarma medioambiental.

El agua es una sustancia que la industria usa en cantidades considerables con diferentes aplicaciones, para calentar y enfriar, para producir vapor de agua, como disolvente, materia prima y limpieza. La industria azucarera tiene un consumo elevado de agua vinculada al proceso productivo en general, al mismo tiempo elevadas pérdidas al medio ambiente. Si se toma en

cuenta que de la masa de caña que llega a la fábrica, el 70 % de la misma es agua, es completamente irracional que dicha industria obtenga esas cifras, siendo explicable, por una falta de control total sobre este recurso energético y medio ambiental (Rodríguez & Batista, 2009).

Las causas que influyen o determinan el consumo de agua en un ingenio azucarero son de diferente naturaleza, y algunas de ellas están muy estrechamente relacionadas. Estudios realizados en diferentes fábricas de azúcar señalan factores como: no uniformidad en el régimen horario de molienda, utilización de un exceso de equipos en relación con los que son realmente necesarios para la molienda, desaprovechamiento de las aguas condensadas e inadecuados sistemas de recuperación, subutilización de las capacidades propias para la generación de energía eléctrica, instalación de motores eléctricos de capacidad excesiva que provocan mayor demanda de vapor, desaprovechamiento de las máximas capacidades potenciales de los evaporadores de múltiple efecto, cañas de pobre calidad y con exceso de materias extrañas, mala operación de calderas y hornos y uso inadecuado del vapor en equipos de procesos (Díaz, 2018; Ramos, 2005; Rodríguez & Batista, 2009; Rubio & Rubio, 2018).

### **1.3-Conclusiones parciales**

- Los principales factores que influyen sobre la disciplina tecnológica son: control del proceso, instrumentación, entorno socioeconómico, normalización, mano de obra y mantenimiento.
- Una evaluación eficaz del control del proceso se realiza integrando los métodos de cartas de control para medias y rangos, las cartas de control de Hotelling, el índice de capacidad del proceso y las pruebas de hipótesis para verificar el cumplimiento de la norma.
- Los principales aspectos sobre los que repercute la disciplina tecnológica son: economía, calidad, seguridad y medio ambiente.

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se realiza un análisis de las principales causas que inciden en la disciplina tecnológica en la UEB Central Azucarero “Mario Muñoz Monroe” de Matanzas, así como su influencia sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente. La figura 2.1 describe el proceder metodológico que se aplica en la investigación y los diferentes aspectos que se evalúan en el proceso.

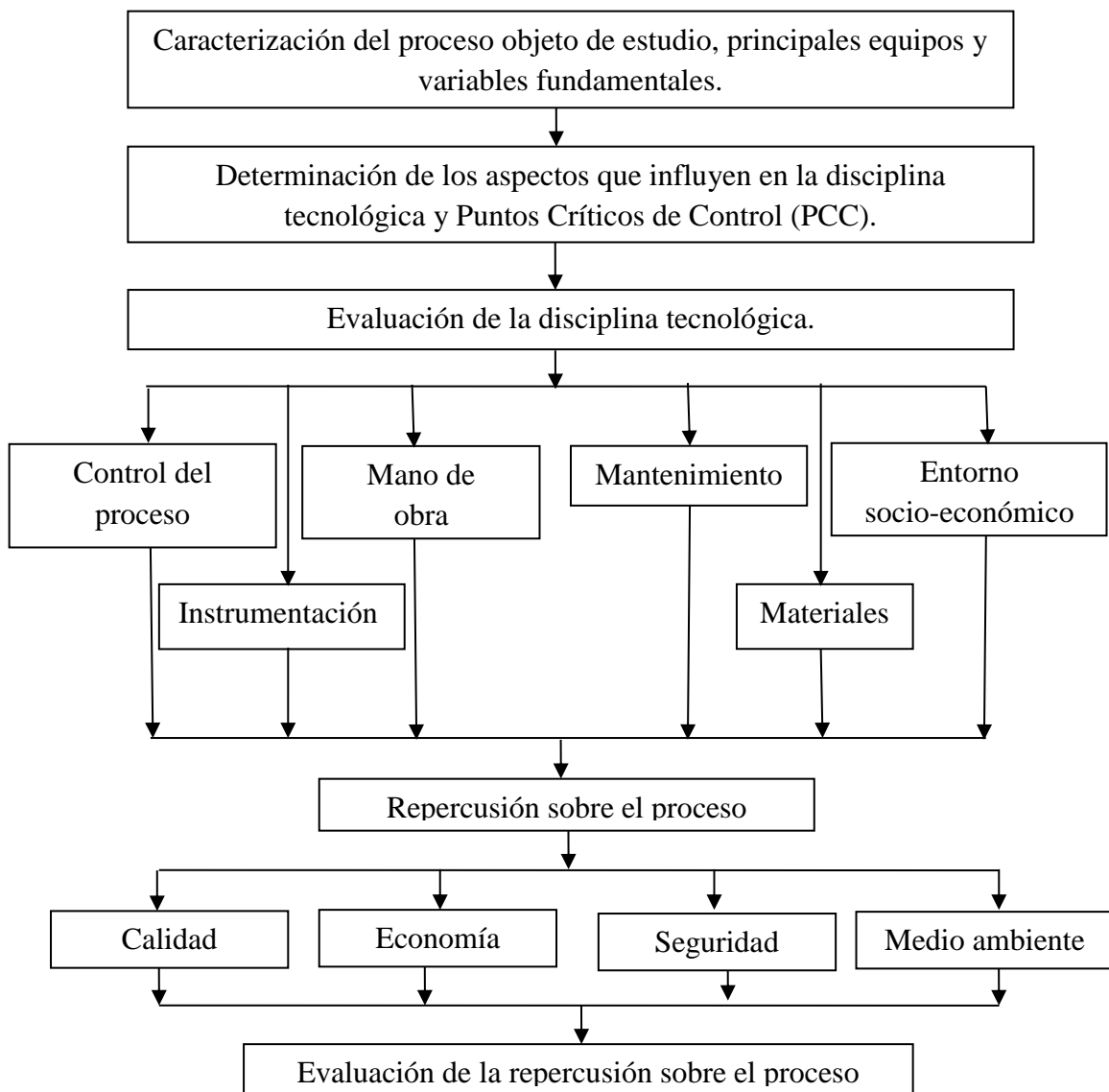


Figura 2.1- Proceder metodológico. (Fuente: Elaboración propia)

## **2.1- Descripción del proceso objeto de estudio**

El proceso productivo comienza en la UEB con la etapa de cultivo donde se prepara el terreno, se estudian las potencialidades de regadío, las variedades de caña de acuerdo a la programación de corte, entre otras actividades que garantizan una máxima constitución de azúcar en la caña. El proceso tecnológico está integrado por diferentes sistemas continuos y discontinuos, donde existe un gran volumen de producción con múltiples operaciones unitarias que son las principales responsables de la obtención de un rendimiento satisfactorio. Para el estudio del mismo se puede dividir en cuatro etapas principales:

- 1-Preparación y molienda de la caña.
- 2-Purificación del jugo extraído.
- 3-Evaporación y concentración.
- 4- Cristalización y centrifugación.

En el **Anexo 1** se muestra la descripción del proceso productivo más detallado y el diagrama de flujo.

## **2.2-Determinación de los aspectos que influyen en la disciplina tecnológica**

Los aspectos que influyen en la disciplina tecnológica se determinaron a través de una búsqueda bibliográfica, en la selección de estos se consultaron artículos científicos, publicaciones de revistas indexadas, bases de datos, así como libros clásicos de la temática en cuestión, además de consultas a especialistas de esta rama de producción. Los parámetros que tienen influencia sobre la disciplina tecnológica ya han sido abordados en el epígrafe 1.1, así como los aspectos que deben ser estudiados y analizados para emitir criterios en la industria en cuestión.

Para la determinación de las causas que influyen sobre cada uno de los aspectos se emplea el diagrama causa-efecto. Esta herramienta permite seleccionar de las posibles causas, cuáles influyen con mayor fuerza sobre uno o varios problemas planteados. Se utiliza para identificar los peligros relacionados con un proceso, identificando además las causas-raíz, o causas principales, de un problema o efecto, clasificando y relacionando las interacciones entre factores que están afectando al resultado del proceso. El diagrama de causa efecto se realiza tomando criterios de la

experiencia de especialistas de este proceso, que conocen a profundidad sus problemas y las causas posibles y reales que los generan, sin embargo, tiene como limitación que es una técnica cualitativa y no permite entonces dar un criterio commensurable de la influencia de cada causa sobre los problemas planteados.

Se analiza cada uno de los aspectos que influyen sobre la disciplina tecnológica de forma independiente.

- Control del proceso: se toman las variables durante veinte días y se le realiza un análisis estadístico y se elaboran las cartas de control para medias y rangos, cartas de control de Hotelling, se calcula el índice de capacidad del proceso y se comparan con la norma a través de prueba de hipótesis.
- Instrumentación: se evalúa mediante un inventario de los equipos, destacando los que se encuentran ausentes que son indispensables para el control del proceso.
- Mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico: se aplica encuesta al personal calificado sobre los aspectos individuales que influyen sobre la disciplina tecnológica, posteriormente se procesaran los resultados para depurar aquellos que se consideran menos significativos, esto se obtiene de la opinión de los encuestados, siempre con un razonamiento posterior por parte de los integrantes de dicha investigación.
- Mano de obra: se evalúa con el empleo de técnicas de medición de sistemas de reconocimiento de actividades.

En los epígrafes posteriores se analizan detalladamente cada uno de los elementos abordados.

### **2.3-Metodología para el análisis de peligros y la determinación de los puntos críticos de control**

El análisis de peligros y puntos críticos conocidos como HACCP es un método dirigido a la identificación, evaluación y control de los peligros asociados con las materias primas, ingredientes, comercialización y su uso por el consumidor, con el fin de garantizar la inocuidad del producto final.

Según Vukman et al. (2021), existen siete principios para la aplicación de la metodología del sistema de HACCP. En la investigación se aplican los dos primeros principios que corresponden a la realización del análisis de peligros y la determinación de puntos críticos de control. El resto de los principios serán abordados en futuras investigaciones.

#### Principio 1: Realizar un análisis de riesgos

Utilizando el diagrama de flujo como guía, el equipo de HACCP indica y enumera todos los peligros biológicos, químicos o físicos que se han de prever en cada etapa del proceso; efectúa un análisis de peligros para determinar si la prevención, eliminación o reducción a niveles aceptables es esencial para la producción de un alimento inocuo y enumera las medidas de control que pueden ser aplicadas para controlar cada peligro (COVENIN, 2002).

El equipo considera las medidas de control que pueden aplicarse para cada peligro identificado. Para controlar un peligro específico se aplican más de una medida; o bien, más de un peligro puede controlarse con una medida de control específica. Con frecuencia, las medidas de control ameritan ser reforzadas mediante especificaciones detalladas y/o procedimientos que aseguren su implementación efectiva (COVENIN, 2002).

#### Principio 2: Determinar los puntos críticos de control (PCC)

Se denomina punto crítico a aquellos lugares o etapas del proceso donde un error es irreversible, o sea que no puede ser rectificado en etapas posteriores. La determinación de los puntos críticos posibilitará conocer los lugares que son claves para que no haya afectaciones a la calidad del producto. Para lograr una mayor efectividad en la localización de los Puntos Críticos de Control, COVENIN (2002), crea una metodología planteada en el **Anexo 2**.

## **2.4- Procedimientos para evaluar los diferentes aspectos de la disciplina tecnológica**

### **2.4.1- Control del proceso**

Los elementos a medir dentro del control del proceso se muestran en la tabla 2.1. Estos elementos son seleccionados en función de la frecuencia con que se registra y su fiabilidad, lo cual hace que

puedan ser usados en este análisis. En la columna número tres se muestran los valores normados por el Central Azucarero para cada una de las variables.

*Tabla 2.1-Parámetros seleccionados para evaluar el control del proceso y la calidad*

Etapa	Parámetro	Valor normado
Extracción	Flujo de caña (t/h)	291,6
	Flujo de agua de imbibición (AI) (m <sup>3</sup> /h)	≤ 90
	Temperatura del AI (°C)	60-80
	Presión del último molino (Pa)	=2600
	Pol en bagazo (%)	≤ 1,88
	Humedad del bagazo (%)	≤ 50
	Fibra en caña (%)	≤ 15,5
	Pol en caña (%)	12-14
	Brix del jugo mezclado (°Bx)	≤ 14
	Materia extraña (%)	≤10
	Caída de pureza del jugo mezclado- jugo primario (%)	≤ 1,07
	Brix de la zanja (°Bx)	≤ 1,2
Purificación	pH del jugo alcalizado	6,8-7,1
	Temperatura del jugo alcalizado (°C)	102-105
	Pol en cachaza (%)	≤ 2,30
	Concentración de la lechada de cal (Bé)	= 4
	pH del jugo clarificado	6,8-7,1
	Brix del jugo filtrado (°Bx)	11-13
	Pureza del jugo clarificado (%)	>80
	Humedad de la cachaza (%)	≤ 74
	Cachaza % caña (%)	>4
Brix de la zanja (°Bx)	≤ 1.2	
Evaporación	Brix de la meladura (°Bx)	60-65
	Pureza de la meladura (%)	>80
	Presión de vacío del último vaso (atm)	≥ 0,85
	Presión en la calandria del 1er vaso (atm)	0,3-0,8
	Caída de pureza MC A- miel A (%)	≥ 14
	Caída de pureza MCB- miel B (%)	≥ 18
	Brix de la masa A (°Bx)	≥ 92,50
	Brix de la masa B (°Bx)	94-95



Tachos	Pureza miel final (%)	$\leq 58$
	Brix de miel A pura ( $^{\circ}\text{Bx}$ )	78-80
	Brix de miel A diluida ( $^{\circ}\text{Bx}$ )	60-65
	Brix de miel B pura ( $^{\circ}\text{Bx}$ )	86-89
	kg miel/ t de caña molida	$\geq 31,64$
	Presión de vapor (Pv) en tachos (Tacho 2 al 7) (atm)	$\geq 0,5$
	Presión de vacío en tachos (Tacho 2 al 7) (atm)	$\geq 0,85$
Azúcar	Pol (%)	$\geq 99,0$
	Color ICUNSA	$\leq 1500$
	Color Horne	$\leq 13$
	Humedad (%)	$\leq 0,20$
	Tamaño de grano sobre maya 20 (%)	$\geq 60$
	Insolubles (%)	$\leq 0,03$
	Reductores (%)	$\leq 0,25$
	Cenizas (%)	$\leq 0,20$
	Partículas Ferromagnéticas	$\leq 6$
	Dextrana (ppm)	$\leq 200$
	Almidón (ppm)	$\leq 200$
	pH	7
	Factor de Seguridad	$\leq 0,20$

Fuente: Normas para el control del proceso y la calidad del Central “Mario Muñoz Monroe”

Los parámetros mostrados en la tabla 2.1 se monitorean durante 20 días de producción, tomando un total de cinco réplicas para la mayoría de las variables. Las temperaturas que se analizan se muestrean en los termómetros infrarrojos existentes en la industria y algunos *in situ* que posee la tecnología. Las unidades de medición empleadas en la investigación son las establecidas por la norma interna del central, no se realiza conversiones al Sistema Internacional de Unidades para evitar errores de aproximación.

Para la elaboración de las cartas de control para medias y rangos se seleccionan aquellas variables que son monitoreadas con más de tres réplicas al día. Se considera que una variable se encuentra fuera de control estadístico cuando existe una tendencia ascendente o descendente, al menos un punto se encuentra fuera de los límites de control, tanto inferior como superior, hay cinco puntos

consecutivos en una misma zona del gráfico y cuando presenta un comportamiento errático (Alicia et al., 2015; H. Gutiérrez, 2006; Montgomery, 2012; Peñabaena et al., 2013).

Para la elaboración de las cartas de control de Hotelling se seleccionan todas las variables del proceso. Esta herramienta permite analizar el estado de control del proceso considerando la interacción entre las variables. Se analiza cada etapa del proceso tecnológico de forma independiente, donde se evalúa el estado de control de la etapa, exceptuando la etapa de tachos en la cual se analiza cada variable en función de la masa cocida que se elabora, como se muestra en la tabla 2.2. Después de analizar el estado del proceso, se analiza la capacidad del proceso utilizando la metodología planteada por Barraza Ortiz et al., (2019), haciendo uso del árbol de decisión de la figura 1.1 donde es necesario calcular los índices  $C_p$  y  $C_{p_k}$ .

*Tabla 2.2-Parámetros seleccionados para evaluar el estado de control de la etapa de tachos en función de la masa cocida elaborada*

Masa cocida A (MCA)	Masa cocida B (MCB)
Caída de pureza MCA- miel A	Caída de pureza MCB- miel B
Brix de la masa A	Brix de la masa B
Brix de miel A pura	Pureza miel final
Presión de vapor en tachos (Tacho 4)	Brix de miel A pura
Presión de vapor en tachos (Tacho 6)	Brix de miel A diluida
Presión de vapor en tachos (Tacho 5)	Brix de miel B pura
Presión de vapor en tachos (Tacho 4)	kg miel/TM de caña
Presión de vacío en tachos (Tacho 7)	Presión de vapor en tachos (Tacho 3)
Presión de vacío en tachos (Tacho 6)	Presión de vapor en tachos (Tacho 2)
Presión de vacío en tachos (Tacho 5)	Presión de vacío en tachos (Tacho 3)
Presión de vacío en tachos (Tacho 4)	Presión de vacío en tachos (Tacho 2)

Fuente: Elaboración propia

Para complementar los resultados de las cartas de control, se utiliza las pruebas de hipótesis como herramienta estadística para comprobar el cumplimiento de la norma de las diferentes variables en el proceso. Se le aplica las pruebas de hipótesis a las variables de las etapas de extracción, purificación, evaporación y tachos después de haber comprobado el supuesto de normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk. Se emplean tablas complementarias que recogen los resultados y cuyos modelos se muestran en las tablas 2.3 y 2.4.

*Tabla 2.3-Formato empleado para evaluar el cumplimiento de las normas del proceso*

Parámetro	Valor normado	Valor medio	CV (%)	Desviación estándar	Cumple con la norma

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 2.4-Formato utilizado para resumir el cumplimiento de las normas de operación*

Etapas del proceso	Cantidad de operaciones controladas	Cantidad de parámetros controlados	Cumple con la norma según prueba de hipótesis	No cumple con la norma según prueba de hipótesis
Total				

Fuente: Elaboración propia

Para la realización de las cartas de control (medias, rangos y Hotelling), la comprobación del supuesto de normalidad de las variables y el cumplimiento de la norma se utiliza el programa estadístico *Statgraphics Centurion XV*.

### **2.4.2-Instrumentación**

La evaluación del estado de la instrumentación se realiza mediante un inventario, en el que se recoge la cantidad de instrumentos existentes y que deberían existir, las mediciones y la cantidad de estas que se realizan de acuerdo a lo normado, entre otros. Para poder contabilizar las mediciones y determinar a qué parámetros se le realizan menos controles se analiza la variable controlada, los puntos de control, el tipo de medición (directa o indirecta), la frecuencia y si se registra. Todo esto permite emitir criterios sobre el estado de la instrumentación en el proceso. Los elementos son mostrados en la tabla 2.5.

*Tabla 2.5-Formato empleado para evaluar el estado instrumental*

Parámetros	Cantidad a controlar por norma	Controles reales	Cuántas no se hacen de la norma	Cuántas se hacen no normadas	Registros

Fuente: Elaboración propia

### **2.4.3-Mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico**

La lista de chequeo y el diagrama de causa-efecto se emplean para evaluar el estado de la mano de obra, el mantenimiento y el entorno socio-económico. La lista de chequeo se elabora a partir de criterios de especialistas de la empresa en esta rama de la producción, criterios del autor de este trabajo y elementos e interrogantes de otras listas de chequeo obtenidas en la bibliografía especializada. Estos elementos se evalúan de forma cualitativa, se elabora también una tabla donde se registra la cantidad de interrogantes que dan resultado negativo y positivo para poder realizar el análisis correspondiente.

#### **Análisis de la productividad de la mano de obra**

- **Sistema de recolección de datos**

El sistema de medición de datos es diseñado específicamente para esta investigación, consiste en realizar observaciones cada 15 minutos a los trabajadores que operan en las diferentes etapas del proceso y anotar en una plantilla la tarea que está realizando. Las tareas a observar se determinan en dependencia de su ubicación en el proceso. Las observaciones se restringen solamente a la zona donde trabaja en la operación analizada. Sí a los trabajadores se les asigna tareas en otros lugares o tareas relacionadas a otra operación distinta a la analizada, simplemente no se registra en la planilla. De este modo se tiene un registro de las tareas que efectivamente se llevan a cabo en cierto momento y por cuanta cantidad de trabajadores. Por lo tanto, con los datos recolectados, se puede hacer una estimación del “tiempo efectivo” por trabajador que se necesita para cada tarea. La estimación del tiempo efectivo por trabajador que se necesita para realizar cada una de las tareas se evalúa teniendo en cuenta el total de observaciones asignadas a cada acción al finalizar el ciclo, multiplicado por el tiempo entre observaciones (15 min).

En la tabla 2.6 se muestra la planilla en la que se lleva el registro de las observaciones realizadas.

Tabla 2.6 Planilla de muestreo de actividades cada 15 minutos

Actividades →	Medición de variables operacionales	Modificación de condiciones operacionales	Adición de materiales	Análisis cualitativo de parámetros de calidad	Mantenimiento	Transporte de materiales	Limpieza	Traslado	Apoyo en otras áreas	No-productivo	Observaciones
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tiempo											
08:00											
08:15											
08:30											
08:45											
09:00											
09:15											
09:30											
09:45											
10:00											

Fuente: Elaboración propia

De todas formas, se registran los tiempos de las “duraciones cronológicas”, es decir, la duración entre inicio y fin de todas las actividades. Pese a que esta información pierde relevancia debido a factores como la discontinuidad en la realización de las tareas y la variación en la dotación de trabajadores, es importante registrar esta información para poder darle contexto a los datos recolectados. En la tabla 2.7 se muestra la planilla en la que se lleva el registro de las duraciones cronológicas de las actividades.

Tabla 2.7 Planilla de duración cronológica de actividades

	Actividad	Inicio	Término	Duración	Observaciones
1	Medición de variables operacionales				
2	Modificación de condiciones operacionales				
3	Adición de materiales				
4	Análisis cualitativo de parámetros de calidad				
5	Mantenimiento				
6	Transporte de materiales				
7	Limpieza				
8	Traslado				
9	Apoyo en otras áreas				
10	No-productivo				

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones se realizan durante toda la jornada laboral, la cual comprendía desde las 8:00 hasta las 18:00, entre 12:30 y 13:30 se interrumpía la jornada por almuerzo. Las actividades se

inician de manera efectiva a las 8:30, ya que los primeros minutos de la jornada se utilizaban para cambio de turno. Se realiza la medición de un total de 5 días de proceso productivo.

- **Estimación de la productividad de frontera**

Para determinar el valor de la productividad frontera se implementa la metodología de Nirajan et al. (2020). Consiste en determinar la productividad frontera (“Duraciones Observadas”), analizar los datos de tiempo efectivo medido y tomar los menores tiempos obtenidos para cada tarea. Se considera en el análisis solo los tiempos efectivos de las tareas contributivas realizadas por los operarios. Los menores tiempos efectivos de cada tarea son sumados para determinar el menor tiempo efectivo posible para un ciclo a partir de los datos obtenidos, este dato será llamado “menor duración posible observada”.

- **Estimación de las ineficiencias del sistema**

Para estimar las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema se usa un Modelo Cualitativo de Factores (QFM). El modelo se basa en una técnica de puntuación de gravedad y de probabilidad de ocurrencia de los factores presentes en la obra que afectan a la productividad de la operación estudiada. Según Kisi (2015), los valores de los puntajes de gravedad se asignan de la siguiente manera: 0 - ningún impacto, 1- impacto muy bajo, 2 - impacto bajo, 3 - impacto medio. 4 - impacto alto y 5 - impacto muy alto y también usa la probabilidad para definir la frecuencia en que los factores estarían presentes o afectando el proceso.

Esta información se obtiene a través de encuestas (tabla 2.8) que se realizan a integrantes del proceso que tienen directa relación con la operación analizada, ya sea algún grado de responsabilidad en la línea de mando o trabajadores experimentados en la operación. Estas personas se eligieron por su grado de conocimiento de las condiciones del proceso y de las características de la operación. Las personas encuestadas corresponden a: Director del Central, Jefe de Producción y Jefes de diferentes áreas del proceso productivo (extracción, purificación, cristalización, generación de vapor, tratamiento de agua y mantenimiento).

Tabla 2.8 Encuesta realizada a los trabajadores del proceso para el análisis cualitativo de factores que afectan la productividad de la mano de obra

Factor		Puntos de gravedad (G)	Probabilidad de ocurrencia (P-%)	G*P
1	Nivel de capacitación de los operarios			
2	Puntualidad de los operarios			
3	Supervisión del proceso			
4	Errores operacionales			
5	Altas temperaturas			
6	Elevados niveles de ruido			
7	Accidentes de trabajo			
8	Experiencia de los empleados			
9	Condiciones inestables de seguridad			
10	Equipos en mal estado			
11	Falta de herramientas e instrumentación			
12	Elevados niveles de congestión			
13	Ausencia de medios de protección			
14	Inestabilidad en la entrada de caña de azúcar			
15	Escasa generación de vapor			
Total				

Fuente: Elaboración propia

Además, el modelo también se basa en el cálculo de las ineficiencias a través de la ecuación 2.1. Es importante destacar que esta ecuación se logró simplificar debido a las particularidades del proceso y de la operación estudiada. En primer lugar, las zonas del proceso en que se intervino durante el estudio realizado tienen las mismas características, por lo tanto, los pesos relativos de las zonas de trabajo eran iguales. Además, se impuso el supuesto de que las características cualitativas de las zonas de trabajo eran las mismas, es decir, los factores que influyen en la productividad de la mano de obra impactan de igual manera independiente de la zona de trabajo en cuestión. Lo antes explicado justifica el poder simplificar la ecuación inicial a la ecuación que finalmente se utilizó en el cálculo de las ineficiencias del sistema.

$$\Delta'_{is} = \Delta'_{(PF-LIPO)} * \sum_{i=1}^m \left( \frac{S_i * P_i}{TS_i} \right) \quad (2.1)$$

Donde:

$\Delta'_{is}$  - estimación de las pérdidas de productividad por ineficiencias del sistema.

$\Delta'_{(PF-LIPO)}$ - estimación de la diferencia entre la productividad frontera y el límite inferior de la productividad óptima.

m- número de factores que afectan la productividad de la mano de obra.

i- factores de ineficiencias del sistema en cada zona de trabajo z.

$S_i$ -puntuación de gravedad del factor de productividad individual i.

$P_i$ -probabilidad del factor de productividad individual i.

$TS_i$ -puntuación total de gravedad (suma de las puntuaciones de gravedad para todos los factores de productividad).

Luego de que se contestan las encuestas, se toman los valores promedio para la puntuación de gravedad y probabilidad de cada factor a partir de los resultados obtenidos. Estos valores promedios son los que se ingresan a la sumatoria de la ecuación del modelo cualitativo de factores. Además, se determinan los valores de la productividad frontera y del límite inferior de la productividad óptima para poder estimar las pérdidas de productividad por ineficiencias del sistema.

#### **2.4.4-Materiales**

La evaluación y análisis del uso eficiente de los materiales se realiza estableciendo una comparación entre el consumo real y el consumo normado (considera los valores de los índices de consumo establecidos en el Central Azucarero). Para ello se monitorea durante todo el mes el consumo de agua potable, floculante, óxido de calcio, productos de limpieza, tratamiento de agua para calderas, consumo de bagazo y producción de electricidad en función de las toneladas de caña molida.

#### **2.5-Evaluación de la repercusión sobre el proceso**

En este epígrafe se explican los métodos y herramientas que se usan para determinar cómo influyen los diferentes aspectos analizados en el epígrafe anterior sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente.



### **2.5.1-Calidad**

Para evaluar la influencia en la calidad del producto terminado se utiliza la prueba de hipótesis, la cual permite comparar cada parámetro registrado con su norma y emitir criterios sobre el cumplimiento o no de la información en cada una. Las variables que se le realiza el análisis son los parámetros de calidad del azúcar crudo, mostrados en la tabla 2.1. Además, se emplean tablas complementarias que recogen los resultados y cuyos modelos se muestran en las tablas 2.3 y 2.4.

### **2.5.2-Seguridad**

Para evaluar la incidencia de la disciplina tecnológica sobre la seguridad del proceso se selecciona el método de Análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA) de acuerdo a su amplia aplicación, facilidad, y permite asignar puntuación de acuerdo al nivel de afectación y por lo tanto cuantificar, a pesar de ser una técnica cualitativa en casi su totalidad (Liu et al., 2019; W. Wang et al., 2018).

Para evaluar la incidencia de la disciplina tecnológica sobre la seguridad del proceso se selecciona el método de Análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA) de acuerdo a su amplia aplicación, facilidad, y permite asignar puntuación de acuerdo al nivel de afectación y por lo tanto cuantificar, a pesar de ser una técnica cualitativa en casi su totalidad (H. Liu et al., 2019; W. Wang et al., 2018).

Para realizar un análisis de modos y efectos de fallos se utiliza la siguiente metodología:

- 1- Definir el sistema y sus características.
- 2- Identificar todos los modos de fallos relevantes y los efectos que producen.

El modo de fallo se define como la manera en que una parte puede potencialmente fallar en cumplir con los requerimientos específicos del proceso. Para su análisis se hace una lista de cada modo de fallo potencial para la operación en particular, considerando que cada falla debe ser clasificada como falla total, parcial, intermitente, gradual o sobre funcionamiento (Li & Chen, 2019).

Para evaluar la seriedad de las consecuencias se puede utilizar el índice de gravedad o calcular el número de prioridad del riesgo (NPR) (H. Liu et al., 2019; Nie et al., 2018; W. Wang et al., 2018). En este trabajo se utiliza el método del NPR y para registrar dichos resultados el modelo se ofrece en la tabla 2.9.

*Tabla 2.9-Formato empleado para registrar los resultados de la aplicación de FMEA*

Equipo	Descripción del equipo	Modo de fallo	Forma de detectar el fallo	Efecto de fallo	O	S	D	NPR	Acciones para corregir

Fuente: Elaboración propia

El efecto de fallo se define como el resultado de un modo de fallo en la función del proceso. Se deja constancia de los efectos tal como los experimenta el usuario. La incidencia (O) se determina con qué frecuencia puede ocurrir el suceso, asignándose un valor entre 1 y 10, siendo el 1 improbable y el 10 altamente probable. Para ello se realizan observaciones y se calcula el porcentaje de ocurrencia del suceso. La severidad (S) permite evaluar cada efecto de fallo entre 1 (sin peligro) a 10 (crítico). Permite priorizar los modos de fallo y sus efectos. Mientras mayor sea la severidad de un efecto, mayor atención se debe tener en la actividad del proceso. Este indicador se evalúa a través de observaciones realizadas sobre el efecto de fallo, se procesarán de forma estadística y se relacionarán con los valores antes mencionados. El nivel de detección (D) es necesario conocer si existe un mecanismo de detección y como funciona este. Se asigna un valor entre 1 y 10, siendo el 1 el mecanismo de detección existe y funciona de forma eficaz y 10 que el mecanismo de detección no existe o no funciona (Ghoushchi et al., 2019; Li & Chen, 2019; Nie et al., 2018).

El número de prioridad del riesgo (NPR) se obtiene por la ecuación 2.2, este da una medida del Nivel de Riesgo del suceso que se está analizando, siendo el indicador para tomar decisiones sobre el proceso.

$$NPR = O * S * D \tag{2.2}$$

Se aplica el método FMEA al calentador líquido-líquido y a la caldera. Se selecciona el calentador líquido-líquido por la relación directa que tiene con los PCC detectados en el epígrafe 2.4.1. La temperatura del agua de imbibición influye en la extracción de sacarosa en los molinos, elevados valores puede condicionar la formación de ceras y así disminuir la eficiencia de dicha etapa. También actúa como un obstáculo en la proliferación de microorganismos, principalmente de bacterias ácido lácticas que forman metabolitos en el proceso que incrementan la viscosidad de los jugos. La caldera es un elemento indispensable en el central, es la fuente de generación de vapor que abastece las diferentes áreas del proceso productivo y sin dicho equipo el central tendría que parar la molienda. Las altas temperaturas y presión que se manejan son elementos que se deben considerar en el sistema de seguridad y protección de la industria.

### **2.5.3-Economía**

La producción de azúcar crudo es un sistema de proceso continuo, ya que se trata de producciones estandarizadas, repetitivas e incesantes, donde la materia prima esencial es la caña y el resultado, la azúcar obtenida como producto principal.

El análisis económico se realiza con el objetivo de cuantificar las pérdidas de la industria en un período de un mes de zafra (marzo 2019) donde se analizan las violaciones de la disciplina tecnológica contra un período de tiempo igual, donde no existan dichas pérdidas. Para la comparación se seleccionan algunos de los principales indicadores de la eficiencia económica de producción: costo de producción, valor de la producción, costo por peso, ganancia, rentabilidad, además se elaboran dos gráficos donde se muestran el punto de equilibrio, lo cual hace más fácil la comparación y el análisis de la situación que se presenta.

Los costos de cada una de las actividades se extrajeron directamente del Departamento de Economía. Aquellos costos para los cuales no se obtuvo información, se estimaron a través de su cálculo teórico, de acuerdo a experiencias de establecimientos de similar envergadura y opinión de profesionales especializados en el tema.

Los costos del proceso productivo donde no ocurren violaciones de la disciplina tecnológica (proceso según la norma), se calculan considerando el flujo de caña real alimentado al central. A

partir de esa etapa se calculan todas las variables operacionales y costos asociados utilizando los valores normados de la utilización de los insumos y la producción de servicios y materiales. En la tabla 2.10 se muestra el formato diseñado para establecer la comparación de los principales indicadores económicos del proceso.

*Tabla 2.10-Formato utilizado para comparar los principales indicadores del proceso*

Indicador económico	Unidad de medida	Fuera de norma	Según norma
CP	CUP		
VP	CUP		
Ganancia	CUP		
C/\$	Adimensional		
Rentabilidad	%		
Punto de equilibrio	Kg		

Fuente: Elaboración propia

### **El modelo de costo de calidad PAF (Prevención- Evaluación- Fallas)**

El modelo PAF permite estudiar la relación entre los tres principales tipos de costos de calidad analizados en el capítulo 1. En principio, el aumento en los gastos de costos de prevención y evaluación debería disminuir el costo de fallas (externas e internas), y debería existir un punto en el cual el costo total de calidad estará en su punto mínimo. Esta relación puede ser expresada por la ecuación 2.3 que representa la variación del costo total de calidad por unidad de producto:

$$ct(q) = \sum cp(q) + \sum ca(q) + \sum cf(q) \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

Donde:

ct(q) = costo total de calidad por unidad de producto

S cp(q) = suma de todos los costos de prevención por unidad de producto

S ca(q) = suma de todos los costos de evaluación por unidad de producto

S cf(q) = suma de todos los costos de fallas por unidad de producto

Las suposiciones básicas de la ecuación 2.3 consisten en que debería ser posible la determinación del costo de calidad en función del nivel de calidad (medida de calidad) y que el costo de prevención, y particularmente el costo de evaluación, crece exponencialmente con el aumento de la calidad. Por el contrario el costo de fallas disminuye exponencialmente cuando la calidad aumenta. La forma de obtener cada uno de los elementos de la ecuación 2.3 fueron detallados en epígrafe 1.2.3, donde se identifica cada costo y como pueden ser definidos. Todos los costos son expresados en pesos cubanos (CUP).

La existencia de un óptimo y el conocimiento de ello, no implica que una industria azucarera trabajará necesariamente en ese óptimo. La relación entre los costos reales de calidad (prevención, evaluación y fallas) es también importante, porque da una idea preliminar hacia donde dirigir los esfuerzos para reducir el costo e incrementar la calidad.

Muy frecuentemente el costo de calidad es analizado con referencia a una base uniforme contra la cual se pueden hacer comparaciones relevantes. Aunque los índices de costos de calidad no son estrictamente parte del modelo PAF, algunos de los índices utilizan costos definidos y determinados en concordancia con él. Los índices deberían representar a la industria desde diferentes puntos de vista y ser sensible a las decisiones gerenciales y a los cambios empresariales. Los siguientes índices han sido sugeridos por British Standard Institution (1981), y son los que se analizan en el Central Azucarero Mario Muñoz.

- (i) Base Mano de Obra (Costos de fallas internas/Mano de Obra directa)
- (ii) Base Costo (Costos total de fallas/Costos de producción)
- (iii) Base Ventas (Costos totales de calidad/Ventas netas)
- (iv) Base Unidad de Producción (Costos de pruebas /Unidades de producción)
- (v) Base Valor agregado (Costos totales de calidad/Valor agregado)

#### **2.5.4 Medio ambiente**

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción. La evaluación de la

calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura.

Para analizar la situación medioambiental de la Empresa se calcula el índice de calidad del agua (ICA), el cual permite determinar la calidad ambiental que posee y el impacto ambiental generado. Se considera un agua residual patrón, la cual cumple con los parámetros de la norma NC 27.2012 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado).

### **Índice de calidad del agua (ICA)**

Los parámetros de calidad del agua que se van a utilizar son: pH, conductividad, oxígeno disuelto, coliformes, cloruros, temperatura, aspecto, dureza, calcio, magnesio, y nitritos. Para el cálculo del ICA se usa la ecuación 2.4.

$$ICA = \frac{K \cdot \sum C_i \cdot P_i}{\sum P_i} \quad (2.4)$$

Donde:

$C_i$ = valor porcentual asignado a los parámetros (**Anexo 3**)

$P_i$ =peso asignado a cada parámetro (**Anexo 3**)

$K$ =constante que toma los valores siguientes:

1,00 para aguas claras sin aparente contaminación.

0,75 para aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparente no natural.

0,5 para aguas con apariencia de estar contaminada y fuerte olor.

0,25 para aguas negras que presenten fermentaciones y olores.

El agua residual de la planta posee apariencia de estar contaminada y fuerte olor, por lo que se le atribuye un valor de  $K=0,5$ .

### **Impacto ambiental**

El impacto ambiental se determina a través de la metodología propuesta por Conesa (2009), donde se entra con el ICA, que se encuentra en el eje de las abscisas expresado en porciento al gráfico mostrado en el **Anexo 4** y se lee la calidad ambiental del agua residual enviada a la zanja.

## **2.6 Conclusiones parciales**

- El procedimiento propuesto para la evaluación de la disciplina tecnológica en el Central “Mario Muñoz Monroy” cuenta con dos etapas.
- El procedimiento es adecuado para evaluación de la disciplina tecnológica, el cual puede ser empleado como punto de partida en el uso más efectivo de los recursos y aplicado en otras industrias del mismo tipo.
- Las técnicas y herramientas que se utilizan tributan a la metodología de la investigación planteada y posibilitan obtener los resultados necesarios para la investigación.

## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se hace un análisis de cada uno de los elementos que influyen sobre la disciplina tecnológica. Se realiza un intercambio y se emiten criterios sobre las causas que originan violación de la disciplina tecnológica, así como la repercusión que estas tienen sobre la calidad, economía, seguridad y el medio ambiente.

### 3.1-Resultados de la determinación de los Puntos Críticos de Control

Se desconoce el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control, así como sus principios y posibles aplicaciones por parte de los productores y controladores, por renunciar a su uso debido al que consideran inalcanzable, o por el contrario; tratan de utilizarlo sin los conocimientos fundamentales de la Higiene de los Alimentos. Superar estas posiciones constituye los principales retos para garantizar el uso de este sistema y será posible a través de estudios correctos del mismo.

La determinación de los puntos críticos de control a través del árbol de decisión que se encuentra en el **Anexo 2**, se considera de gran importancia ya que su objetivo fundamental es garantizar la protección sanitaria de los alimentos hasta alcanzar la inocuidad de los mismos, evitando así las enfermedades transmitidas por alimentos. Durante el análisis se detectan la existencia de nueve puntos críticos de control, que son aquellas etapas del proceso que no se pueden rectificar errores en etapas posteriores, los cuales fueron detectados en el Análisis de peligros e identificación de los puntos críticos de control que se muestra en el **Anexo 5**.

-En la etapa de recolección se determinó como punto crítico de control la presencia de microorganismos en la materia prima que recibe el central de los centros de acopio y la existencia de una contaminación por falta de limpieza en corte mecánico de la caña, fundamentalmente haciendo referencia a infecciones bacterianas. Ambos son riesgos biológicos que afectan la eficiencia operativa del proceso y baja la calidad del jugo ya que genera pérdidas de sacarosa. Estas afectaciones se pueden enfrentar usando desinfectante sobre la caña, técnicas de saneamiento con vapor al equipamiento productivo (cuchillas y desfibradoras). Dichas actividades deben ser registradas, destacándose la concentración de desinfectante y los paros por



limpieza de los equipos. Debe ser verificado por el jefe de área de molienda y por el jefe de producción.

-En la etapa de molienda se detectaron tres puntos críticos de control de riesgos biológicos, la presencia de metabolitos en el proceso por las bacterias ácido termófilas (TAB) y bacterias ácido lácticas (BAL) que incrementan la viscosidad de los jugos y provocan afectaciones en la etapa de cristalización y evaporación, la norma del central establece un máximo de 0,10 % de azúcares reductores y 100 UFC/50g en base seca de TAB, es posible establecer un control utilizando biocida sobre el tándem. Debe ser registrada la dosis y verificada las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) por el jefe de turno. La contaminación por canales de transporte de jugo mezclado, tanques y coladores constituyen PCC debido a la formación de biopelículas de microorganismos que favorecen su proliferación enfrentando diferentes tipos de estreses como ambientales, osmóticos, térmico, oxidativo y ácido. Estas afectaciones provocan problemas de productividad y pueden generar problemas de calidad e inocuidad, lo que se evita utilizando Procedimientos Estandarizados de Sanitación (POES) para la limpieza de dichas áreas afectadas, así como zonas aledañas y cubrir el área de los tanques de recepción para evitar una contaminación cruzada. La frecuencia debe ser semanal para canales y tanques; diaria para las zonas aledañas y debe ser verificada por el jefe de área de molienda y jefe de producción.

-En la etapa de cristalización se detecta un riesgo biológico que constituye PCC, siendo la contaminación de los registros y tanques abiertos como tanques de templa, semilleros, graneros debido a la falta de sanitación de las superficies y áreas aledañas provocada por la caída de materia extraña y suciedad al interior de los tanques. La presencia de polvo, meladura y agua brinda un medio favorable a la proliferación de microorganismos, lo que afecta las especificaciones de calidad. La solución a esta deficiencia es la implementación de buenas prácticas de manufactura y debe ser controlada por el jefe del área de cristalización.

-En la etapa de envasado se detectan dos riesgos biológicos que constituyen PCC, los cuales están dados una contaminación cruzada por falta de aislamiento en zapatos y una contaminación por levaduras en el producto terminado. Ambos factores afectan las especificaciones de calidad. La norma establece una concentración máxima de mesófilos aerobios de 20 UFC/g, hongos y

levaduras máximo 10 UFC/g, *Salmonella* spp., ausentes en 25 g al igual que *E. coli*. Este PCC es fundamental para evitar la devolución del azúcar por incumplimientos de las especificaciones microbiológicas y se soluciona verificando las BPM. Debe ser verificada por el Jefe de Producción y por el primer químico, este último mantiene un control estricto sobre el producto terminado las 24 horas del día.

Según plantea Liu et al. (2021) y Vukman et al. (2021), los procesos a que son sometidos los alimentos, con frecuencia se determinan como puntos críticos de control los tratamientos térmicos, la conservación, la elaboración, la fermentación o acidificación y la reducción de la actividad del agua. Por tanto, los puntos críticos de control determinados en este proceso están comprendidos en las etapas que menciona la bibliografía especializada citada con anterioridad.

El diagrama de causa efecto como resultado fundamental muestra la influencia del control del proceso, instrumentación, mano de obra, mantenimiento, entorno socioeconómico y materiales sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente. Es importante tener en cuenta que muchos de las ideas (subcausas) que se muestran en el diagrama forman parte de varias categorías (causas) a su vez, tal es el caso de instrumentos de control del proceso, capacitación del personal y actualización de las normas, que se incluyen dentro de control del proceso; por lo que se toma la decisión de colocarlas en una sola categoría, en la que más afín le sea y entonces no repetirla, o colocarlas como categorías separadas de acuerdo a su importancia. A partir de este se determinan o se plantean todas las causas que inciden o conducen a la violación de la disciplina tecnológica, haciendo énfasis en los PCC y su importancia para el proceso. El diagrama se muestra en el **Anexo 6**.

### **3.2-Resultados del estado de control del proceso tecnológico**

#### **Cartas de control para medias y rangos**

El control del proceso es fundamental para el estricto cumplimiento de la disciplina tecnológica. Poseer un control adecuado del proceso es complejo, pues depende de muchos factores: buena instrumentación, mano de obra capacitada y un cumplimiento estricto de las normas establecidas.

El control del proceso influye en gran medida en la calidad del producto terminado y la economía del central.

En la tabla 3.1 se ofrece un resumen del análisis de las cartas de control para medias y rangos, el cual permite determinar si las variables se encuentran bajo o fuera de control.

*Tabla 3.1-Resultados de la aplicación de las cartas de control para medias y rangos*

<b>Parámetros</b>	<b>Control del proceso</b>
Flujo de caña	Fuera de control
Flujo de agua de imbibición	Fuera de control
Temperatura del agua de imbibición	Fuera de control
Presión del último molino	--Está en control--
Pol en bagazo	Fuera de control
Humedad del bagazo	Fuera de control
Fibra en caña	Fuera de control
Brix del jugo mezclado	Fuera de control
Materia extraña	--Está en control--
Caída de pureza del jugo mezclado- jugo primario	Fuera de control
Brix de la zanja (Molino)	Fuera de control
pH del jugo alcalizado	Fuera de control
Temperatura del jugo alcalizado	Fuera de control
Pol en cachaza	Fuera de control
pH del jugo clarificado	Fuera de control
Brix del jugo filtrado	--Está en control--
Pureza del jugo clarificado	Fuera de control
Cachaza % caña	Fuera de control
Brix de la zanja	Fuera de control
Brix de la meladura	Fuera de control
Pureza de la meladura	Fuera de control
Presión de vacío del último vaso	Fuera de control

Presión en la calandria del primer vaso	Fuera de control
Presión de vapor en tachos (Tacho 7)	--Está en control--
Presión de vapor en tachos (Tacho 6)	--Está en control--
Presión de vapor en tachos (Tacho 5)	--Está en control--
Presión de vapor en tachos (Tacho 4)	Fuera de control
Presión de vapor en tachos (Tacho 3)	Fuera de control
Presión de vapor en tachos (Tacho 2)	Fuera de control
Presión de vacío en tachos (Tacho 7)	Fuera de control
Presión de vacío en tachos (Tacho 6)	--Está en control--
Presión de vacío en tachos (Tacho 5)	Fuera de control
Presión de vacío en tachos (Tacho 3)	Fuera de control
Presión de vacío en tachos (Tacho 2)	Fuera de control

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.1 se puede observar que de los 34 parámetros a los cuales se les realizan carta de control, se obtiene que solo siete están en estado de control estadístico, lo cual representa un 20,58 % del total analizado; y 27 están fuera de control, lo que representan un 79,72 %. Los resultados de cada una de las cartas de control se muestran en el **Anexo 7**. De esta forma se demuestra que el proceso está fuera de control en su gran mayoría, por lo que necesita revisiones y ser sometido a cambios.

Los principales cambios que se proponen para lograr un proceso armónico es capacitar al personal con el objetivo que se interiorice la importancia que tiene el control estadístico en cada una de las áreas para obtener un producto de calidad. Exigir una adecuada calidad de la materia prima.

### **Cartas de control de Hotelling**

Las cartas de control de Análisis Multivariado (T-cuadrado) realizadas a las diferentes variables, agrupadas en función de las áreas del proceso productivos (**Anexo 8**), mostraron al menos un valor de  $T^2$  para los subgrupos sobre el Límite de Control Superior (LSC), elemento que

evidencia el estado fuera de control de la totalidad de las etapas analizadas, lo que coincide con los resultados obtenidos de las cartas de control para medias y rangos.

*Tabla 3.2-Resultados de la aplicación de las cartas de control de Hotelling*

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Control del proceso</b>
Extracción	Fuera de control
Purificación	Fuera de control
Evaporación	Fuera de control
Tachos – MCA	Fuera de control
Tachos – MCB	Fuera de control
Azúcar	Fuera de control

Fuente: Elaboración propia

En un proceso productivo ocurren en forma natural cierto grado de variación, estas variaciones por causas comunes es una variación natural o esperada en un proceso que no provoca grandes daños. Las variaciones por causas especiales o variaciones no esperadas, son dañinas para la estabilidad del proceso, y son derivadas de ocurrencias no comunes. Es importante identificar y tratar de eliminar este tipo de variación, para ello es necesario analizar los puntos fuera de control y los patrones no aleatorios detectados en las gráficas de control.

Un buen punto de partida para investigar la variación por causas especiales consiste en reunir varios expertos en el proceso. El uso de la gráfica de control anima a los operadores del proceso, los ingenieros del proceso y a quienes prueban la calidad a indagar por qué algunas muestras estuvieron fuera de control. Los proveedores en esta reunión también pueden aportar ideas relucientes y efectivas. Un método efectivo para realizar este análisis es la lluvia de ideas, que consiste en hacer preguntas acerca de por qué ocurrió una falla en particular para determinar la causa raíz (el método de los 5 por qué).

### **Capacidad del proceso**

Un estudio de la capacidad del proceso permite establecer una valoración general del proceso, si se cumplen las especificaciones de manera general y si hay corrimientos de la dimensión nominal. El análisis se realiza a las variables de la tabla 2.1, siendo un total de 59 variables, cuyos resultados se muestran en el **Anexo 9** y se detallan resumidos en la tabla 3.3.

*Tabla 3.3-Resultados del análisis de capacidad del proceso*

<b>Capacidad del proceso</b>	<b>Cantidad de variables</b>
No analizadas.	1
El proceso es capaz de cumplir con las especificaciones.	3
El proceso es potencialmente capaz, pero requiere monitoreo.	1
El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones.	54
Total	59

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis de las 59 variables muestran que una variable (Insolubles) no fue posible determinar el índice de capacidad, porque su desviación estándar es cero. Del resto de las variables (58), el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones del flujo de agua de imbibición, pureza del jugo clarificado y la pureza de la meladura, lo que representa un 5,08 % del total de variables analizadas. El proceso es potencialmente capaz de cumplir con el pH del azúcar, pero requiere monitoreo. El resto de las variables (54), el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones normadas. Estos resultados demuestran que el proceso no tiene la capacidad de cumplir con las especificaciones establecidas por el Central Azucarero, dichos resultados están acorde con los obtenidos por las cartas de control, donde la mayoría de las variables y la totalidad de las etapas están fuera de control estadístico, condición mínima necesaria para determinar el índice de capacidad de un proceso. Las pruebas de hipótesis se realizan a todas las variables operaciones de las etapas de extracción, purificación, evaporación y cristalización.

*Tabla 3.4 Prueba de hipótesis a las variables operacionales*

Parámetro	Valor normado	Valor medio	CV (%)	Desviación estándar	Cumple la norma
Flujo de caña (t/h)	291,60	237,08	31,52	75,50	No
Flujo de AI (m <sup>3</sup> /h)	≤ 90	36,47	23,13	8,43	Sí
Temperatura del AI (°C)	60-80	71,35	14,09	10,05	Sí
Presión del último molino (Pa)	2600	2330,5	5,40	125,91	No
Pol en bagazo	≤ 1,88	2,47	17,17	0,42	No

Humedad del bagazo (%)	≤ 50	49,67	2,10	1,04	Sí
Fibra en caña (%)	≤ 15,5	16,61	1,67	0,28	No
Pol en caña	14	10,09	7,23	0,73	No
Brix del jugo mezclado (°Bx)	≤ 14	14,97	5,59	0,84	Sí
Materia extraña (%)	≤ 10	12,94	21,46	2,78	No
Caída de pureza del jugo mezclado- jugo primario (%)	≤ 1,07	1,22	16,36	0,20	No
Brix de la zanja (°Bx)	≤ 1,2	0,74	97,96	0,72	No
pH del jugo alcalizado	6,8-7,1	7,26	8,45	0,61	No
Temperatura del jugo alcalizado (°C)	102-105	101,16	2,93	2,96	No
Pol en cachaza	≤ 2,30	2,34	6,31	0,15	No
Concentración de la lechada de cal (Bé)	4,00	4,53	33,23	1,51	Sí
pH del jugo clarificado	6,8-7,1	6,76	7,39	0,50	Sí
Brix del jugo filtrado (°Bx)	13	12,70	3,71	0,47	Sí
Pureza del jugo clarificado (%)	> 80	82,90	0,67	0,55	Sí
Humedad de la cachaza (%)	≤ 74	75,72	1,71	1,29	No
Cachaza % caña	> 4	0,06	56,17	0,03	No
Brix de la zanja (°Bx)	≤ 1,2	1,37	95,43	1,31	No
Brix de la meladura (°Bx)	60-65	64,39	5,71	3,68	Sí
Pureza de la meladura (%)	> 80	83,09	0,70	0,58	Sí
Presión de vacío del último vaso (atm)	≥ 0,85	0,82	3,81	0,03	No
Presión en la calandria del primer vaso (%)	0,3-0,8	0,32	52,46	0,17	Sí
Caída de pureza MCA- miel A (%)	≥ 14	14,00	81,58	11,43	Sí
Caída de pureza MCB- miel B (%)	≥ 18	18,25	5,53	1,01	Sí
Brix de la MCA (°Bx)	≥ 92,50	90,80	2,50	2,27	No
Brix de la MCB (°Bx)	94-95	93,77	0,51	0,47	No
Pureza miel final (%)	≤ 58	56,99	2,74	1,56	Sí
Brix de miel A pura (°Bx)	78-80	78,54	3,12	2,45	Sí

Brix de miel A diluida (°Bx)	60-65	62,60	1,66	1,04	Sí
Brix de miel B pura (°Bx)	86-89	87,24	1,41	1,23	Sí
kg miel/t de caña	≤ 44,44	38,53	30,05	11,58	Sí
Presión de vapor en tachos (T7) (atm)	0,5-0,6	0,29	44,79	0,13	No
Presión de vapor en tachos (T6) (atm)	0,5-0,6	0,31	48,19	0,15	No
Presión de vapor en tachos (T5) (atm)	0,5-0,6	0,30	48,64	0,15	No
Presión de vapor en tachos (T4) (atm)	0,5-0,6	0,33	57,62	0,19	No
Presión de vapor en tachos (T3) (atm)	0,5-0,6	0,30	63,02	0,21	No
Presión de vapor en tachos (T2) (atm)	0,5-0,6	0,31	61,07	0,19	No
Presión de vacío en tachos (T7) (atm)	≥ 0,85	0,39	3,63	0,88	No
Presión de vacío en tachos (T6) (atm)	≥ 0,85	0,86	3,08	0,03	Sí
Presión de vacío en tachos (T5) (atm)	≥ 0,85	0,83	6,80	0,06	No
Presión de vacío en tachos (T3) (atm)	≥ 0,85	0,82	2,77	0,02	No
Presión de vacío en tachos (T2) (atm)	≥ 0,85	0,80	9,62	0,08	No

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados que se muestran en la tabla anterior se puede plantear lo siguiente:

1) Flujo de caña

El valor medio de flujo de caña es de 237,08 t/h, el cual no se corresponde con los límites establecidos para dicho central que es 291,6 t/h; su coeficiente de variación es 31,52 % lo que significa que la molienda durante estos 20 días fue inestable. Una baja molienda incide en que no se obtenga el bagazo necesario para generar el vapor y satisfacer las necesidades energéticas del central. Además, en ese período aumenta la cantidad de azúcar cruda necesaria a producir para que el proceso sea económicamente factible, es decir, que se alcance el punto de equilibrio a partir del cual la industria comience a obtener ganancias.

2) Flujo de agua de imbibición

El flujo de agua de imbibición oscila alrededor de 36,5 m<sup>3</sup>/h, con un coeficiente de variación de 23,13 %. Dicho valor se encuentra dentro del intervalo normado (menor que 90 m<sup>3</sup>/h), pero con una alta de variación.



### 3) Temperatura del agua de imbibición

La temperatura promedio del agua de imbibición es de 71,35 °C, la cual es adecuada según lo que establece la norma del Central. Sin embargo Pedroza (1975), considera que dicho valor debe encontrarse entre 75 y 80 °C, para facilitar la extracción y evitar el desarrollo microbiano, si se sobrepasan estos valores se extraen cenizas, dextrana y almidón que son imposibles de eliminar durante el proceso de purificación, afectando la cristalización y la calidad del azúcar. Además plantea que la temperatura no tiene ningún efecto por debajo de los 60 o 70 °C, pues para valores inferiores no se logra un agotamiento considerable de la Pol en el residuo leñoso. Por otra parte Hugot et al. (1978) y Posada (1987), recomiendan que la temperatura del agua de imbibición no debe exceder los 85 °C para evitar la incorporación de las ceras al jugo. Este parámetro es muy importante que sea controlado estrictamente pues de no ser así puede ocurrir crecimiento de microorganismos indeseables tales como el *Leuconostoc mesenteroides* que acidifican el jugo y le aumentan el color. Además de ser muy alta la temperatura, podría traer consigo que se disuelvan las ceras que vienen con la caña y provoquen que patinen las masas de los molinos, siendo esto desfavorable para la extracción.

### 4) Presión del último molino

Este indicador se ve afectado a causa del deterioro de las chumaceras superiores. El valor medio es de 2330,5 Pa, incumpliendo con la norma del central (2600 Pa). Además, un valor bajo de esta variable afecta la Pol en bagazo, ocurriendo pérdidas de sacarosa, aumenta la humedad del residuo leñoso que provoca una ineficiente combustión en las calderas y disminuye la calidad del vapor generado.

### 5) Pol en bagazo

La Pol media en bagazo es de 2,47 %. Según Honig (1969), debe estar entre 3 y 3,5 %; sin embargo Hugot et al. (1978), considera que este valor debe estar entre 2 y 2,5 %. El valor que presenta es ligeramente superior a lo normado por el central que debe ser 1,88 %, reflejando pérdidas de sacarosa para el proceso. Debido a una mala preparación de caña por tener falta de soldadura los martillos oscilantes de las cuchillas de picar caña, principalmente a partir del tercer mes de zafra. Durante más de un mes de zafra se trabajó con cinco molinos y no con seis, por

roturas en los engranes de los reductores de los molinos, Además, refleja también un mal trabajo de extracción en los molinos y que existen problemas con el flujo de agua de imbibición (prácticamente la mitad de la necesaria, de 90 m<sup>3</sup>/h solo se aplicaban de 40 a 50 m<sup>3</sup>/h) como ya se ha expuesto antes y la presión del último molino afecta dicho resultado

#### 6) Humedad del bagazo

El valor medio de la humedad del bagazo es de 49,67 % y su coeficiente de variación es de 2,10 %, por lo que la media es representativa de la muestra. Según Hugot et al. (1978), señala que el porcentaje de humedad debe ser de 40 % y para molinos deficientes 50 %. Para disminuir el porcentaje de humedad se puede aumentar la presión en el último molino del tándem lo cual garantiza que este indicador disminuya, que es muy importante para la generación de vapor en las calderas, pues mientras menor sea la humedad, mayor será la combustión del bagazo. Además, este valor depende de la cantidad de agua de imbibición que se añade.

#### 7) Fibra en caña

El promedio de fibra en caña es de 16,61 %, no cumple con los límites establecidos por la norma. Esto puede estar provocado por el propio contenido de fibra en caña y por la cantidad de materia extraña presente. Además, poca fibra trae serios problemas en la operación de los hornos, también puede influir en las pérdidas de sacarosa en el bagazo que están dadas por el alto contenido de fibra en caña que origina una gran masa de bagazo, que va acompañada de un alto contenido de Pol. Este alto contenido de sacarosa en bagazo puede deberse a la baja temperatura en el agua de imbibición, distribución no uniforme del sistema de imbibición sobre el colchón y bajas presiones en los molinos.

#### 8) Pol en caña

El valor del coeficiente de variación es de 7,23 %, para un valor medio de 10,09 %; incumpliendo con la norma establecida. Se puede afirmar que la Pol en caña presenta inestabilidad en el proceso productivo, debido a la mala calidad de la materia prima, provocada por las variedades usadas y la excesiva demora desde que se corta la caña en las zonas de España y Cuba Libre hasta

que se muele. La distancia es grande, la caña se troza en segmentos pequeños y existen problemas en Transporte Ferroviario que demora el traslado.

9) Brix del jugo mezclado

Se tienen 14,97 °Bx en el jugo mezclado, incumpliendo con la norma del central. Este depende del brix del jugo de la caña y de la cantidad de agua de imbibición añadida. Un aumento del agua de imbibición también logra que se disminuya el brix del jugo mezclado. Valores superiores a 15 °Bx afecta el proceso de clarificación, porque aumenta el contenido de insolubles en el jugo clarificado, además se pierde sacarosa porque se sedimenta con el lodo cachaza.

10) Materia extraña

Su valor medio es de 12,94 %, valor un poco elevado con respecto a la norma del central ( $\leq 10$ ), incumpliendo con la misma según las pruebas de hipótesis. Este se ve afectado por el bajo rendimiento agrícola y la excesiva presencia de hierbas en las plantaciones, además de las indisciplinas de los operadores de combinadas y sus directivos.

11) Caída de pureza del jugo mezclado- jugo primario

El valor medio de este indicador es de 1,22 %, por lo que no cumple con la norma del central según las pruebas de hipótesis. Valores altos son debidos a una aplicación de vapor, agua caliente y productos químicos de manera inestable, por indisciplinas tecnológicas.

12) Brix de la zanja (Molino)

El valor medio es de 0,74 °Bx, con un coeficiente de variación de 97,96 %, por lo que la media no es representativa de la muestra, incumpliendo con la norma planteada por el central. Valores altos de este indicador son debidos a frecuentes paradas de la industria, que motivaban algunos lavados de equipos con vertimiento de productos azucarados.

13) pH del jugo alcalizado

El valor medio para el pH del jugo alcalizado es de 7,26, con un coeficiente de variación de 8,45 %, el cual al ser menor de 12 %, se puede decir que el valor medio es representativo de la

muestra tomada. Por lo cual se puede afirmar que la variable no cumple la norma establecida en la industria (6,8 a 7,1). Este indicador se ve afectado por la mala calidad de la cal y por roturas en el revolvedor del tanque de cal. Valores excesivos provocan destrucción de reductores y valores inferiores dan lugar a inversión de la sacarosa.

#### 14) Temperatura del jugo alcalizado

Según la prueba de hipótesis este indicador no cumple con la norma del central. Se ve afectado por la baja presión de vapor de escape, debido a problemas operativos en el área de generación de vapor y al mal estado de las calderas.

#### 15) Pol en cachaza

Jenkins (1988), hace referencia a los valores óptimos de pol en cachaza que se encuentran cercanos a 1 %; mientras Martínez & Nemirovitch (1985), consideran que los valores de Pol en cachaza para lograr pérdidas no sensibles en el proceso no deben excederse de 3,5 %. Este resultado está relacionado con el tipo de filtro utilizado, las características físicas y mecánicas de la torta y la cantidad de agua de lavado, así como la uniformidad en la aplicación del agua de lavado a la torta. En el caso del central se tiene un valor de 2,34 %, por lo que las pérdidas no son significativas. La cantidad y calidad del bagacillo que se adiciona al lodo es uno de los factores que afecta la resistencia de la torta de cachaza.

#### 16) Concentración de la lechada de cal

El valor medio de la concentración de la lechada de cal que se está suministrando al tanque de alcalizar es de 5,53 °Be, se encuentra en el rango establecido dentro de las normas del central, pero existen valores que se encuentran fuera de dicha norma como se puede ver en las pruebas de hipótesis. La concentración correcta y uniforme en la lechada de cal es muy importante para lograr una reacción adecuada en la neutralización de los ácidos del jugo de la caña, buena formación de flóculos, operación eficiente de los equipos automáticos de control de pH y evitar tupiciones en las instalaciones. Se considera que la cantidad de grados va estar en correspondencia con las características particulares que presente el jugo mezclado y la calidad de la cal, porque sus impurezas pueden pasar al guarapo y ocasionar efectos perjudiciales.

Se debe tener en cuenta que las concentraciones bajas ocasionan que se incorporen al proceso una mayor cantidad de agua lo que puede incurrir en gastos mayores de energía al tener que evaporar el agua en exceso, provocando mayor demanda de vapor en los equipos tecnológicos. Una deficiente alcalización deja el jugo mezclado con un pH ligeramente ácido y favorece la reacción de inversión de la sacarosa, lo cual trae consigo grandes pérdidas en Pol y aumento del color del jugo. Concentraciones altas ocasionan alcalización defectuosa, afectando la homogenización de la cal con el jugo y su efectividad. A mayores concentraciones es perjudicial para el proceso porque introduce un alto contenido de calcio y magnesio, provocando incrustaciones al precipitar en las superficies de transferencia de calor.

#### 17) pH del jugo clarificado

El coeficiente de variación del pH del jugo clarificado es de 6,76 %, con un valor medio de 6,9; por lo cual esta variable cumple con la norma del central (6,8 a 7,1). Valores mayores provocan destrucción de reductores, formación de mieles e incrustaciones severas en evaporadores, mientras que valores inferiores producen inversiones y formación de mieles.

#### 18) Brix del jugo filtrado

Según Hugot et al. (1978), un valor de 12 °Bx en el jugo filtrado es el adecuado en el proceso azucarero, lo que se encuentra ligeramente por debajo del valor promedio obtenido que es de 12,70 °Bx. Este valor está en dependencia de la cantidad de agua de lavado que se emplea en el filtro; cuanto menor sea la cantidad de agua, mayor es el Brix; por dicho motivo, debe ser capaz de garantizar las menores pérdidas de sacarosa en la cachaza, pero con el uso de la menor cantidad de agua posible.

#### 19) Pureza del jugo clarificado

El valor medio de pureza del jugo clarificado es de 82,90 %, valor que se considera muy pobre, por la baja pureza del jugo primario reportada en el central y por la mala calidad de la materia prima.

#### 20) Humedad de la cachaza

Según Jenkins (1988), la humedad de la cachaza generalmente debe estar en el rango de 75 a 80 %. En el caso del central toma un valor de 75,72 %, cumple con esta norma reportada en la bibliografía especializada, pero incumple con la del central que establece menor a 74 %. Esta depende fundamentalmente de la cantidad de agua de lavado, el vacío en el filtro y el tiempo de secado del filtro. En la práctica suele decirse que una humedad alta en la cachaza corresponde a una pol alta y viceversa, el central que se analiza cumple con este parámetro.

#### 21) Cachaza % caña

El valor medio de la cachaza % caña es de 0,06 %. Hugot et al. (1978), reporta que la cachaza % en caña debe ser de 4 % y plantea que por la necesidad de agregar bagacillo a la cachaza para facilitar la filtración deben calcularse aproximadamente de 4 a 5 kg de torta por 100 kg de caña. Según Carrazana (1987), la cachaza representa un 3 % de la caña molida. La cachaza es un producto donde se reúne la mayor cantidad de las impurezas que trae el jugo, por lo que está directamente vinculada a la cantidad de materia extraña que entra al proceso sin sacarosa y sale del mismo sin sacarosa.

#### 22) Brix de la zanja (Purificación)

El valor medio es de 1,37 °Bx, con un coeficiente de variación de 95,43 %, por lo que la media no es representativa de la muestra, incumpliendo con la norma planteada por el central. Valores altos de este indicador se deben a frecuentes paradas de la industria, que motivaban algunos lavados de equipos con vertimiento de productos azucarados.

#### 23) Brix de la meladura

El valor medio del brix de la meladura es de 64,39 °Bx, el cual presenta un coeficiente de variación de 5,71 %, lo que indica homogeneidad en la muestra y que individualmente los valores son muy parecidos al presentado en este análisis. A su vez, se cumple con la norma que establece que debe ser mayor que 60 °Bx. Según Hugot et al. (1978), el brix de la meladura debe ser aproximadamente entre 60 y 68 °Bx. Por otro lado, Jenkins (1988), establece valores de 65 a 70 °Bx; criterios muy parecidos que dependen también de la pureza a la cual se trabaje con

este material. Debe existir un control estricto del porcentaje de sólidos disueltos, ya que un valor inferior implica evaporación adicional en la estación de tachos para alcanzar el grado de sobresaturación adecuada para comenzar la cristalización, equipos que trabajan a simple efecto a diferencia del cuádruple efecto y que, además, son causantes en muchos casos de inestabilidad en el índice de consumo de vapor en las necesidades tecnológicas. De lo contrario, si se concentra demasiado existe la posibilidad de que este material, de elevada pureza, comenzara a cristalizar antes de ser alimentado al tacho.

24) Pureza de la meladura,

Según Jenkins (1988), en su estudio acerca de las mieles finales cubanas, considera que la pureza de la meladura debe ser de 85 % como valor mínimo. Se considera aceptable la pureza obtenida (83,09 %) pues es muy cercana a este valor. Según Honig, (1969) la pureza de la meladura debe ser de 86,1 %.

25) Presión de vacío del último vaso

Este indicador es afectado por la falta de hermeticidad en el sistema, principalmente por el mal estado de las tuberías de retorno. Su valor medio es de 0,82 atm, por lo cual no cumple con la norma del central.

26) Presión en la calandria del primer vaso

El valor medio de este indicador es de 0,32 atm, por lo que cumple con la norma del central. Valores bajos son motivados por la baja presión de vapor de escape, debido a problemas operativos en el área de generación de vapor y al mal estado de las calderas.

27) Caída de pureza de masa cocida A-miel A y de masa cocida B-miel B

Estos indicadores dan una idea del trabajo del puntista en la elaboración de las masas. Valores bajos afectan el agotamiento de masa a miel, en el central el valor medio reportado es de 14,00 y 18,25 % para la caída de pureza de masa cocida A-miel A y de masa cocida B-miel B respectivamente, por lo cual cumple con la norma según las pruebas de hipótesis.

28) Brix de la masa cocida A y masa cocida B.

Según la norma nacional de la Empresa AZCUBA, el brix de las masas cocidas A y B deben ser de 93 a 94 % y 94 a 95 % respectivamente. En la industria la norma establece que el Brix para la masa cocida A es de 92,5 % o mayor y la masa cocida B entre 94 a 95 %, Por lo anterior se puede afirmar que la MCA y la MCB no están en norma siendo su valor medio de 90,80 °Bx y 93,77 °Bx respectivamente. Un valor inferior puede provocar un mal agotamiento de las mieles y por consiguiente que aumenten las pérdidas de sacarosa, mientras que un valor superior dificulta su posterior manipulación, de manera que al ser descargado en los cristalizadores se hace necesario añadir agua para reducir la viscosidad, que al final conlleva a la disolución de los cristales.

29) Pureza de miel final

El valor medio de pureza de miel final es de 57,00 %, con un coeficiente de variación de 2,74 %, por lo cual se puede afirmar que cumple con la norma establecida en el central ( $\leq 58$ ). La alta pureza de la miel es indicativa de un pobre trabajo de agotamiento y puede deberse a diferentes causas como: lubricación excesiva en cristalizadores, templeas con bajo contenido de grano, bajo brix en las masas cocidas y presencia de masas deformadas o de alta viscosidad.

30) Brix de miel A pura y diluida

El valor del coeficiente de variación para el brix de miel A pura y diluida es de 3,12 % y 1,66 %, con un valor medio de 78,54 y 62,60 °Bx respectivamente. En el central se norma que para la miel A pura un intervalo de 78 a 80 y la diluida entre 60 y 65. Por lo anterior se puede afirmar que la miel A pura y diluida, están en norma. Valores bajos de brix reflejan un mal trabajo de agotamiento, mientras que valores extremadamente altos son causados por un aumento de la viscosidad, los cuales dificultan su manipulación.

31) Brix de miel B pura

El valor medio de brix de miel B pura es de 87,24 °Bx, con un coeficiente de variación de 1,41 %, por lo cual se puede afirmar que esta variable cumple con la norma del central, la cual plantea que el brix de miel B pura es entre 86 y 89 °Bx. Valores muy bajos de brix hacen referencia a un



mal trabajo de agotamiento, mientras que valores muy altos dificultan su manipulación por alta viscosidad.

32) kg de miel/t de caña

El valor medio de este indicador es de 38,53; el cual cumple con la norma establecida por nuestro central. Este da una idea de la relación de miel producida por cada tonelada de caña, en la industria en cuestión se cumple este plan al 110 %.

33) Presión de vapor en tachos

El valor medio de la presión de vapor en los tachos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 es 0,31; 0,33; 0,33; 0,30; 0,31 y 0,29 atm respectivamente. Todos los tachos incumplen con la norma establecida. Estos valores son muy inferiores, lo que provoca un incumplimiento del régimen de evaporación, afectando la caída de pureza y el tiempo de elaboración.

34) Presión de vacío en tachos

El valor medio de la presión de vacío en los tachos 2, 3, 5, 6 y 7 es 0,80; 0,82; 0,83; 0,86 y 0,39 atm respectivamente. Por lo que el único tacho que cumple con la norma es el tacho 6, como se puede corroborar en las pruebas de hipótesis. Valores menores producen aumento en los tiempos de retención, mayor consumo de combustible, afectaciones en la molidura del ingenio, elevación del color y mayores pérdidas de azúcar.

### **3.3-Resultados del estado de la instrumentación del proceso**

Cada proceso necesita de la instrumentación adecuada, la cual es normada para garantizar la calidad del producto final, pues el objetivo central de los instrumentos es la medición, el registro y el control de las variables de proceso. Sin embargo, el cumplimiento o no de las normas dependen de muchos factores, desde la economía hasta la falta de compromiso y desconocimiento de los riesgos que genera la no existencia de una adecuada instrumentación. La carencia de instrumentación es un elemento que repercute de forma negativa sobre la disciplina tecnológica. En la tabla 3.5 se muestra un resumen del estado instrumental de la industria.

*Tabla 3.5- Resumen del estado de la instrumentación del proceso*

Parámetros	Cantidad a controlar por norma	Controles reales	Cantidad que no se hacen de la norma	Cantidad no normada	Registro
Flujo	7	2	5	0	2
Temperatura	130	86	44	0	52
Brix	7	7	0	0	7
Presión	200	45	155	0	35
pH	2	2	0	0	2
Densidad	1	1	0	0	1
Nivel	50	26	24	0	20
Total	397	169	228	0	119

Fuente: Elaboración propia

El análisis realizado de la instrumentación evidencia que en el proceso de producción de azúcar crudo en el central “Mario Muñoz Monroy” esta normado controlar un total de 397 parámetros y se controlan en realidad 169 (42,57 %). Este aspecto es fundamental para establecer una estricta supervisión del estado del proceso.

La variable flujo se controla en un 28,57 % de los puntos normados debido a la deficiencia de flujómetros, se cuenta con dicho instrumento solamente en el área de calderas y en el control del agua de imbibición en los molinos. No se controlan puntos importantes como flujo de jugo mezclado, lechada de cal, jugo alcalizado, meladura y condensados.

La temperatura se controla en 86 puntos de un total de 130 normados, lo cual representa un 66,15 % de cumplimiento y se registran un total de 52 para un 40 % de registro. Las principales dificultades que presenta este parámetro es la ausencia de instrumentos in situ. Se cuenta con escasos termómetros de infrarrojo, con los cuales no es posible su utilización en numerosos puntos de toma de muestra y generalmente son utilizados por el departamento de mantenimiento para supervisar los aspectos técnicos.

Los parámetros de laboratorio brix, pH y densidad son medidos y registrados con un 100 % de cumplimiento de la norma, aspectos que son fundamentales en el estado de control del proceso. La presión y el nivel presentan dificultades en su control y registro, lo cual se debe principalmente a la carencia de instrumentación.

Estas variables son controladas por un sistema totalmente automatizado con Control Lógico Programable, mediante un sistema SCADA, implementado por la Empresa SERCONI de Holguín. Otras variables como pureza, temperatura, brix, caída de pureza, presión, humedad, pH y color son controladas en el laboratorio químico por técnicos especializados. Estas variables son registradas en la hoja de análisis de laboratorio, la cual es supervisada por el jefe de turno.

### 3.4- Evaluación de la mano de obra, mantenimiento y entorno socioeconómico

En la tabla 3.6 se muestra un resumen de la aplicación de las listas de chequeo a las causas que afectan la disciplina tecnológica, las cuales son: mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico. Las listas de chequeo empleadas se pueden observar en los **Anexos 10, 11 y 12**.

*Tabla 3.6-Resumen de la contabilización de los aspectos evaluados en las listas de chequeo*

Categorías	Negativo	Positivo	Total
Mano de Obra	6	8	14
Mantenimiento	2	9	11
Entorno socio-económico	2	9	11
Total	11	25	36

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el 69,44 % influyen de forma positiva, mientras que los que influyen negativamente solo representan un 30,56 % del total analizado. La presencia de un elevado porcentaje que influye de forma positiva no quiere decir que no exista violación de la disciplina tecnológica debido a que dichos aspectos han sido determinados de forma cualitativa por un conjunto de especialistas de esta rama de la industria.

El mantenimiento es el aspecto que se encuentra en mejores condiciones. El 81,81 % representa un criterio positivo, lo cual no quiere decir que no exista violación de la disciplina tecnológica.

Los aspectos que influyen de forma positiva son la existencia de un programa de mantenimiento, el cual permite realizarlo de forma periódica en los equipos involucrados en el proceso. También se tiene la correcta calibración de los equipos utilizados, se realiza la evaluación del personal que interviene en el mantenimiento, el cual es de gran importancia para que dicha tarea se realice de forma eficiente. Además, se realizan informes que permiten discutir y evaluar la realización de dicho mantenimiento. El 18,19 % repercuten de forma negativa, destacando la existencia deficiente de las herramientas y materiales para llevar a cabo el mantenimiento adecuado de las maquinarias. Otro aspecto que influye de forma negativa es la verificación general de los locales e instalaciones.

La mano de obra es el aspecto más crítico que se encuentra en el análisis realizado. Se reporta como negativos el 42,85 % de los elementos, entre los cuales se destacan la retención de la mano de obra, la cual a su vez influye en la formación sobre el manejo de las maquinarias; ya que al empezar la zafra todos los trabajadores se preparan para que sean capaces de operarlas correctamente, pero a mediación de zafra hay que contratar nueva mano de obra, la cual muchas veces no tiene la preparación necesaria. También la poca existencia de locales con servicios sanitarios e instalaciones para lavarse las manos, hacen que los trabajadores tengan que desplazarse fuera de su lugar de trabajo para satisfacer sus necesidades. El 57,15 % influyen de forma positiva, encontrándose entre estos la existencia de un liderazgo adecuado, lo cual garantiza el buen desempeño del trabajo, se realiza una evaluación para la obtención de las plazas de trabajo. También se les da una correcta atención a dichos trabajadores.

El entorno socio-económico presenta un 18,19 % de aspectos negativos, entre los que se encuentra garantizar la calidad de las materias primas, ya que en este tiempo no tienen la calidad requerida, lo que afecta el proceso productivo. Además, los salarios son relativamente altos en comparación con otras industrias, pero no son estimulantes para los trabajadores. El 81,81 % representan los factores favorables en este aspecto. Se destacan la no existencia de ofertas de mayor demanda en el territorio, por lo cual la industria constituye en sector de preferencia en este territorio. Además, existe un sistema actualizado y escrito de la documentación necesaria para la gestión correcta de las materias primas.

## Medición de la productividad de la mano de obra

- **Estimación de la productividad de frontera**

Utilizando el sistema de recolección de datos diseñados para esta investigación, cuyas planillas fueron mostradas en las tablas 2.6 y 2.7 se puede estimar la productividad de frontera. A continuación, en la tabla 3.7, se muestran los tiempos efectivos de cada tarea y de cada ciclo determinados a partir de las mediciones realizadas. Además, en la última columna se reflejan los menores tiempos efectivos observados (TMO) para cada tarea, con los cuales se determinó la “menor duración posible observada” para la operación estudiada.

*Tabla 3.7- Menor Duración Posible Observada para la operación en la jornada de trabajo*

Actividades		1	2	3	4	5	TMO
1	Medición de las variables operacionales	0,75	1,0	1,25	1,5	0,75	0,75
2	Modificación de condiciones operacionales	1,75	0,75	0,75	1,0	0,5	0,5
3	Adición de materiales	2,25	1,75	1,5	1,5	1,75	1,5
4	Análisis cualitativo de parámetros de calidad	0,75	1,25	1,25	1,5	1,25	0,75
5	Mantenimiento	0,5	0,75	0,5	1,0	0,0	0,0
6	Transporte de materiales	0,75	0,5	1,0	0,75	1,0	0,5
7	Limpieza	0,5	0,75	0,75	0,75	1,0	0,5
8	Traslado	0,0	0,5	0,75	0,5	0,75	0,0
9	Apoyo a otras áreas	0,75	0,25	0,0	0,5	0,75	0,0
10	No productivo	1,0	1,5	1,25	1,0	1,25	1,0
Menor duración posible observada							5,5

Leyenda: Etapas - (1) extracción, (2) purificación, (3) evaporación, (4) cristalización y (5) generación de vapor. (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, siguiendo el enfoque de las “Duraciones Observadas” para determinar la productividad frontera, se tiene que el tiempo efectivo correspondiente a la “menor duración posible observada” para la operación estudiada es de 5,5 h/hombre, siendo este valor el 61% de la cantidad de horas que corresponde a la jornada laboral estudiada y considerándose 3,5 horas no

efectivas. Si se expresa la “menor duración posible observada” en un día (9 horas) se obtiene que se necesitan 1,64 hombres/día, siendo esta cifra muy superior a 1.

Considerando que el avance en el insumo de la operación analizada corresponde a un flujo medio de caña molida igual a 237 t/h, se tiene que la productividad frontera real es de 1300 t/hombre.día. Si para el valor de flujo normado (291 t/h), la productividad frontera es de 2619 t/hombre.día, entonces queda demostrado que existe una baja productividad de la mano de obra al comparar este valor con el real. Existen otros factores externos que pueden afectar dichos resultados como el flujo de caña molida, que es uno de los elementos detectados fuera de control estadístico y que incumple con los valores normados por el Central Azucarero.

- **Estimación de las ineficiencias del sistema**

Para calcular las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema y así poder calcular el límite superior de la productividad óptima, se realizó un cuestionario relativo a los distintos factores que afectaron en la productividad del proceso. La tabla 3.8 muestra los valores promedio de los resultados obtenidos de las encuestas realizadas para los puntajes de gravedad y probabilidad de ocurrencia de cada uno de los factores, con lo que se unificaron las evaluaciones de los encuestados. Los puntajes de gravedad se redondean al entero más cercano para ajustarse a la escala de evaluación establecida para estimar el impacto generado por los factores que afectan la productividad de la mano de obra, y las probabilidades de ocurrencia se muestran como porcentajes

*Tabla 3.8-Cuestionarios sobre Factores que afectan la Productividad de la Mano de Obra*

	Factor	Puntos gravedad (G)	Probabilidad ocurrencia (P) (%)	G * P
1	Nivel de capacitación de los operarios	3	30	0,90
2	Puntualidad de los operarios	2	43	0,86
3	Supervisión del proceso	4	48	1,92
4	Errores operacionales	5	13	0,65
5	Altas temperaturas	1	53	0,53
6	Elevados niveles de ruido	1	85	0,85
7	Accidentes de trabajo	2	18	0,36

8	Experiencia de los empleados	3	45	1,35
9	Condiciones inestables de seguridad	3	75	2,25
10	Equipos en mal estado	3	50	1,50
11	Falta de herramientas e instrumentación	2	48	0,96
12	Elevados niveles de congestión	2	21	0,42
13	Ausencia de medios de protección	1	15	0,15
14	Inestabilidad en la entrada de caña	5	43	2,15
15	Escasa generación de vapor	5	51	2,55
Total		42	638	17,40

Fuente: Elaboración propia

Aparte de la información extraída de los cuestionarios, también se requiere el valor de la productividad frontera y del límite inferior de la productividad óptima para determinar las pérdidas debido a las ineficiencias del sistema.

*Tabla 3.9-Cálculos de las pérdidas por ineficiencia del sistema*

Productividad de frontera (PF) (t/hombre.día)	1300,00
Límite inferior de productividad óptima (LIPO) (t/hombre.día)	995,80
$\Delta_{(PF-LIPO)}$ (t/hombre.día)	304,20
$\Sigma$ Puntos de gravedad (P)	42,00
$\Sigma$ Producto (P*G)	6,38
( $\Sigma$ Producto)/( $\Sigma$ Puntos de gravedad)	0,15
Estimación de Pérdidas por Ineficiencia del sistema	126,00

Fuente: Elaboración propia

El límite inferior de productividad óptima se calcula en dependencia de la probabilidad de ocurrencia del factor, el cual permite calcular las pérdidas por ineficiencia del sistema, siendo estas pérdidas de 126 t/hombre.día, lo cual corresponde a una pérdida de 14 t<sub>caña molida</sub>/h dejadas de moler por causa de la baja eficiencia del sistema. También es posible determinar el límite superior de la productividad óptima restandole a la productividad frontera las pérdidas por ineficiencias del sistema, valor que corresponde a 1174 t<sub>caña molida</sub>/hombre.día siendo esta la máxima capacidad de molienda considerando las pérdidas por ineficiencia del sistema independientes de las pérdidas por la baja productividad de la mano de obra. Los elementos abordados con anterioridad demuestran los altos valores de afectación que tienen las ineficiencias en el sistema y la baja productividad de la mano de obra.

### 3.5-Comportamiento de los materiales empleados en la Industria

El Central Azucarero Mario Muñoz Monroe define en su normativa interna los diferentes índices de consumo de materiales que son utilizados en el proceso productivo en función de la caña molida.

#### Agua

En el proceso de producción de azúcar se obtienen un gran volumen de condensados generados en diferentes equipos del proceso como los calentadores, preevaporados, cuádruple efecto y tachos. Estos condensados son analizados para determinar su calidad físico-químico y establecer su destino: tanques de agua para alimentar la caldera y tanques para uso del proceso tecnológico (agua de imbibición, dilución de mieles, lavado en centrifugas y otras). Actualmente, en la UEB Central Azucarero "Mario Muñoz Monroe", una parte del volumen de condensado total destinado hacia la caldera está siendo afectado por contaminaciones reflejadas en los análisis físico-químicos. Durante un día promedio de zafra se generan 112,95 m<sup>3</sup>/h de condensados, se destina a calderas 40,38 m<sup>3</sup>/h, al tanque de contaminados 48,34 m<sup>3</sup>/h y el resto es enviado al enfriadero.

El Central Azucarero cuenta con una capacidad de generación de vapor instalada de dos calderas de 45 t<sub>vapor</sub>/h y una de 60 t<sub>vapor</sub>/h, las cuales trabajan a un 55% de eficiencia; se genera un total de 82,5 t<sub>vapor</sub>/h. El condensado generado en el proceso no es suficiente para abastecer al sistema de generación de vapor, por lo que se requieren 42,12 m<sup>3</sup>/h de agua potable. El índice de consumo de agua establecido por la industria es de 0,12 m<sup>3</sup>/t<sub>caña molida</sub>. Considerando que el valor medio de caña molida es 237,08 t/h, se debe consumir un máximo de 28,45 m<sup>3</sup>/h de agua potable y en realidad se consumen 42,12 m<sup>3</sup>/h. Se puede plantear que se está violando la norma de consumo de agua potable establecida por el central en un 32,45 % en el proceso de producción de azúcar crudo.

#### Floculante

El floculante utilizado en la Industria es Quimifloc 400 y está normado un índice de consumo de 6 g/t<sub>caña molida</sub>. El floculante medio consumido corresponde a 2500 g/h y el valor normado según el índice de consumo y la media de caña molida (237,08 t/h) es 1422,5 g/h. Se está consumiendo 1077,5 g/h de floculante por encima del índice de consumo, esto es consecuencia de la gran



cantidad de impurezas que tiene la caña, incluyendo el alto porcentaje de materia extraña, que es uno de los elementos que se detecta en el control del proceso como fuera de norma según prueba de hipótesis.

#### Lechada de cal

La cal hidrata o hidrato de cal que se emplea en el proceso de clarificación debe cumplir con un valor mínimo aprovechable de óxido de calcio de 70 % según establece la norma interna del Central Azucarero "Mario Muñoz Monroe". Este valor de pureza normado nunca fue alcanzado durante las mediciones realizadas (máximo 62,5 %), se obtuvo un valor medio de 59 %; el resto de los componentes corresponden a óxido de magnesio, insolubles al ácido clorhídrico, sílice en forma de óxido y agua fundamentalmente.

El índice de consumo establecido por el central es de 610 g/t<sub>caña molida</sub> para una cal con un 70% de óxido de calcio (CaO). Considerando que el valor medio de pureza durante el estudio corresponde a 59 %, el índice de consumo normado correspondería a 725 g/t<sub>caña molida</sub>. El consumo de cal medio es de 325 kg/h y considerando el índice de consumo, debe ser de 171,88 kg/h, por lo que se consume 153,2 kg/h adicionales violando la normativa vigente. No se detectaron deficiencias durante la preparación de la lechada de cal, esta cumple con el valor normado (4 Bé). Se detecta incumplimiento de la norma según prueba de hipótesis del pH del jugo alcalizado y también las cartas de control para medias y rangos permitieron detectar que dicha variable se encuentra fuera de control estadístico. Se puede concluir que las deficiencias están presentes en la cantidad de la lechada de cal administrada al proceso, flujo que no es posible medir en la industria por ausencia de instrumentación.

#### Principales productos de limpieza y mantención

El hidróxido de sodio (NaOH) es uno de los productos que se emplea en la limpieza por sus propiedades desincrustantes, ayuda a eliminar restos del mosto y de levadura que quedan adheridos en superficies. La norma de consumo para NaOH en estado líquido es de 120 g/t<sub>caña molida</sub> y 60 g/t<sub>caña molida</sub> para dicho producto cuando se utiliza en estado sólido; este último no se encuentra disponible en los almacenes. El consumo medio de NaOH en estado líquido es de 560

kg/d y está normado un consumo máximo de 682,8 kg/d, parámetro que cumple con los índices de consumo normados.

El ácido clorhídrico (HCl) se utiliza para eliminar las incrustaciones en los equipos de intercambio de calor. El índice de consumo normado es de 60 g/t<sub>caña molida</sub> y durante la etapa muestreada se utiliza 22,5 kg/h de HCl como valor medio; correspondiendo a un índice de consumo 94,90 g/t<sub>caña molida</sub>. El uso excesivo de dicho ácido está influenciado por la mala calidad de la cal y el exceso de alcalización, que aporta numerosas sales metálicas al proceso.

La relación entre el consumo de bagazo y producción de vapor no fue posible analizar por la incapacidad de medición del flujo de vapor generado. El Central Azucarero tiene normado aportar al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) 10 kWh/t<sub>caña molida</sub> y en realidad aporta 12,3 kWh/t<sub>caña molida</sub>, sobrecumpliendo en un 123 %. El consumo del SEN normado es de 1 kWh/t<sub>caña molida</sub> y el Central Azucarero tuvo un consumo de 0,85 kWh/t<sub>caña molida</sub>. Los elementos anteriores demuestran una mala planificación en el proceso, porque si existe un sobrecumplimiento en la entrega al SEN, no es necesario el consumo del mismo. Un elemento que repercute en dicho aspecto es la inestabilidad en la molida, detectándose el flujo de caña molida fuera de norma según prueba de hipótesis y fuera de control estadístico de proceso según cartas de control para media y rangos.

### **3.6-Repercusión de la disciplina tecnológica sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente de la planta**

En este epígrafe se analizan los resultados de la influencia de forma conjunta de las causas: control del proceso, mano de obra, mantenimiento, entorno socioeconómico, instrumentación y materiales sobre la calidad, economía, seguridad y medio ambiente.

#### **3.6.1-Comportamiento de la calidad y cumplimiento de la normalización**

Los parámetros de calidad analizados a través de las pruebas de hipótesis dan como resultado que de un total de 13 variables, 9 cumplen con la norma establecida por el central según prueba de hipótesis, lo que representa un 69,23 % de cumplimiento. Los valores de la norma fueron

obtenidos en los manuales de operación de cada área y del registro específico del central aprobado por la Dirección Provincial de AZCUBA.

*Tabla 3.10 Prueba de hipótesis a los parámetros de calidad del azúcar crudo*

Parámetro	Valor normado	Valor medio	CV (%)	Desviación estándar	Cumple la norma
Pol	$\geq 99,0$	99,15	0,09	0,09	Sí
Color ICUMSA	$\leq 1500$	1071	18,65	199,79	Sí
Color Horne	$\leq 13$	9,56	19,66	1,88	Sí
Humedad (%)	$\leq 0,20$	0,20	14,93	0,03	Sí
Tamaño de grano sobre maya 20 (%)	$\geq 60$	64,00	6,67	4,27	Sí
Insolubles (%)	$\leq 0,03$	0,03	10,61	0,00	Sí
Reductores (%)	$\leq 0,25$	0,21	29,46	0,06	Sí
Cenizas (%)	$\leq 0,20$	0,14	40,36	0,06	Sí
Partículas Ferromagnéticas (%)	$\leq 6$	1,30	36,17	0,47	Sí
Dextrana (ppm)	$\leq 200$	760,7	4,83	36,74	No
Almidón (ppm)	$\leq 200$	208,5	6,41	13,36	No
pH	7,00	6,46	2,32	0,15	No
Factor de Seguridad	$\leq 0,20$	0,23	12,94	0,03	No

Fuente: Elaboración propia

#### 1) Pol

El valor medio de pol en el azúcar crudo es 99,15 %, este valor satisface la norma, atendiendo que es difícil obtener un mayor valor de Pol en azúcar con la tecnología disponible en las etapas de cristalización en Cuba. El mercado mundial exige un contenido de pol mayor que el 99% para el azúcar comercial; por lo que cumple con las exigencias del mercado actual y posee los requisitos requeridos para su comercialización y exportación.

#### 2) Color ICUMSA y Color Horne

Según la Norma Cubana NC85:2013 *Azúcar crudo de caña. Especificaciones*, el valor máximo de Color ICUMSA y Color Horne es de 1500 y 13 respectivamente. El valor medio para color

ICUMSA y Color Horne es de 1071 y 9,56, los cuales son inferiores a lo establecido por la norma. Estos valores se pueden mejorar estableciendo un control estricto en la etapa de purificación donde existen siete variables fuera de control estadístico y disminuyendo la entrada materia extraña, variable que se encuentra en estado de control estadístico pero no cumple con la norma según prueba de hipótesis; lo que equivale a una mayor entrada de pigmentos coloreados como la clorofila al proceso.

### 3) Humedad

Según la Norma Cubana NC85:2013 *Azúcar crudo de caña. Especificaciones*, el valor máximo de humedad del azúcar crudo es de 0,20 %. El valor promedio reportado por el central es de 0,20 %, el cual es inferior a lo establecido. Según Monteverde et al. (1968), la humedad es un parámetro muy importante, debido a que elevados valores favorece la proliferación de microorganismos que provocan la degradación del producto y afecta la calidad.

### 4) Tamaño de grano sobre maya 20

El valor medio de este indicador es de 64 %, por lo que cumple con la norma del central ( $\geq 60$  %). El tamaño y la uniformidad del azúcar crudo, reviste gran importancia por causa de las afectaciones que estos parámetros provocan durante la refinación. El tamaño de grano se ve afectado por la mala calidad de la materia prima y el deficiente trabajo operacional en el área de cristalización.

### 5) Insolubles

La media para este indicador es de 0,03 %, valor que cumple con la norma de la industria. Los principales insolubles que acompañan al azúcar son fundamentalmente las sales que contiene la cal que se utiliza en la clarificación, aquellas que logran pasar de los jugos al azúcar y el bagacillo.

### 6) Reductores

El valor medio de reductores presentes en el azúcar es de 0,21 %, el cual cumple con la norma del central para su comercialización.

7) Cenizas

El valor medio de cenizas es de 0,14 %, el cual cumple con la norma de la industria en cuestión. Según López-Oña (1979), un contenido de cenizas por encima de 0,30% trae dificultades en la decoloración. El incremento de esta se debe principalmente a la mala calidad de la materia prima, al exceso de cal empleada, a una clarificación deficiente y al alto contenido de cogollo que acompaña a la caña que va al basculador.

8) Partículas Ferromagnéticas

Según la Norma CODEX STAN 212-1999 (Enmienda-2001) *Norma del CODEX para los azúcares*, el valor máximo de partículas ferromagnéticas es de 6 %. El valor medio es de 1,30 %, por lo que cumple con lo establecido en la norma. Valores elevados indican una deficiente limpieza en las Empresas Azucareras (UEB), la no utilización de pinturas anticorrosivas y de los electroimanes instalados o su inadecuada limpieza.

9) Dextrana

El coeficiente de variación de dextrana es de 4,83 %, para un valor medio de 760,7 ppm, incumpliendo la norma planteada por el central ( $\leq 200$  ppm). Desde el punto de utilización de azúcar crudo, la presencia de dextrana ocasiona aumento de la viscosidad de los productos intermedios, dificultades en la cristalización y aumento del deterioro de las mieles. El incremento de las concentraciones de dextrana es favorecido por la mala calidad de la materia prima y la falta de higiene en el central.

10) Almidón

El valor medio de almidón es de 208,5 ppm, aunque este valor es relativamente cercano a la norma del central, incumple con la misma. Este indicador resulta afectado fundamentalmente cuando la caña viene acompañada del cogollo, que es la parte de la planta rica en este componente, por lo que depende de la variedad empleada y no de la manipulación del hombre.

11) pH

El valor medio reportado por el central es de 6,46, el cual incumple con la norma. Valores superiores de este se debe a un exceso de cal y valores inferiores a problemas con la materia prima e insuficiencias en la etapa de alcalización.

12) Factor de Seguridad

El valor medio del factor de seguridad es de 0,23, con un coeficiente de variación de 12,94 %, el cual incumple con la norma del central. Este indicador da una idea del tiempo que puede estar el azúcar en el almacén sin deteriorarse.

### 3.6.2-Análisis económico del proceso de producción de azúcar crudo

El análisis económico se realiza para el mes de marzo de 2019. Este compara los resultados económicos reales del proceso de producción de azúcar crudo con los parámetros operacionales normados, para determinar las pérdidas que se producen en el proceso por concepto de violación de la disciplina tecnológica. Las tablas 3.11 y 3.12 muestran los principales resultados de los indicadores económicos.

*Tabla 3.11- Principales indicadores económicos de la Industria*

<b>Indicador económico</b>	<b>Costos (CUP)</b>
<b>Costos Variables</b>	<b>64 621 126</b>
Materia Prima, Materiales e Insumos	59 727 302,35
Gastos asociados a la producción	2 507 720,5
Gastos de distribución y ventas	31 828,11
Salarios y Vacaciones	2 354 275,48
<b>Costos Fijos</b>	<b>1 880 204,1</b>
Depreciación AFT	1 107 953,5
Gastos generales y de administración	772 250,6
<b>Costo de producción</b>	<b>66 501 331</b>

Fuente: Ficha de costos de producción de azúcar crudo, marzo del 2019

*Tabla 3.12- Resultados del cálculo de los principales indicadores económicos*

<b>Indicador económico</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Fuera de norma</b>	<b>Según norma</b>
CP	CUP	66 501 331	72 458 421
VP	CUP	69 427 507	78 726 200
Ganancia	CUP	2 926 176	6 267 779
C/\$	Adimensional	0,95	0,92
Rentabilidad	%	4,4	8,65
Punto de equilibrio	kg/día	13 106,12	8765,52

Fuente: Elaboración propia

Los resultados económicos del proceso de producción de azúcar crudo según establece la norma difieren considerablemente del proceso real, en el que se violan una serie de parámetros que afectan la disciplina tecnológica, según se puede observar en la tabla 3.11.

Como se muestra en la tabla 3.12, cuando se cumple con los aspectos del proceso y de calidad (según la norma), aumenta la ganancia a 6 267 779 CUP, lo que representa un incremento de 3 341 603 CUP. El dinero que hay que gastar para producir un peso disminuye de 0,95 a 0,92, cuyo indicador económico es el costo por peso. Evidencia que es necesario gastar menos para producir un peso, lo cual permite obtener mayor ganancia invirtiendo menos.

Según Salazar & Vargas, (2015), la rentabilidad de un proceso debe encontrarse entre 25 y 35%. En este proceso no se cumple en ninguna de las dos condiciones de trabajo analizadas. Cuando se cumple con la norma, la rentabilidad es 8,65% y el proceso que viola la disciplina tecnológica es de 4,4 %, lo cual disminuye considerablemente; y este último valor se encuentra totalmente alejado del intervalo establecido para industrias químicas por los autores mencionados.

En el **Anexo 13 y 14** se muestran los gráficos donde se representa el punto de equilibrio para ambas condiciones del proceso. Cuando se cumple con la norma establecida el volumen a partir del cual la planta comienza a obtener ganancias en un día es 8765,52 kg de azúcar, mientras que cuando se incumple con la disciplina tecnológica la planta comienza a obtener ganancias a partir de 13 106,12 kg de azúcar producida. Mientras más bajo sea el volumen de producción del punto

de equilibrio, permite que se puedan realizar inversiones o modificaciones que permitan obtener una mayor calidad del producto terminado y mejores rendimientos, también posibilita mejorar las condiciones de trabajo y de seguridad.

### **El modelo de costo de calidad PAF (Prevención- Evaluación- Fallas)**

El modelo de costos de calidad PAF permite analizar los principales costos empleados en el control de la calidad, aportados por el Departamento de Economía del Central Azucarero. En la tabla 3.13 se muestran los principales costos.

*Tabla 3.13- Resultados de los costos de calidad PAF*

	<b>Costos de calidad PAF</b>	<b>Costo (CUP)</b>
<b>Costos de prevención</b>	Costos de control de la calidad del producto final	15 028,32
	Costos de auditorias	1 245,85
	Costos de planificación y capacitación	7 275,00
	Costo de programas de seguridad industrial	2 563,45
	Costos de mantenimiento preventivo	25 356,00
	Costos de limpieza	8 590,75
<b>Costos de evaluación</b>	Costos de control de calidad de materia prima	5 630,45
	Costos de registros de calidad	1 526,00
	Salarios del personal de inspección y control de calidad	1 2057,41
	Certificados oficiales de inspección final	2 563,47
	Los costos de medición, registro y control de temperatura	6 345,85
	Costo de los análisis externos	1 205,48
<b>Costos de fallas</b>	Desechos	12 542,25
	Reprocesamiento	6 521,35
	Costo de los análisis adicionales de laboratorio	2 563,14
	Pérdidas de energía	5 632,14
	<b>Total</b>	<b>116 646,91</b>

Fuente: Departamento Económico Central Azucarero Mario Muñoz Monroe



Una comparación entre las principales tres categorías que conforman los costos de calidad PAF, permite detectar la diferencia sobresaliente de los costos de prevención sobre los costos de evaluación y de fallas. Durante la investigación no se detectaron registros de los costos de fallas externas, considerando solamente las fallas internas, debido a la no existencia de rastreo de la producción por parte del central.

Una investigación más profunda de los costos de prevención permite detectar que el mayor costo está relacionado con el mantenimiento preventivo. Esto se debe a los elevados años de explotación que presenta el central y las consecuencias nefastas que representa una parada del proceso productivo, ya que es un proceso lineal, en el cual el funcionamiento es en cadena donde cada eslabón es un subproceso o área y todos están interconectados entre sí.

### **Índices de costos de calidad**

Los índices de costo permiten evaluar la administración y control de los recursos por parte de la Empresa. En la tabla 3.14 se muestran los índices más representativos de los costos de calidad según plantea British Standard Institution (1981).

*Tabla 3.14- Índices de costos de calidad más representativos*

<b>Índices de costos de calidad</b>	<b>%</b>
(i) Base Mano de Obra	1,16
(ii) Base Costo	0,04
(iii) Base Ventas	0,17
(iv) Base Unidad de Producción	63,74
(v) Base Valor agregado	3,99

Fuente: Departamento Económico Central Azucarero Mario Muñoz Monroe

Teniendo en cuenta los valores de los índices de costos de calidad, se puede plantear que la Industria maneja los índices (ii) y (iii) de manera correcta. Según Crosby (1979) y Harrington (1999), el valor ideal de los índices de costo debe ser cero, lo cual en la práctica es imposible. Estos resultados evidencian el control estricto del central de los costos de fallas y de los costos generales de calidad en función de las ventas netas, existiendo una

administración muy bien diseñada a pesar de encontrarse la mayoría de las variables fuera de control estadístico. Uno de los aspectos que detalla Alfonso (2019), es la disminución en el porcentaje de tiempo perdido por roturas y también en la presente investigación se detectó que el costo del mantenimiento preventivo es elevado, lo cual evita pérdidas por parada del central a causa de roturas. Los excelentes índices de costo de calidad en función de las ventas se deben a que la mayoría de la azúcar cruda producida es destinada a la producción de azúcar refina, sección que se encuentra anexa al Central Azucarero y los costos de transportación, son mínimos. La industria no reporta lotes con problemas en la calidad, por lo que nunca ha recibido devoluciones de dicho producto.

Los índices de costo (i) y (v) dan un criterio positivo sobre los costos de las fallas internas y los costos totales de calidad en función del valor agregado, dichos valores son 1,16 y 3,99 % respectivamente. Crosby (1979) y Harrington (1999), establecen que valores entre 2 y 2,5 % indica que la industria administra el costo de calidad muy satisfactoriamente y consideran hasta un 6% puede ser tomado como indicador positivo sin considerar la calidad del producto.

El índice (iv) presenta un valor desviado del buen manejo de la calidad por parte de la industria. Según Crosby (1979) y Harrington (1999), plantean que los valores extremos deben ser analizados con precaución, ya que valores reales muy altos o muy bajos de los índices pueden indicar una administración y/o sistema de costeo de calidad deficientes, lo cual no está en correspondencia con el resto de los valores administrados.

### **3.6.3-Repercusión sobre la seguridad del proceso**

El método de Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) permite identificar los posibles fallos que puede aparecer en el calentador líquido-líquido y en la caldera, sus efectos y se propone las medidas correctivas. Atendiendo al NPR, mientras mayor sea dicho valor, mayor atención se le debe prestar por parte de los operarios.

Se selecciona el calentador líquido-líquido y la caldera ya que son los equipos que están relacionados o en los que repercuten directamente los PCC detectados en el epígrafe 2.4.1:

- El calentador líquido-líquido garantiza la temperatura del agua de imbibición, la cual influye en la extracción de sacarosa en los molinos. Elevados valores de temperatura puede condicionar la formación de ceras y así disminuir la eficiencia de dicha etapa. También actúa como barrera en la proliferación de microorganismos, principalmente de bacterias ácido lácticas que forman metabolitos en el proceso que incrementan la viscosidad de los jugos.
- La caldera es un elemento indispensable en el Central, es la fuente de generación de vapor que abastece las diferentes áreas del proceso productivo y sin dicho equipo el central tendría que parar la molienda. Las altas temperaturas y presión que se manejan son elementos que se deben considerar en el sistema de seguridad y protección de la industria.

Los expertos que conformaron el panel de evaluación son el Jefe de Producción y los diferentes encargados de las áreas productivas, personal con mayor conocimiento del proceso, y además se integra el Departamento de Mantenimiento. Durante el análisis se mantuvo el criterio de clasificación del riesgo de falla utilizados por Ghousechi et al. (2019), Li & Chen (2019) y W. Wang et al. (2018), donde exponen que para NPR=0 no existe riesgo de falla; Número de Prioridad del Riesgo entre 1 y 124, el riesgos de falla se considera bajo; entre 125 y 499 es medio y se establece un alto riesgo de falla para valores entre 500 y 1000 de NPR.

En el **Anexo 15** se muestran los resultados de la aplicación del FMEA en el calentador líquido-líquido, donde las posibles fallas tienen números de prioridad de riesgos de 160 y 600, clasificándose en riesgo de falla medio y alto respectivamente. Estos valores demuestran la peligrosidad de los efectos de fallos y las consecuencias nefastas que traen sobre la eficiencia y la calidad del proceso; siendo afectadas numerosas etapas del proceso donde se identifican PCC.

En el **Anexo 16** se aplica el FMEA en el precalentador, tubos y bomba de alimentación de la caldera, detectándose NPR de 256, 720 y 800 respectivamente. Las fallas se pueden clasificar con riesgo medio para el precalentador y alto para los tubos y bomba de alimentación. Garantizar la no ocurrencia de los fallos detectados es tarea de los operarios y para ello se debe realizar una capacitación periódica, facilitar los manuales y las investigaciones realizadas en dicho proceso, lograr una mejor instrumentación y realizar mantenimientos periódicos.

### 3.6.4-Repercusión de los residuales líquidos sobre el medio ambiente

En este aspecto se analiza la repercusión que tienen los efluentes líquidos sobre el medio ambiente. Se compara la calidad ambiental que genera la industria con un agua residual establecida como patrón, la cual cumple con la NC 27:2012 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado)

#### Índice de Calidad del Agua (ICA)

Se selecciona  $k=0,5$  debido a que el agua presenta una apariencia a estar contaminada y presenta un fuerte olor. En la tabla 3.15 se muestran los resultados de control realizados al agua residual generada por el central.

*Tabla 3.15- Resultados del cálculo del ICA y calidad ambiental*

Parámetros del agua	Unidad medida	Agua residual patrón	Valor %	Agua residual del proceso	Valor %	Peso
pH	-	7	100	6,48	60	1
Conductividad	µS/cm	1500	70	4562	32,2	4
Oxígeno disuelto	mg/L	6	50	0	0	4
Coliformes	NMP/100mL	1000	80	4000	40	3
Cloruros	mg/L	50	80	26	89	1
Temperatura	°C	24	80	41	20	1
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	100	80	210	68	1
Aspecto	Subjetivo	normal	50	desagradable	30	1
Calcio	mg/L	50	70	120	66	1
Magnesio	mg/L	25	80	37	75	1
Nitritos	mg/L	0,01	80	0,025	70	2
ICA	%	0,71	-	0,20	-	-
Calidad ambiental	-	71	-	20	-	-

Fuente: Elaboración propia

El agua residual analizada contiene los residuales de las diferentes etapas productivas y otras áreas no productivas como el comedor, los laboratorios y las oficinas. Esta agua posee un ICA de

20 % y al compararla con el agua establecida como patrón que posee un ICA de 71 %; la diferencia es significativa y da una medida entre el agua que debería salir y la que está saliendo realmente; por lo que su impacto sobre el medio ambiente es negativo. El central no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, estas son vertidas directamente a las zanjas que rodean la instalación y de ahí se infiltran al subsuelo.

Los principales contaminantes que presenta el agua son compuestos azucarados (sacarosa), sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos como ácidos y sales metálicas, materias orgánicas putrescibles reducidas por bacterias aeróbicas y contaminantes biológicos como bacterias, mohos y levaduras. Un análisis de los posibles usos que se le puede dar al agua residual, niegan el uso doméstico por la presencia de coliformes, tampoco para uso industrial porque la conductividad máxima recomendada es de 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la del agua residual del central es de 4562  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El uso agrícola también se ve limitado porque el oxígeno disuelto no es mayor que 3 mg/L y afecta la vida acuática ya que el oxígeno disuelto máximo permisible es de 4 mg/L. Estos elementos hacen necesario el tratamiento del residual para poder emplearla en el riego de parcelas cercanas al central (Rodríguez & Batista, 2009; Tymczyszyn et al., 2007).

### **3.7 Conclusiones parciales**

- El análisis de peligro del proceso permite identificar la existencia de 9 puntos críticos de control.
- El estado de control del proceso es pésimo, de un total de 34 parámetros estudiados, 27 se encuentra fuera de control, al igual que todas las áreas del proceso.
- La instrumentación cumple con los parámetros normados en un 42,57 %.
- Las listas de chequeo para mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico arrojan que el 69,45 % de los factores influyen de forma positiva sobre el proceso.

## CONCLUSIONES

Como resultado final del trabajo se ha podido arribar a las siguientes conclusiones:

1. La evaluación de la disciplina tecnológica en el proceso de obtención de azúcar crudo en el central azucarero Mario Muñoz Monroy de Matanzas permitió determinar los problemas de calidad, económicos, de seguridad y ambientales que este genera.
2. Los elementos fundamentales analizados que repercuten sobre la disciplina tecnológica son el control del proceso, instrumentación, entorno socio-económico, normalización, materiales, mano de obra, y mantenimiento.
3. El estado de control del proceso es desfavorable, de un total de 34 parámetros analizados, solo 7 se encuentra en estado de control; ninguna de las etapas analizadas está bajo control y el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones del 91,52% de las variables analizadas.
4. Las listas de chequeo para mano de obra, mantenimiento y entorno socio-económico, así como la verificación del estado de la instrumentación y de la normalización permitieron determinar que estas causas inciden desfavorablemente en la disciplina tecnológica.
5. Se pudo detectar que por concepto de violación de la disciplina tecnológica se afecta la calidad del producto final, por esta razón se dejan de ingresar 3 341 603 \$, y se debe producir 4340,6 kg más para obtener ganancia en el mes de marzo del 2019. En el calentador líquido-líquido y la caldera se obtienen NPR sumamente elevados y el agua residual posee un impacto negativo con una calidad ambiental de 20 %.

## **RECOMENDACIONES**

Basadas en las conclusiones obtenidas y para la extensión futura del presente trabajo, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Continuar trabajando en la temática de forma que se logre ofrecer un valor integral del comportamiento de la disciplina tecnológica, que permita clasificar a la industria en un nivel dado de cumplimiento de esta.
2. Ponderar las causas que influyen en la disciplina tecnológica como materiales, mantenimiento y entorno socioeconómico.
3. Profundizar la individualización del efecto de las diferentes causas sobre cada uno de los factores dañados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, H., González, M., Rico, O., Morales, M., & Espinosa, R. (2016). Evaluación de esquemas de cogeneración de energía a partir de bagazo de caña de azúcar. In *Centro Azúcar* (Vol. 43, pp. 87–98).
- Agudo, A., & Richard, W. (2003). Métodos multivalentes en control estadístico de la calidad. In *Tesis para optar el Título de Licenciado en Estadística, Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Akay, D. (2011). Grey relational analysis based on instance based learning approach for classification of risks of occupational low back disorders. *Safety Science*, 49(8), 1277–1282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.018>
- Alfonso, A. (2019). Analisis de la eficiencia industrial zafra 2010-2019. *Conferencia Provincial de la ATAC, Matanzas, Cuba*, 1–35.
- Alicia, Q., María, P., & Ricardo, C. (2015). Desempeño de cartas de control estadístico con límites bilaterales de probabilidad para monitorear procesos Weibull en mantenimiento. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(1), 143–156. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72115-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72115-3)
- Anastopoulos, I., Bhatnagar, A., Hameed, B. H., Ok, Y. S., & Omirou, M. (2017). A review on waste-derived adsorbents from sugar industry for pollutant removal in water and wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 240, 179–188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.063>
- Anojkumar, L., Ilangkumaran, M., & Sasirekha, V. (2014). Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2964–2980. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.028>
- Barraza, E., Domínguez, L. D., & Herrera, R. J. (2019). Cálculo del índice de capacidad de procesos usando media geométrica. *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 7(2 SE-Artículos), 86–95. <https://doi.org/10.17081/invinno.7.2.2851>



- Batista, C., & Portuondo, F. M. (2002). Sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos. *Centro Azúcar*, 29-38.
- Bollaín, M. (2019). *Ingeniería de Instrumentación de Plantas de Proceso*. Ediciones Díaz de Santos. Asociación Española de Medición y Control. España.
- British Standard Institution, (BSI). (1981). Guide to the determination and use of quality related costs. *BS 6143*.
- Cabeza, M. A., & Cabrita, E. N. (2006). El análisis de riesgo cuantitativo como una poderosa herramienta para la planificación estratégica de procesos petroquímicos. *Actualidad Contable FACES*, 9(12), 27–35.
- Carrazana, L. (1987). Análisis agroindustrial azucarero-Teoría y práctica. *Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba*.
- Casal, J., Montiel, H., Planas, E., & Vílchez, J. A. (2001). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Ediciones Alfa omega S.A., Bogotá (Colombia).
- Colmenares, E., & Velásquez, L. J. (2012). Análisis cuantitativo de riesgos en los procesos de la estación de descarga de bare-10 en el distrito San Tomé, petróleos de Venezuela, sa (Pdvsa) estado Anzoátegui. *Jornadas de Investigación*, 215–224.
- Conesa, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. 4<sup>a</sup>. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 867p.
- Contreras, A., Cárdenas, C., González, J., Toloza, S., Zambrano, L., & Pulido, A. (2019). Herramientas estadísticas para la mejora del control de inventarios: un caso de estudio. *Investigación y Desarrollo En TIC*, 10(14–25).
- Contreras, A.M., Marroquín, E., & Zertuche, F. (2012). Monitoreo y Control de un Proceso Normal Multivariado. *Conciencia Tecnológica*, 43, 29–35.
- Contreras, Ana M. (2007). *Metodología para el análisis de ciclo de vida combinado con el análisis exergético en la industria azucarera cubana*. Tesis presentada en opción al grado

- científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba.
- COVENIN. (2002). *Directrices Generales para la Aplicación del Sistema HACCP en el Sector Alimentario* (Patent No. 3802). LF55520026663371.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain* (Vol. 94). McGraw-hill New York.
- Darji, V. P., & Rao, R. V. (2014). Intelligent Multi Criteria Decision Making Methods for Material Selection in Sugar Industry. *Procedia Materials Science*, 5, 2585–2594. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.519>
- de la Cruz, M. L., Nápoles, M., & Morales, Y. (2017). Procedimiento basado en el modelo conceptual del mantenimiento centrado en la fiabilidad para la reconversión de la industria azucarera en el contexto cubano. *Tecnología Química*, XXXVII(1), 77–92.
- Delfín, L., & Acosta, M. P. (2016). Importancia y análisis del desarrollo empresarial. *Revista Científica Pensamiento y Gestión*, 1(40), 184–202.
- Dhilipan, A., Preethi, J., Sreeshakthy, M., & Sangeetha, V. (2014). A survey on pattern recognition using spiking neural networks with temporal encoding and learning. *Int. J. Res. Advent Technol*, 2(11), 121–125.
- Díaz, Y. (2018). *Procedimiento general orientado a la mejora de sostenibilidad ambiental en la UEB de producción de azúcar "Ifraín Alfonso" en el municipio de Ranchuelo de la provincia de Villa Clara*. Tesis en opción al grado académico de Ingeniero Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
- Dozzi, S. P., & AbouRizk, S. M. (1993). Productivity in construction. *National Research Council Canada*, 37(1), 1–54.
- Feigenbaum, A. V. (1991). Total quality control. McGraw-Hill. Inc, Singapore.

- Feng, H., Chen, J., Zhou, W., Rungsardthong, V., & Zhang, X. (2019). Modeling and evaluation on WSN-enabled and knowledge-based HACCP quality control for frozen shellfish cold chain. *Food Control*, 98, 348–358. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.050>
- Fernández, N., Castro, R., & Pretel, D. (2019). Technology transfer networks in the first industrial age: the case of Derosne & Cail and the sugar industry (1818–1871). *Business History*, 1–64. <https://doi.org/10.1080/00076791.2018.1551365>
- Fukunaga, K. (2013). *Introduction to statistical pattern recognition*. Ediciones ACADEMIC PRESS, INC. Estados Unidos de América.
- Gamarra, B. F., Temoche, L. L., & Velasquez, E. M. (2019). *Evaluación de rendimientos de mano de obra y maquinaria en partidas incidentes del Proyecto de pistas y veredas del Asentamiento Humano 10 de Setiembre, Chimbote, Ancash-2018*. Tesis para optar al grado académico de bachiller en Ingeniería Civil. Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú.
- Ghoushchi, S. J., Yousefi, S., & Khazaeili, M. (2019). An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures. *Applied Soft Computing*, 81, 105505. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105505>
- Giacomantone, J., Violini, M. L., Lorenti, L., Naiouf, M., Bria, O. N., & Abásolo, M. J. (2014). Reconocimiento de patrones y generación de características con restricciones temporales. *XVI Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación*, 1–5.
- Gopinath, A., Bahurudeen, A., Appari, S., & Nanthagopalan, P. (2018). A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries. *Journal of Cleaner Production*, 203, 89–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.252>
- Guillén, M., Paredes, J., & Camacho, O. (2010). Un enfoque para la detección y el diagnóstico de fallas en la instrumentación de un proceso usando reconocimiento de patrones en el dominio wavelet. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 31(2), 83–90.

- Gutiérrez, H. (2006). Cartas de control Bayesianas para atributos y el tamaño de subgrupo grande en la carta p. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(2), 163–180.
- Gutiérrez, M. (2004). *Administrar para la calidad: conceptos administrativos del control total de calidad*. México: Limusa Editores.
- Harrington, H. J. (1999). Performance improvement: a total poor quality cost system. *The TQM Magazine*.
- Hernandez, K. ., & Pérez, C. J. (2019). Aplicación de las herramientas de calidad para contabilizar el scrap en una Empresa metal-mecánica. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 1(5), 144–148.
- Honig, P. (1969). *Principios de tecnología azucarera*. Tercera Edición. Editorial Revolucionaria, La Habana, Cuba.
- Hugot, E., Ruiz, C., & Coutiño, C. (1978). *Manual para ingenieros azucareros*. México, D. F.
- Ibarra, E. V, Goya, F. A., Guerra, B. F., Dupin, M., & Pérez, L. (2015). Caracterización y usos de las técnicas cuantitativas de valoración de riesgos en los procesos químicos industriales. In *Centro Azúcar* (Vol. 42, pp. 26–36). scielocu.
- Jayabalan, T., Matheswaran, M., & Naina Mohammed, S. (2019). Biohydrogen production from sugar industry effluents using nickel based electrode materials in microbial electrolysis cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(32), 17381–17388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.219>
- Jenkins, G. H. (1988). *Introducción a la tecnología del azúcar de caña*. Editorial Revolucionaria, La Habana, Cuba.
- Kisi, K. (2015). *Estimation of optimal productivity in labor-intensive construction operations*. Tesis de Doctorado. Universidad de Nebraska. Lincoln, Nebraska.
- Li, Z., & Chen, L. (2019). A novel evidential FMEA method by integrating fuzzy belief structure and grey relational projection method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*,

- 77, 136–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.10.005>
- Liu, F., Rhim, H., Park, K., Xu, J., & Lo, C. K. Y. (2021). HACCP certification in food industry: Trade-offs in product safety and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 231, 107838. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107838>
- Liu, H., Wang, L., Li, Z., & Hu, Y. (2019). Improving Risk Evaluation in FMEA With Cloud Model and Hierarchical TOPSIS Method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27(1), 84–95. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2861719>
- López-Oña, J. V. (1979). Initial versus revised raw sugar quality standards [Ash content, color, prices, USA]. *Sugar y Azucar (USA)*.
- Luis Orozco, J.D. (2020). *Entrevista personal sobre aspectos fundamentales que influyen en el disciplina tecnológica. Universidad de Matanzas, Cuba.*
- Maestre, L. (2012). *Criterios de Ingeniería para la selección de instrumentación en un proceso de separación de crudo.* Universidad Pontificia Bolivariana.
- Mahto, A., Gupta, R., Ghara, K. K., Srivastava, D. N., Maiti, P., D., K., Rivera, P.-Z., Meena, R., & Nataraj, S. K. (2017). Development of high-performance supercapacitor electrode derived from sugar industry spent wash waste. *Journal of Hazardous Materials*, 340, 189–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.06.048>
- Martínez, N., & Nemirovitch, P. (1985). Procesos de purificación del jugo de la industria azucarera. In *Tesis en opción al grado acedemico de Ingeniería Química. Facultad de Química. Universidad de Camagüey. Cuba.*
- Martínez, P. (2017). *Mejora de los Parámetros de Control para Incrementar la Productividad en el Proceso de Cristalización en la Empresa Azucarera Andahuasi S.A.A.* Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Mavroforakis, M. E., & Theodoridis, S. (2005). Support Vector Machine (SVM) classification through geometry. *2005 13th European Signal Processing Conference*, 1–4.

- Medina, N., Jiménez, A., & Grossmann, I. E. (2014). A mathematical programming model for optimal layout considering quantitative risk analysis. *Computers & Chemical Engineering*, 68, 165–181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.05.019>
- Monteverde, J., Ruso, R., & Fajardo, R. (1968). Estudio del deterioro de azúcares almacenados a granel. *Memorias 38, Conferencia de La ATAC*, 126–144.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. (Grupo Noriego de Editores ).
- Montgomery, D. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. USA: Wiley&Sons.
- Montilla, M. (2002). Metodología innovadora para la selección de la instrumentación de un proceso. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 23(1), 1–5.
- Moreno, A. L., & Vargas, J. A. (2000). Carta de control R con intervalos de muestreo variables. *Revista Colombiana de Estadística*, 23(1), 15–25.
- Morrison, C. (2003). Labour and technological discipline: chaos and order in a Russian Textile Company. In N. Dannhaeuser & C. Werner (Eds.), *Anthropological Perspectives on Economic Development and Integration* (Vol. 22, pp. 171–197). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1016/S0190-1281\(03\)22006-0](https://doi.org/10.1016/S0190-1281(03)22006-0)
- NC, 27:2012. (2012). *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado* (Patent No. 27 Cuban National Bureau of Standards).
- Nie, R., Tian, Z., Wang, X., Wang, J., & Wang, T. (2018). Risk evaluation by FMEA of supercritical water gasification system using multi-granular linguistic distribution assessment. *Knowledge-Based Systems*, 162, 185–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.05.030>
- Nirajan, M., P., K. K., & M., R. E. (2020). Estimating Labor Productivity Frontier: A Pilot Study. In *Construction Research Congress 2014* (pp. 807–816). <https://doi.org/doi:10.1061/9780784413517.083>

- Nwosu, I. I., Onoyima, R. O., Madu, I. A., & Nwokocha, V. C. (2019). The socioeconomic effects of small-scale women businesses in broom production and marketing industry. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*.
- Paz, L. E., & Hernández, E. A. (2015). Estudio de productividad científica internacional de la temática Caña de Azúcar relacionada con Química Aplicada. In *Tecnología Química* (Vol. 35, pp. 295–307). scielocu.
- Pedroza, R. (1975). *Fabricación de azúcar crudo de caña*. Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba.
- Peñabaena, R., Oviedo, Ó., Vásquez, J. G., & Fernández, L. M. (2013). Diseño estadístico de cartas de control para datos autocorrelacionados. *Ingeniería y Desarrollo*, 31(2), 291–315.
- Petti, C., & Zhang, S. (2011). Factors influencing technological entrepreneurship capabilities: Towards an integrated research framework for Chinese enterprises. In *Journal of Technology Management in China* (Vol. 6, Issue 1, pp. 7–25). <https://www.ingentaconnect.com/content/mcb/jtmc/2011/00000006/00000001/art00001>
- Plunkett, J. J., & Dale, B. G. (1987). A Review of the Literature On Quality- Related Costs. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 4(1), 40–52. <https://doi.org/10.1108/eb002874>
- Porter, L. J., & Rayner, P. (1992). Quality costing for total quality management. *International Journal of Production Economics*, 27(1), 69–81. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0925-5273\(92\)90127-S](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0925-5273(92)90127-S)
- Posada, E. D. (1987). *Tecnología de la Producción Azucarera*. ISPJAE. La Habana, Cuba.
- Poveda, R. P. (1996). Reparacion y mantenimiento de la maquinaria azucarera. In *Tecnología Azucarera, Editorial Pueblo y Educación. La Habana*.
- Pulido, A., Ruiz, A., & Ortiz, L. (2020). Mejora de procesos de producción a través de la gestión de riesgos y herramientas estadísticas. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(1), 56–67. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052020000100056&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000100056&nrm=iso)

- Rajaeifar, M. A., Sadeghzadeh Hemayati, S., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., & Mahmoudi, S. B. (2019). A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 423–442. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.056](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.056)
- Ramos, O. (2005). Caña de azúcar en Colombia. *Revista de Indias*, 65(233), 49–78.
- Rendón, H. (2013). *Fundamentos Estadísticos para el Control Estadístico de Calidad*. Editorial Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, A., Álvarez, A., Sosa, I., De Vos, P., Bonet, M. H., & Van der Stuyft, P. (2010). Inventario del clima organizacional como una herramienta necesaria para evaluar la calidad del trabajo. In *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* (Vol. 48, pp. 177–196). scielocu.
- Rodríguez, H. M. (2018). Análisis HACCP del proceso de elaboración de azúcar y estandarización de la ecología microbiana presente en campo y fábrica en el Ingenio Quisería del grupo BSM. *Informe Técnico. Instituto Tecnológico de Colima.*, p88.
- Rodriguez, L. E., & Batista, M. (2009). Eliminación del consumo de agua cruda en el proceso de fabricación de azúcar crudo de caña. *Ciencias Holguín.*, 15(3), 1–8.
- Rubio, A., & Rubio, M. (2018). Integración y esquemas energéticos para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera en la generación de electricidad. *Centro Azúcar*, 45(4), 20–31.
- Salazar, D. X., & Vargas, D. J. (2015). *Diseño de una planta para la elaboración de dos productos lácteos y la evaluación de la influencia de la leche producida mediante el método " Rotativo racional" en el rendimiento, composición y calidad*. Trabajo para optar al título de Ingeniero Agroindustriales y de Alimentos. Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.
- Sandholm, L. (1987). Reducing quality costs to improve export earnings. *International Trade Forum; Geneva*, 23(4), 26.



- Santochi, E., Agüero, L. R., Bustos, J. C., Ávila, O. E., & Squassi, R. J. (2015). Costo de producción e indicadores de resultados económicos de la producción de caña de azúcar en la Provincia de Tucumán, Argentina - Zafra 2015. *Revista Agronómica Del Noroeste Argentino*, 35(2), 59–72.
- Saturno, P. J. (2004). La invasión de los indicadores compuestos. Riesgos y beneficios para la gestión de la calidad. *Revista de Calidad Asistencial*, 19(6), 407–415. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1134-282X\(04\)77732-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1134-282X(04)77732-5)
- Setyowati, E. (2014). Eco-building Material of Styrofoam Waste and Sugar Industry Fly-ash based on Nano-technology. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 245–253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.031>
- Siegrist, M. (2008). Factors influencing public acceptance of innovative food technologies and products. *Trends in Food Science & Technology*, 19(11), 603–608. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.017>
- Simaan, A. (2010). Role of Simulation in Construction Engineering and Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(10), 1140–1153. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000220](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000220)
- Soman, R., & Raman, M. (2016). HACCP system – hazard analysis and assessment, based on ISO 22000:2005 methodology. *Food Control*, 69, 191–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.001>
- Temoche, L. L., & Horna, Y. A. (2019). *EvaluaciTemoche, L. L., & Horna, Y. A. (2019). Evaluación de rendimientos de mano de obra y maquinaria en los proyectos de infraestructura vial en los distritos de Chimbote y Nuevo Chimbote, Ancash-2019. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Univ. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú.*
- Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *2017 International Conference on Service Systems and Service*

*Management*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119>

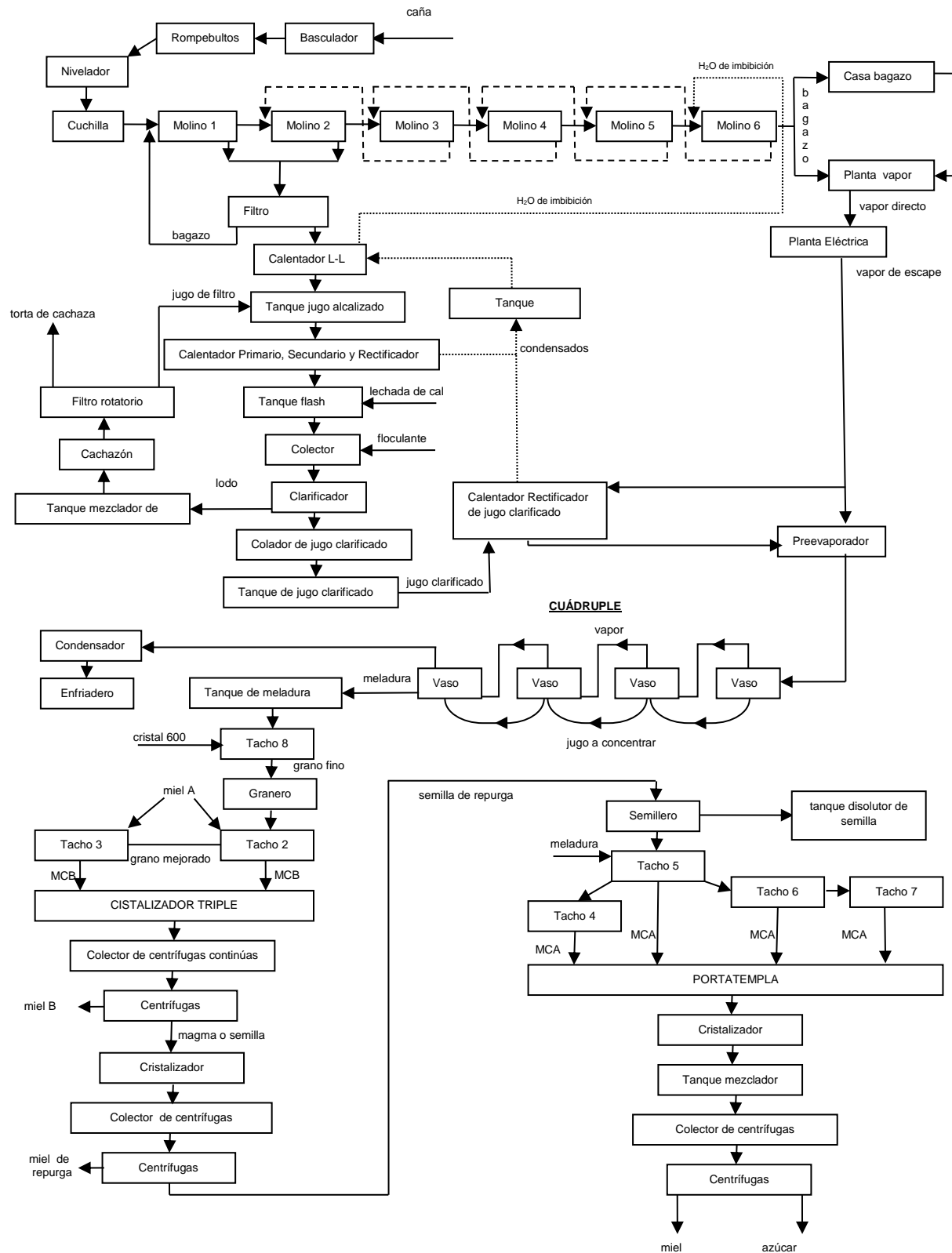
Tymczyszyn, E. E., Gómez-Zavaglia, A., & Disalvo, E. A. (2007). Effect of sugars and growth media on the dehydration of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Journal of Applied Microbiology*, *102*(3), 845–851. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03108.x>

Vukman, D., Viličnik, P., Vahčić, N., Lasić, D., Niseteo, T., Panjkota Krbavčić, I., Marković, K., & Bituh, M. (2021). Design and evaluation of an HACCP gluten-free protocol in a children's hospital. *Food Control*, *120*, 107527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107527>

Wang, J., Ni, R., Lin, J., Tan, X., Tong, D., Zhao, H., Zhang, Q., Lu, Z., Streets, D., Pan, D., Huang, Y., Guan, D., Feng, K., Yan, Y., Hu, Y., Liu, M., Chen, L., & Liu, P. (2019). Socioeconomic and atmospheric factors affecting aerosol radiative forcing: Production-based versus consumption-based perspective. *Atmospheric Environment*, *200*, 197–207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.012>

Wang, W., Liu, X., Qin, Y., & Fu, Y. (2018). A risk evaluation and prioritization method for FMEA with prospect theory and Choquet integral. *Safety Science*, *110*, 152–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.009>

# Anexo 1- Diagrama de flujo del proceso de producción de azúcar crudo en la UEB “Mario Muñoz”



## **Descripción del proceso de producción de azúcar crudo**

El proceso productivo comienza con la etapa de cultivo donde se prepara el terreno, se estudian las potencialidades de regadío, las variedades de caña de acuerdo a la programación de corte, entre otras actividades que garantizan una máxima constitución de azúcar en la caña. El corte y recolección es totalmente mecanizado y sincronizado de acuerdo al ritmo productivo para evitar acumulaciones innecesarias que atentan contra el contenido de sacarosa en la caña. La calidad de la materia prima está normalizada y debe cumplir una serie de requisitos indispensables para la eficiencia del proceso. El proceso tecnológico está integrado por diferentes sistemas continuos y discontinuos, donde existe un gran volumen de producción con múltiples operaciones unitarias que son las principales responsables de la obtención de un rendimiento satisfactorio. Para el estudio del mismo se puede dividir en cuatro etapas principales:

1-Preparación y molienda de la caña.

2-Purificación del jugo extraído.

3-Evaporación y concentración.

4- Cristalización y centrifugación.

### **Etapas 1: Preparación y molienda de la caña**

#### Pesaje y muestreo

La caña es transportada desde las áreas de cultivo por vehículos automotores y ferroviarios pasa por la báscula donde es cuantificada la materia prima y continua hacia el basculador donde se realiza la determinación del índice de materia extraña.

#### Preparación y acomodamiento

Una estera transportadora y una elevadora son las encargadas de trasladar la caña hasta los molinos, donde pasa por diferentes fases de preparación para facilitar la posterior extracción del jugo en los molinos. La primera de ellas es ejecutada por la niveladora que se encarga de igualar la distribución de la caña en el conductor y nivelar el colchón de esta en gran medida.

Posteriormente pasa por 2 juegos de cuchillas que rompen la corteza exterior de la caña hasta llegar a las celdas donde se encuentra la sacarosa, esto facilita su desintegración y se forma una masa compacta y homogénea, que favorece la capacidad de los molinos.

#### Molienda y extracción del jugo

Cuando la caña sale del sistema de cuchillas es sometida a la planta moledora o tándem el cual está formado por 6 molinos Hamilton con 4 masas cada uno. Si es lograda una buena preparación de la caña con una gran cantidad de fibra rota y un colchón nivelado se podrá extraer el 95% del jugo presente en la caña porque favorece el proceso de extracción y se logra una mayor homogeneidad en las masas de los molinos. La aplicación de agua de imbibición (60-75°C) a una dosificación de 25 a 30% por caña molida en la entrada del sexto molino es originada por la resistencia del bagazo ante la pérdida de jugo durante la aplicación de elevadas presiones entre las masas. Este jugo extraído con el agua de imbibición es recirculado hacia el molino anterior, y así consecutivamente hasta llegar al segundo mediante una red de canales conectados a sistemas de bombeo. El jugo extraído en los molinos 1 y 2 es mezclado y bombeado hacia un filtro rotatorio donde se separa una gran cantidad de bagazo y materia en suspensión que es adicionada nuevamente al proceso en el primer molino y el jugo resultante de esta operación es el llamado jugo mezclado. El bagazo resultante de la molienda sale por el sexto molino a través de una estera conductora hacia el sistema de generación de vapor y el que queda en exceso es almacenado en la casa de bagazo. Esta sección del proceso es de vital importancia en el máximo aprovechamiento de la materia prima; se ha de extraer la mayor cantidad de la sacarosa presente en la fibra para lograr una elevada eficiencia durante la operación.

#### Horno y generador de vapor

El combustible utilizado es el bagazo el cual debe estar lo más seco posible y el tamaño adecuado para lograr un menor tiempo de combustión y una mayor obtención de calor en la cámara. Si el tamaño de este es muy grande existen muchas pérdidas por ceniza.

Cuando combustiona el bagazo dentro del horno genera una gran cantidad de calor que se le cede al agua que circula dentro de los tubos. En esta cámara debe existir una presión de -2 a -5 mm de

columna de agua para que no salga la llama hacia la parte exterior y provocar un accidente. Los gases de combustión extraídos por un ventilador de tiro inducido tienen una temperatura elevada y generalmente superior a la temperatura de saturación del agua, por lo que se utiliza su calor sensible para elevar la temperatura de alimentación de esta, disminuye así la cantidad de calor que debe aplicarse en la caldera y las pérdidas calóricas de ellos por la chimenea sean mínimas.

El agua alimentada es tratada químicamente y monitoreada con gran frecuencia debido a que una parte de ella es la condensada en el área de producción y puede contener arrastres e impurezas.

El vapor saturado pasa por el sobrecalentador que es una superficie que recupera los gases de la combustión y convierte el vapor saturado en sobrecalentado del cual una parte circula hacia los turbogeneradores y la otra hacia una unidad reductora.

Los turbogeneradores transforman la energía hasta la obtención de energía eléctrica. Este vapor a alta presión hace girar los álabes de la turbina que están conectados a un generador.

## **Etapas 2: Purificación**

La función principal de los procesos de purificación es eliminar impurezas y otros no azúcares presentes en el guarapo con el menor costo y mínimo de pérdidas en azúcar.

En la alcalización, el jugo proveniente de los molinos pasa por un calentador líquido-líquido donde el agua que se utiliza como agente de calentamiento proviene del tanque contaminado. Es importante señalar la doble función que desempeña este equipo, además de elevar la temperatura del jugo mezclado, disminuye la del agua de imbibición evitando la aparición de ceras en tándem. El jugo que sale del calentador entra al tanque de jugo alcalizado, donde no se le realiza ninguna operación, y continúa hacia el calentador primario el cual recibe vapor del segundo vaso del cuádruple, posteriormente el condensado se dirige al tanque contaminado. Al salir de este equipo el jugo tiene una temperatura de 65 a 74°C. Continúa el proceso de calentamiento donde el jugo entra al calentador secundario y al rectificador, el cual es alimentado con vapor del preevaporador y el condensado se recopila en el tanque contaminado. Se logra una temperatura de salida del jugo de 102 a 106°C, teniendo precaución debido a que elevadas temperaturas favorecen la inversión de la sacarosa, y se obtiene glucosa y fructosa, que es un proceso irreversible.

Posteriormente entra al tanque flash el cual tiene el objetivo de evitar la violenta ebullición del guarapo dentro del clarificador, conseguir uniformidad en la temperatura del jugo y expulsar el aire y el vapor. En este tanque se mezcla la cal diluida la cual es regulada por una válvula automática conectada a un medidor de pH que es el encargado de mantener el jugo alcalizado resultante con un pH entre 6,8 y 7,2. Un control en el volumen adicionado es importante porque si no es suficiente la albumina y el ácido fosfórico se precipitan imperfectamente y la decantación del guarapo se realiza con mucha lentitud y dificultad, lo que produce jugos turbios y posibles pérdidas por inversión de sacarosa. Un volumen mayor del requerido ocasiona que las impurezas precipiten con más facilidad y el guarapo se decante más rápidamente, pero los jugos toman una coloración oscura, aumenta la producción de sustancias gomosas y de miel, y disminuye el rendimiento. El jugo saliente del tanque flash entra al colector donde se le adiciona el floculante con una concentración de 4 a 5 ppm. Dicha mezcla resultante entra en el clarificador y las impurezas comienzan a decantarse por la precipitación de la cachaza, el jugo se pone claro y sale al exterior por medio de unos tubos dispuestos convenientemente en la parte más altas de los compartimentos, esto sucede por diferencia de nivel con el jugo del clarificador. La cachaza se deposita sobre la bandeja es arrastrada hacia el centro por medio de raspadores. La temperatura en esta operación no debe ser inferior a 95°C porque se altera el proceso de sedimentación, las impurezas flotan en la superficie y el jugo claro desciende. Para evitar que el jugo saliente del clarificador contenga algún bagacillo pasa bajo la acción de la gravedad a través de un colador. La cachaza recuperada se mezcla con bagacillo, siendo este un medio filtrante que es obtenido por un ventilador en la estera de bagazo, accionado por un ciclón. Pasando al cachazón y posteriormente es bombeado al filtro rotatorio al vacío donde se le adiciona agua caliente del tanque de contaminados, a través de rociadores que distribuyen uniformemente esta sobre la superficie de la torta para extraerle la mayor cantidad de sacarosa posible, y ese jugo se envía al tanque alcalizado.

El jugo se almacena en el tanque de jugo clarificado de donde es bombeado hacia el calentador rectificador de jugo clarificado, el cual es alimentado con vapor de escape proveniente de los turbogeneradores y el condensado se almacena en el tanque de contaminados. La salida de este jugo es de 115 a 120°C en destino al área de evaporación y con aproximadamente 13 a 15°Bx.

### **Etapa 3: Evaporación y concentración**

Esta etapa se define como el centro del balance de los ingenios, pues recibe vapores de escape a alta presión y entrega vapores vegetales, siendo la responsable de concentrar el jugo y convertirlo en meladura, sin llegar a la saturación.

El jugo que entra en el preevaporador se pone en contacto con el vapor de escape a través de un sistema de calandrias donde ocurre el intercambio calórico. Aquí se evapora del 75 al 80% del agua presente en el jugo y dicho vapor se denomina vapor vegetal y alimenta varios equipos en el área como es el calentador secundario. El agua condensada se almacena en el tanque de agua pura debido a que no ofrece riesgos de contaminación con azúcares a causa de que la presión de vapor fuera de la calandria es mayor que la que posee el jugo en el interior del tubo.

El jugo parcialmente concentrado sale del preevaporador y entra en el cuádruple efecto por el sistema de vasos comunicantes, el primer vaso opera a una presión superior a la atmosférica y va disminuyendo a medida que avanza en el número de vasos.

Las evaporaciones producidas en el primer vaso se emplean para hervir el jugo en el segundo, las evaporaciones de este se usan en igual forma para el tercer vaso y las del tercero para el cuarto. Se entra al jugo en el primer vaso por un tubo provisto de llave de alimentación y cuando las calandrias de todos los vasos están cubiertas de este, hasta las 2/3 partes de su altura, se admite vapor vegetal en la calandria del primer vaso y pronto comienza aquí la ebullición. Los vapores que se desprenden en este ceden su calor y se condensan en la calandria del segundo vaso, los de este pasan al tercero y los del tercero al cuarto. De ese modo una misma cantidad de calor se utiliza cuatro veces y se obtiene una economía de combustible de aproximadamente un 75%.

El condensado resultante del primer vaso se almacena en el tanque vegetal, al cual se le realiza análisis de azúcar de manera sistemática. El de los tres restantes se almacena en el tanque contaminado de manera que no se mezcle con los condensados de los calentadores. El vapor que no logra condensar en el cuarto efecto se mezcla con agua de inyección en un condensador y se dirige por medio de una canal hacia el enfriadero.



El jugo que se obtiene en el cuarto efecto posee un Brix entre 63 y 65 y es conocido como meladura, la cual se almacena en un tanque para su posterior utilización en el área de cristalización. Si la concentración anterior no se alcanza, significaría utilizar más vapor en los tachos, tal elemento no solo equivale a exigir un esfuerzo excesivo de la capacidad de estos, sino que resulta lesivo por la economía de vapor, dado que la evaporación adicional tiene que realizarse a base de un efecto sencillo en los tachos, en lugar de un efecto múltiple en los vasos evaporadores.

#### **Etapa 4: Cristalización y centrifugación**

La cristalización es efectuada en los tachos, que son equipos que trabajan a simple efecto. En estos se logra concentrar la meladura a un nivel de sobresaturación tal que se permita lograr el crecimiento rápido de los granos con el simultáneo empobrecimiento de las mieles.

El proceso de cristalización que se está realizando en la zafra objeto de estudio es de dos masas cocidas con extracción de la miel B y repurga de la semilla. Este comienza con la introducción de 1 pie de meladura en un tacho (T-8), al cual se le añade el cristal 600 como medio de semillamiento (este se prepara con 9 kg de azúcar refino en 28 L de alcohol de una graduación mayor que 94 °GL). Cuando se obtiene dos pies de grano fino, estos pasan a un granero con agitación mecánica y luego a un pie de este se traslada al tacho 2 donde se alimenta miel A y se obtienen 2 pies de grano mejorado, pasando 1 pie hacia el tacho 3. Cuando existe un pie en cada tacho (2 y 3), se alimentan ambos con miel A y se obtienen 2 masas cocidas B (MCB), las cuales pasan hacia un cristalizador triple. El primer y el segundo cristalizador es una cristalización en frío con el objetivo que se sobresature y cristalice la sacarosa. El tercer cristalizador es en caliente para que la MCB entre caliente al proceso y no existan deficiencias energéticas. Al salir la masa cocida del área de los cristalizadores va hacia el colector de centrífugas continuas, el cual no tiene agitación, ni calentamiento, solo distribuye de manera uniforme a las centrífugas. Como resultado del proceso de centrifugación se obtiene miel B que es almacenada en un tanque para la distribución y venta, y la semilla o magma B que se obtiene de la centrifugación se adiciona en un cristalizador en frío y es nuevamente trasladada hacia otro colector de centrífugas continuas donde se obtiene miel de repurga que se alimenta al tanque de meladura para elevar la pureza de

esta y semilla de repurga que se almacenan en un semillero. Cuando en el semillero existe mucha semilla se disuelve en el tanque disolutor de semilla una parte y se adiciona a la meladura.

El tachó 5 se alimenta con un pie de semilla de repurga del semillero, el cual es enriquecido con meladura hasta lograr dos pies, un pie pasa al tachó 6 y se alimentan ambos hasta lograr dos pies en cada uno. Nuevamente se dividen, el 5 le pasa uno al 4 y el 6 le pasa uno al 7. Cuando ambos poseen un pie cada uno, se alimentan con meladura hasta lograr dos pies de masa cocida A (MCA). Estas cuatro MCA pasan al portatempla que posee un movimiento lento para alimentar al cristizador, del cual pasa al tanque mezclador y de ahí al colector de centrífugas discontinuas, donde se obtiene miel A que se almacena en un tanque para ser usada cuando se necesite obtener grano mejorado y por otro lado se separa la azúcar comercial.

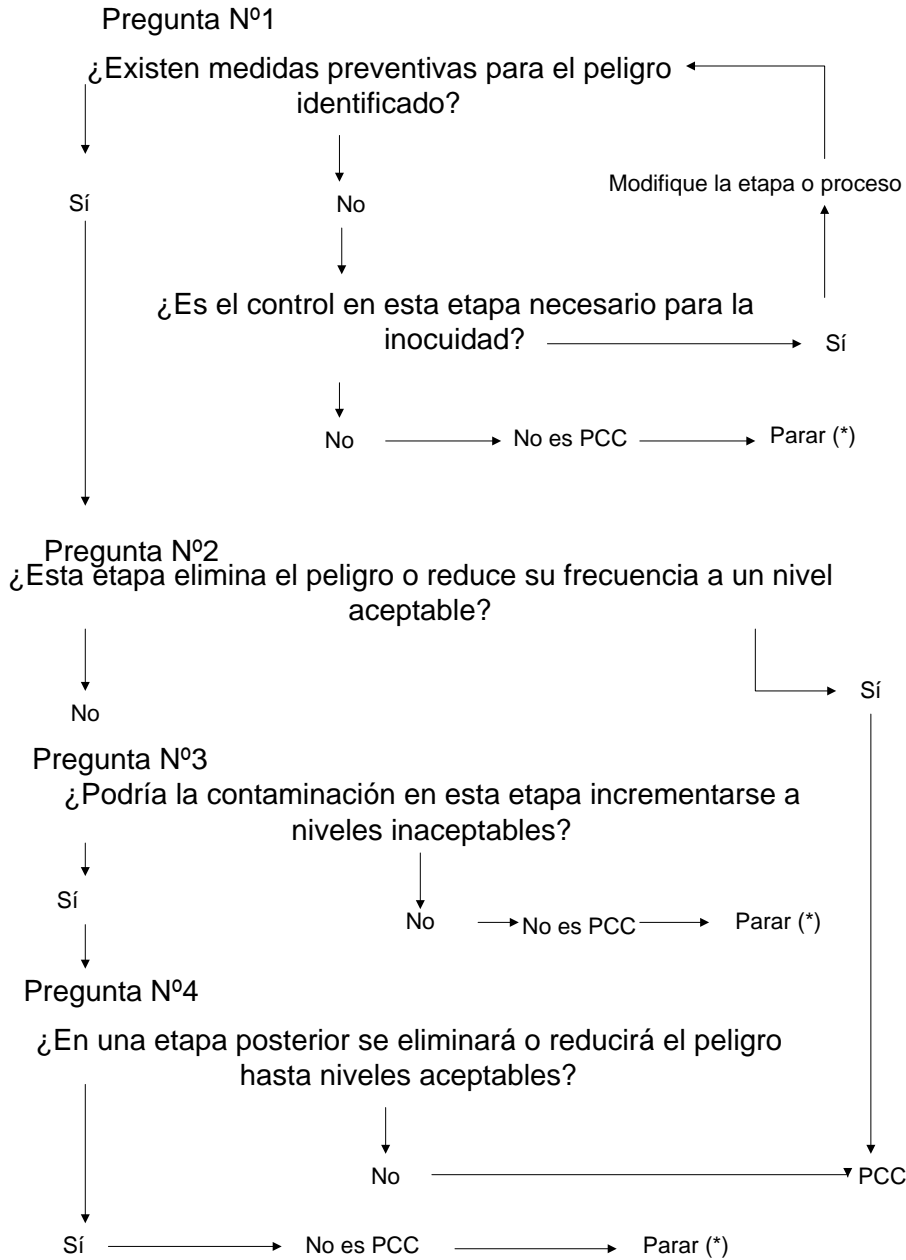
### Equipos fundamentales que intervienen en el proceso

Equipo	Cantidad	Capacidad (Flujo o Volumen)	Función
Molinos	6	4 mazas de 84'' de largo y 41'' de diámetro.	Se extrae el jugo a la caña
Calderas de vapor	3	45t/h, 25kg/cm <sup>2</sup> , 380 °C, Eficiencia 82%.	Generar vapor
Caldera de vapor	1	60t/h, 28kg/cm <sup>2</sup> , 380 °C.	Generar vapor
Turbinas	3	4 MW	Transforman la energía en energía eléctrica
Generadores	3	5 MW	Transforman la energía en energía eléctrica
Calentador líquido – líquido	1	240 m <sup>2</sup>	Se eleva la temperatura del jugo diluido hasta un nivel cercano a su punto de ebullición
Calentadores de jugo alcalizado	4	240 m <sup>2</sup> cada uno	Se eleva la temperatura del jugo diluido hasta un nivel cercano a su punto de ebullición
Clarificadores BTR	3	112 m <sup>3</sup> cada uno	Separa los sólidos insolubles del jugo diluido

filtros de cachaza	3	10 x 20 pie	Separar del jugo el precipitado que contiene junto con las sales, insolubles q se han formado y el bagazo fino
pre-evaporadores BDM	3	20 000 psc cada uno	Alimentan de vapor vegetal a la línea general de suministro
cuádruples	2	39 187 psc cada uno	Entregar vapor de extracción a los calentadores
Tachos para MCA	4	3314 psc	Producir la semilla para la fabricación del azúcar
Tachos para MCB	3	3314 psc	Producir la semilla para la fabricación del azúcar
Centrifugas comerciales Silver Weibull	2	1500 kg	Separar el azúcar de las mieles
Centrifugas comerciales ASEA	3	1000 kg	Separar el azúcar de las mieles
Centrifugas de MCB	5	8-10 t/h	Separar el azúcar de las mieles
Centrífugas Doble Semilla	4	6-8 t/h	Separar el azúcar de las mieles

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2- Árbol de decisión para determinar los puntos críticos de control (PCC)



(\*) Pase a la etapa siguiente

Fuente:(COVENIN, 2002)

### Anexo 3- Valor porcentual y peso asignado a los parámetros de calidad del agua

Parámetro	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto	Reducción del permanganato	Coliformes	Nitrógeno amoniacal	Cloruros	Temperatura	Detergentes	Aspecto	Valoración porcentual
V A L O R  A N A L I T I C O	1/14	> 16.000	0	> 15	> 14.000	> 1,25	> 1.500	> 50 / > -8	> 3,00	Pésimo	0
	2/13	12.000	1	12	10.000	1,00	1.000	45 / -6	2,00	Muy malo	10
	3/12	8.000	2	10	7.000	0,75	700	40 / -4	1,50	Malo	20
	4/11	5.000	3	8	5.000	0,50	500	36 / -2	1,00	Desagradable	30
	5/10	3.000	3,5	6	4.000	0,40	300	32 / 0	0,75	Impropio	40
	6/9,5	2.500	4	5	3.000	0,30	200	30 / 5	0,50	Normal	50
	6,5	2.000	5	4	2.000	0,20	150	28 / 10	0,25	Acceptable	60
	9	1.500	6	3	1.500	0,10	100	26 / 12	0,10	Agradable	70
	8,5	1.250	6,5	2	1.000	0,05	50	24 / 14	0,06	Bueno	80
	8	1.000	7	1	500	0,03	25	22 / 15	0,02	Muy bueno	90
7	< 750	7,5	< 0,5	< 50	0	0	21 a 16	0	Excelente	100	
Unidad de medida	Udad.	µmhos/cm	mg/l	mg/l	nº/100 ml	p.p.m.	p.p.m.	°C	mg/l	Subjetiva	%
Peso	1	4	4	3	3	3	1	1	4	1	—

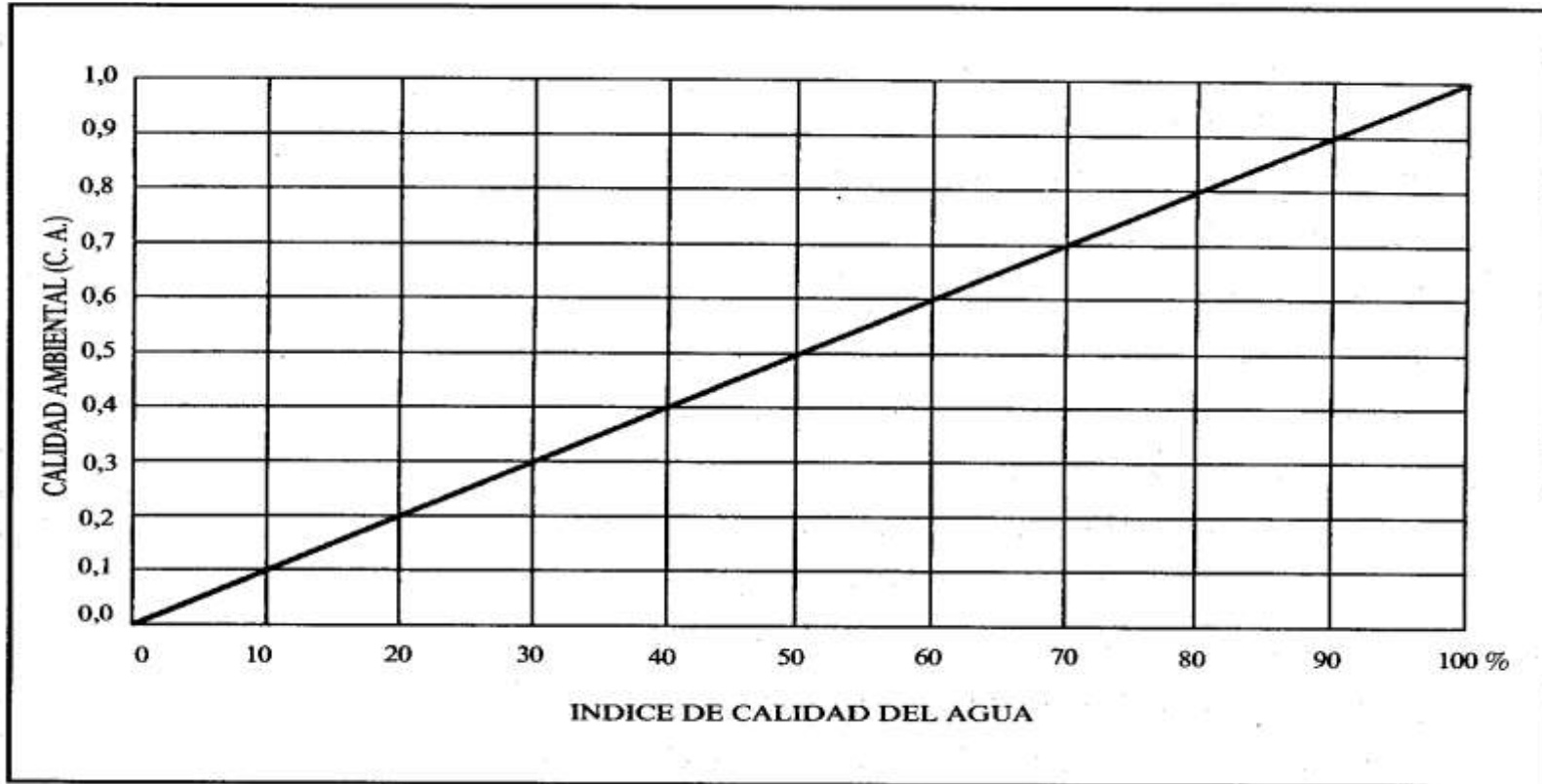
Los valores analíticos que corresponden a un valor porcentual menor que 50, se entienden como no permisibles. Se precisarán medidas correctoras.

Fuente: (Conesa, 2009).

<i>Parámetro</i>	<i>Dureza</i>	<i>Sólidos disueltos</i>	<i>Plaguicidas</i>	<i>Grasas y aceites (percloroformo)</i>	<i>Sulfatos</i>	<i>Nitratos</i>	<i>Cianuros</i>	<i>Sodio</i>	<i>Calcio</i>	<i>Magnesio</i>	<i>Fosfatos</i>	<i>Nitritos</i>	<i>DBO<sub>5</sub></i>	<i>Valor porcentual</i>
V A L O R  A N A L I T I C O	> 1.500	> 20.000	> 2	> 3	> 1.500	> 100	> 1	> 500	> 1.000	> 500	> 500	> 1	> 15	0
	1.000	10.000	1	2	1.000	50	0,6	300	600	300	300	0,50	12	10
	800	5.000	0,4	1	600	20	0,5	250	500	250	200	0,25	10	20
	600	3.000	0,2	0,60	400	15	0,4	200	400	200	100	0,20	8	30
	500	2.000	0,1	0,30	250	10	0,3	150	300	150	50	0,15	6	40
	400	1.500	0,05	0,15	150	8	0,2	100	200	100	30	0,10	5	50
	300	1.000	0,025	0,08	100	6	0,1	75	150	75	20	0,05	4	60
	200	750	0,01	0,04	75	4	0,05	50	100	50	10	0,025	3	70
	100	500	0,005	0,02	50	2	0,02	25	50	25	5	0,010	2	80
	50	250	0,001	0,01	25	1	0,01	15	25	15	1	0,005	1	90
	< 25	< 100	0	0	0	0	0	< 10	< 10	< 10	0	0	< 0,5	100
Unidad de medida	mg CO <sub>3</sub> Ca/l	mg/l	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	p.p.m.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Peso	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	3	—

Fuente: (Conesa, 2009).

**Anexo 4 – Determinación de la calidad ambiental a partir del índice de calidad del agua**



Fuente: (Conesa, 2009)

## Anexo 5- Análisis de peligros y punto críticos de control

<b>Etapa del proceso</b>	<b>Tipo de peligro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>	<b>Medida de control</b>	<b>PCC</b>
Recolección	Biológico	Contaminación por microorganismos en la materia prima (caña).	Proliferación de microorganismos que afecten la eficiencia operativa del proceso y baje la calidad del guarapo ya que esto genera pérdidas de sacarosa.	Lavado de caña con agente desinfectante.	<b>Sí</b>
	Biológico	Contaminación por falta de sanitación en corte mecánico de la caña (infecciones bacterianas).		Técnicas de saneamiento con vapor del equipamiento productivo cada 8 horas.	<b>Sí</b>
	Físico	Contaminación por ingreso de caña sucia al proceso.	Una limpieza minuciosa de la caña da por resultado un menor desgaste del equipo de molienda y del sistema de bombeo del jugo y permite que el ingenio opere a plena capacidad.	Lavado de caña para eliminar impurezas.	<b>No</b>
Molienda	Biológico	Contaminación por metabolitos en el proceso por TAB y BAL.	Además de las pérdidas de sacarosa a consecuencia de la formación de dextrana, estos polímeros incrementan la viscosidad de los jugos creando problemas en tachos y evaporadores.	Uso de biocida sobre el tándem de molinos.	<b>Sí</b>
	Biológico	Contaminación por canales de transporte de jugo mezclado, tanques y áreas aledañas no sanitarias.	La falta de sanitación en canales y equipos genera la asociación de MO's en biopelículas (reconocida como una estrategia de supervivencia microbiana en diferentes ambientes que brinda resistencia a la	Sanitación constante de equipos e implementación de la instalación de tapas en los equipos de recepción de jugo y en los canales que	<b>Sí</b>



			desinfección, estrés ambiental y condiciones hostiles en microambientes adversos.	lo transportan.	
	Biológico	Contaminación por falta de sanitación en el área de coladores.	El jugo de caña es un medio rico ideal para la proliferación de los MO's.	BPM y POES	<b>Sí</b>
	Biológico	Contaminación por superficies de tanques semi-abiertos sucios con evidente acumulación de polvo.	La acumulación de polvo trae consigo la acumulación de microorganismos y con esto el peligro de contaminar los jugos puesto que los tanques no están totalmente cerrados y el jugo es un medio ideal para el desarrollo de MO's.	BPM y POES	<b>No</b>
	Químico	Contaminación por grasa o aceite por derrames en los conductos de transporte de jugo extraído de molinos.	Los conductos o canales que transportan el jugo desde los molinos se encuentran expuestos por lo tanto corren peligro en caso de algún derrame.	Tapar los conductos de transporte de jugo de molinos.	<b>No</b>
	Físico	Contaminación por basura inorgánica en el área de recepción de jugo.	Cualquier materia extraña ajena al proceso que no sea materia prima, coadyuvantes químicos, <i>etc.</i> Representan un riesgo al no formar parte de la composición del producto.	Prohibición de ingreso de alimentos en las área; inspección y recolección de la basura.	<b>No</b>
Purificación	Biológico	Contaminación por la purga de las mangas	La acumulación de estos puede generar el crecimiento microbiano	Evitar que se acumulen los lodos por mucho	<b>Sí</b>

		del clarificador (lodos acumulados).	generando compuestos indeseables y contaminando etapas consecutivas a donde es mandada la purga.	tiempo (hacer purgas en tiempos definidos) y hacer limpiezas establecidas.	
	Biológico	Contaminación por zona no sanitaria de recepción de purga del clarificador (superficies expuestas).	En la parte superior del tanque hay derrame de jugo que genera encharcamientos que después se mezclan en el interior del tanque generando la contaminación del jugo.	Establecer limpiezas con agua y cepillos para remover los lodos que se estancan y tapar el recipiente donde caen las purgas.	<b>No</b>
	Biológico	Contaminación por falta de sanitación en tanque de jugo claro en la superficie (semiabierto).	En la parte superior del tanque hay derrame de jugo que genera encharcamientos que después se mezclan en el interior del tanque generando la contaminación del jugo	Tapar el tanque por completo y dejar una tapa de registro (que la superficies del tanque sea cónica u ovalada para evitar los encharcamientos), lavar las superficies del tanque.	<b>No</b>
	Químico	Contaminación en tanque por derrame de aceite del motor del agitador.	Cualquier materia extraña ajena al proceso que no sea materia prima, coadyuvantes químicos, etc. Representan un riesgo al no formar parte de la composición del producto, aunque estos sean grado alimenticio.	Tapar tanque y tener una compuerta de registro o asilar la parte del motor con una charola en la que se detengan el aceite en caso de derrame.	<b>No</b>
	Físico	Contaminación por desgaste de tanques de almacenamiento de lechada (óxido	Uno de los requerimientos de calidad en los parámetros fisicoquímicos en el azúcar lo constituyen la cantidad de partículas magnéticas por lo que	Limpieza continúa del tanque y/o cambio a acero inoxidable.	<b>No</b>

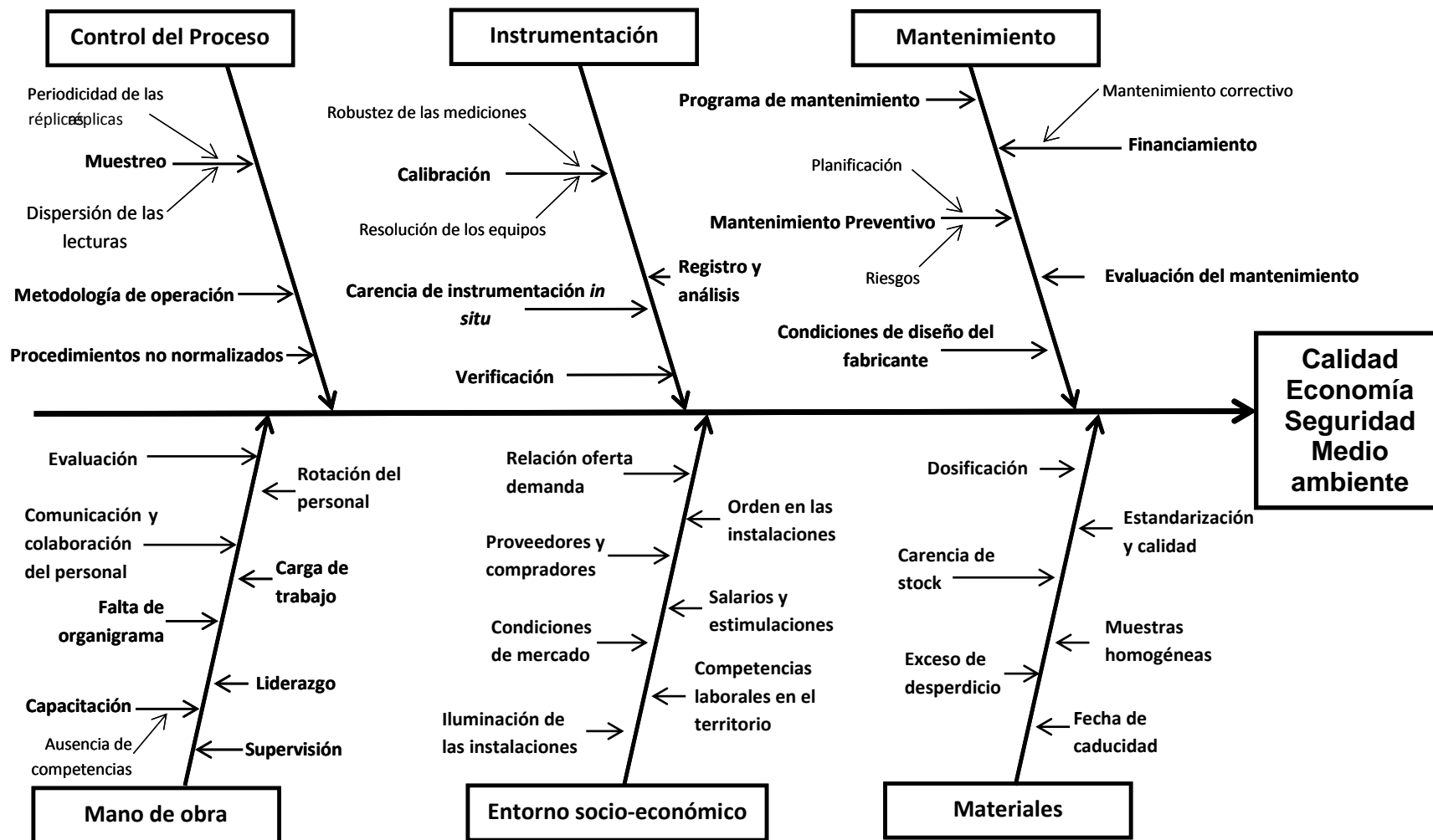
		desprendiéndose).	es de vital importancia reducir las emisiones de estas partículas para mantener los estándares de calidad del producto final.		
	Físico	Contaminación por materiales extraños que están latentes a caer en el tanque de lechada (tornillos y cartón) y por arena proveniente del hidrato de cal.	Cualquier materia extraña ajena al proceso que no sea materia prima, coadyuvantes químicos, etc. Representan un riesgo al no formar parte de la composición del producto.	Instalar tapa al tanque y/o inspeccionar el mantenimiento limpio del área.	<b>No</b>
Evaporación	Físico	Contaminación por falta de infraestructura y riesgo de caída de material extraño en tanques de meladura y en registros de meladura clarificada abiertos.	Cualquier materia extraña ajena al proceso que no sea materia prima, coadyuvantes químicos, etc. Representan un riesgo al no formar parte de la composición del producto.	Colocación de infraestructura en el área de clarificación y asegurar tapar el registro cuando no sea necesario abrirlo.	<b>No</b>
Cristalización	Biológico	Contaminación por registros abiertos de tanques de almacenamiento (tanques de templeas, semilleros, graneros, etc) y falta de sanitación en las superficies de estos	El mantener un registro abierto todo el tiempo genera un peligro constante de caída de material extraño que puede llegar hasta el producto final afectando las especificaciones de calidad; la limpieza exterior asegura que no haya contaminación por suciedad.	Mantener supervisión de los registros y limpiezas de las áreas.	<b>Sí</b>

		(polvo, meladura, agua).			
Centrifugación	Biológico	Contaminación por tanque abierto y superficies no sanitarias en el tanque de recepción de lavados de centrifugas de A.	La exposición del tanque en áreas no sanitarias puede generar crecimiento microbiano.	Cambio de tanques de recepción por tanques de acero inoxidable cerrados, sanitación del área.	<b>No</b>
Envasado	Biológico	Contaminación cruzada por falta de aislamiento en zapatos.	El suelo es un importante reservorio de microorganismos, desde el cual pueden llegar a los alimentos; por tanto es necesario que en áreas blancas se tenga el aislamiento necesario para evitar posibles contaminaciones.	Utilización de cubre zapatos en las áreas blancas.	<b>Sí</b>
	Biológico	Contaminación por levaduras en el producto final.	Su presencia depende de la temperatura, el pH, la humedad y la disponibilidad de azúcares simples]; las levaduras al ser organismos osmófilos tienen la capacidad para desarrollarse bajo alguna condición inadecuada en el gusano de azúcar húmeda, Las ascosporas de las levaduras son algo más resistentes al calor y la desecación que las células vegetativas, si bien tienen mucha menor resistencia térmica que las	Utilización de lámparas de luz ultravioleta, ultrasonido u ozonificación.	<b>Sí</b>

			<p>esporas bacterianas, por lo que mantienen la viabilidad de la especie durante los cambios adversos del medio ambiente. La contaminación en este punto puede generar que las esporas sobrevivan al tratamiento térmico en el secador provocando el rechazo del azúcar por presencia de levaduras.</p>		
Proceso General	Físico	<p>Contaminación por desprendimiento de partículas magnéticas de equipos y tuberías desgastadas de acero al carbón.</p>	<p>Uno de los requerimientos de calidad en los parámetros fisicoquímicos en el azúcar lo constituyen la cantidad de partículas magnéticas por lo que es de vital importancia reducir las emisiones de estas partículas para mantener los estándares de calidad del producto final.</p>	<p>Cambiar equipos de acero al carbón a acero inoxidable.</p>	<b>No</b>
	Físico	<p>Contaminación por objetos/materia extraña debido al mantenimiento o reparación de equipos.</p>	<p>Cualquier materia extraña ajena al proceso que no sea materia prima, coadyuvantes químicos, <i>etc.</i> Representan un riesgo al no formar parte de la composición del producto.</p>	<p>Inspeccionar bien los equipos después del mantenimiento/repación y retirar la materia y objetos extraños.</p>	<b>No</b>

Fuente: Elaboración propia

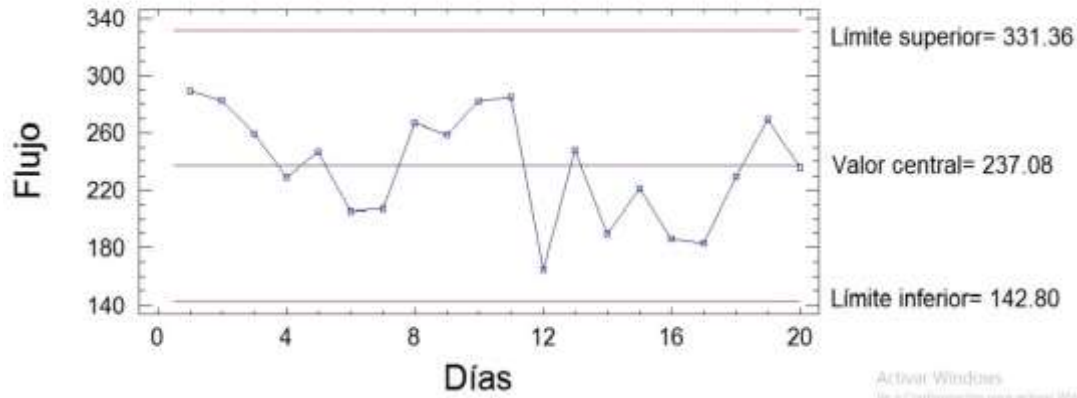
## Anexo 6: Diagrama causa-efecto



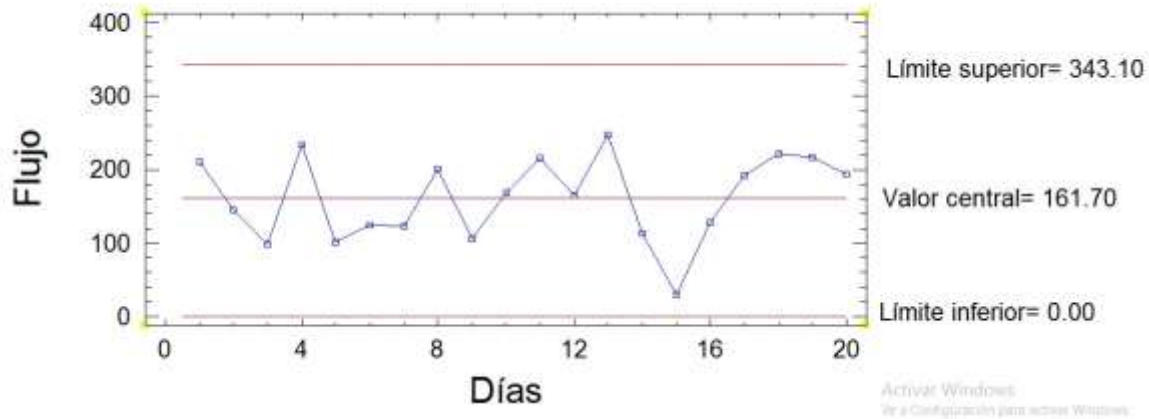
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 7- Resultados de las cartas de control para medias y rangos

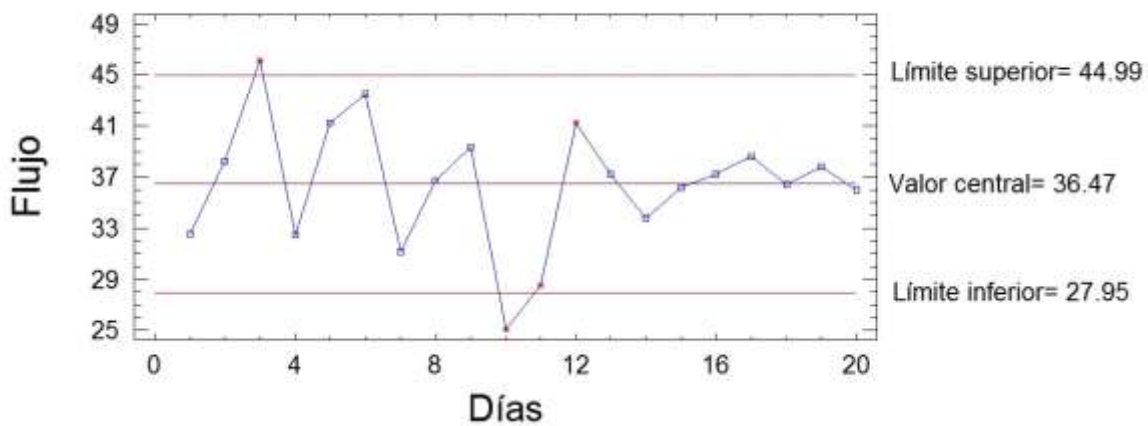
### Carta de control para medias(Flujo de caña)



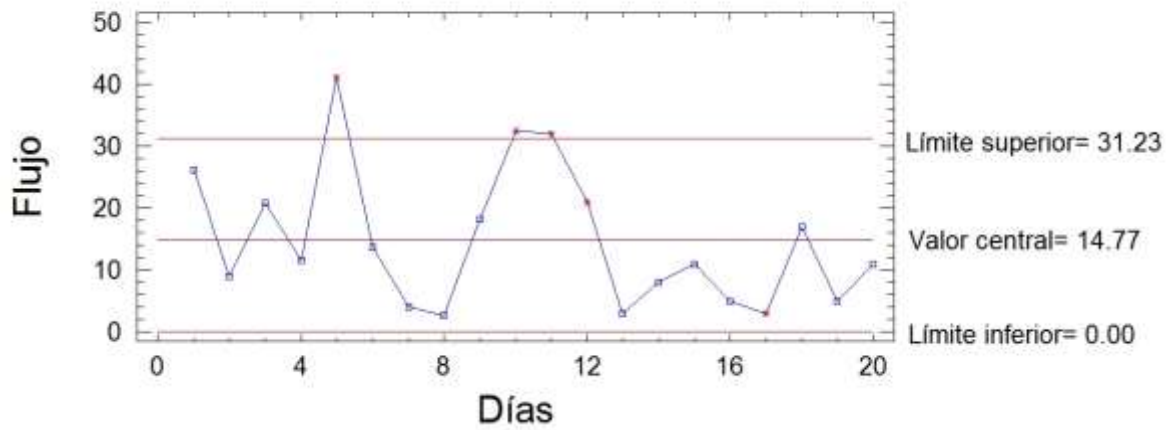
### Carta de control para rangos (Flujo de caña)



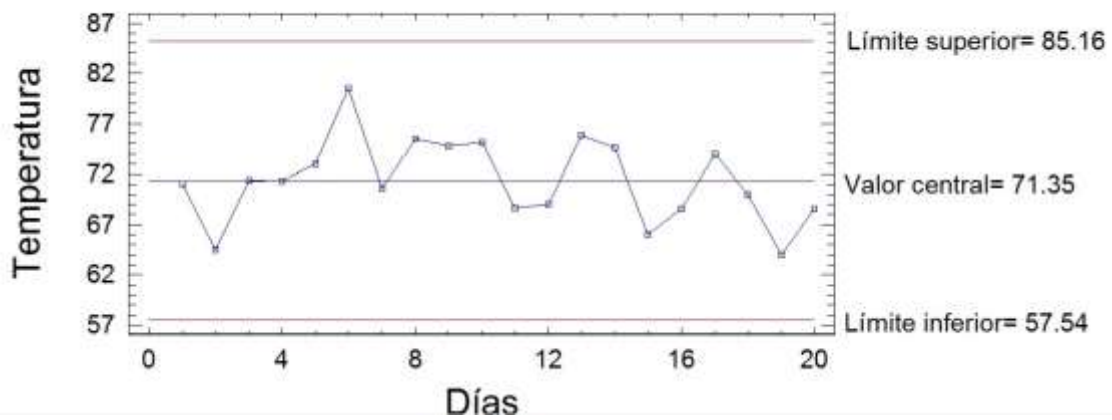
### Carta de control para medias (Flujo de agua de imbibición)



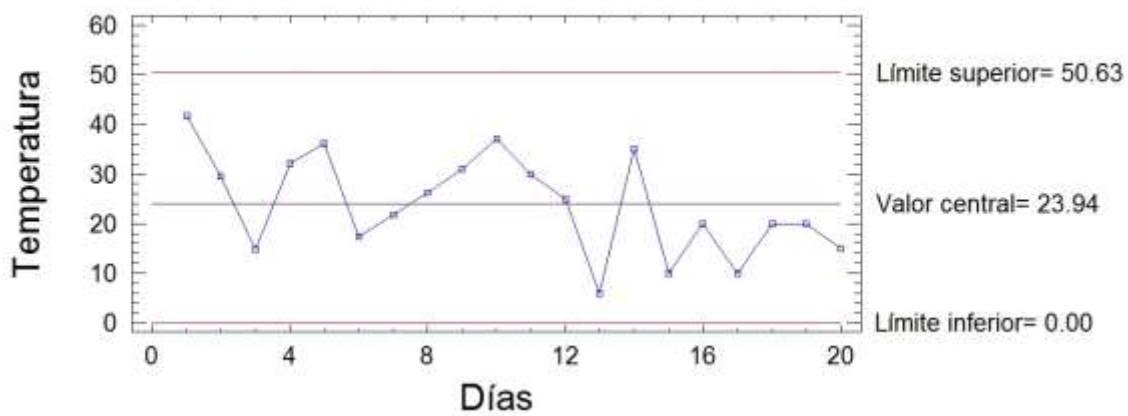
Carta de control para rangos (Flujo de agua de imbibición)



Carta de control para medias (Temperatura del agua de imbibición)

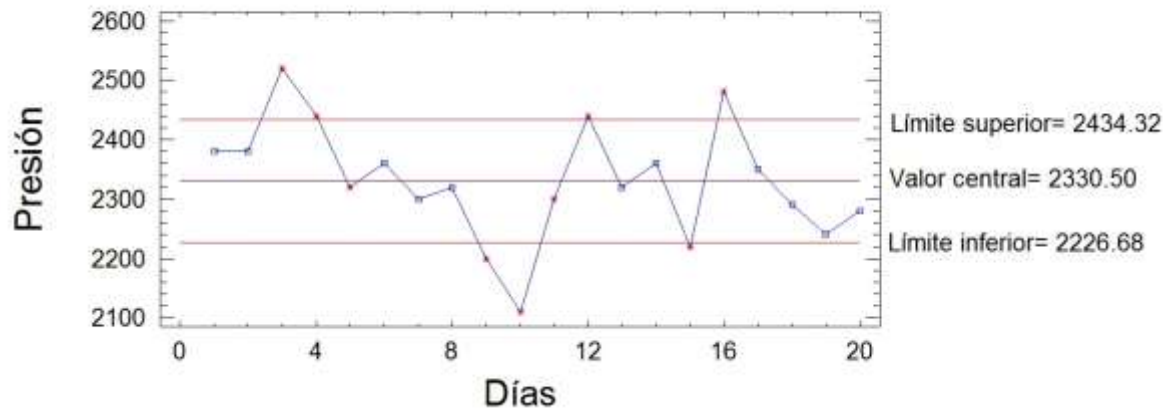


Carta de control para rangos (Temperatura del agua de imbibición)

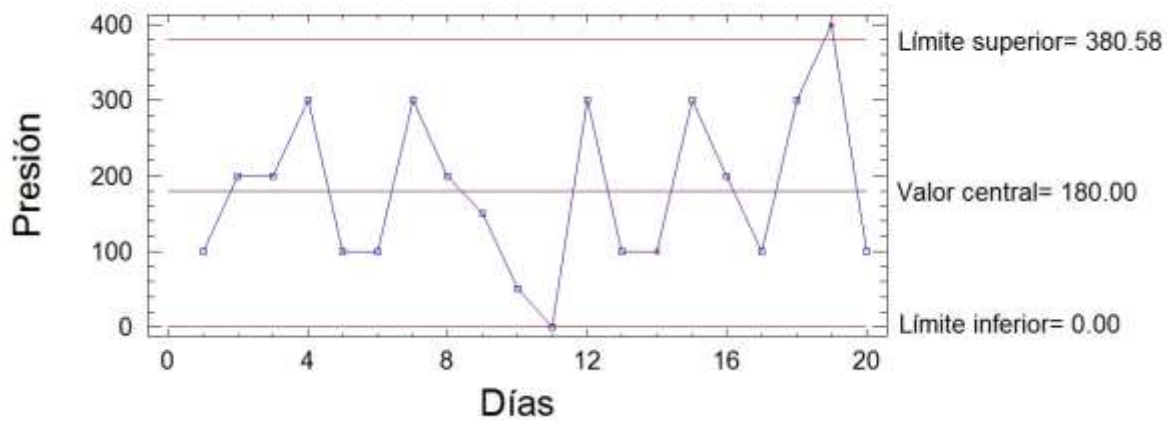




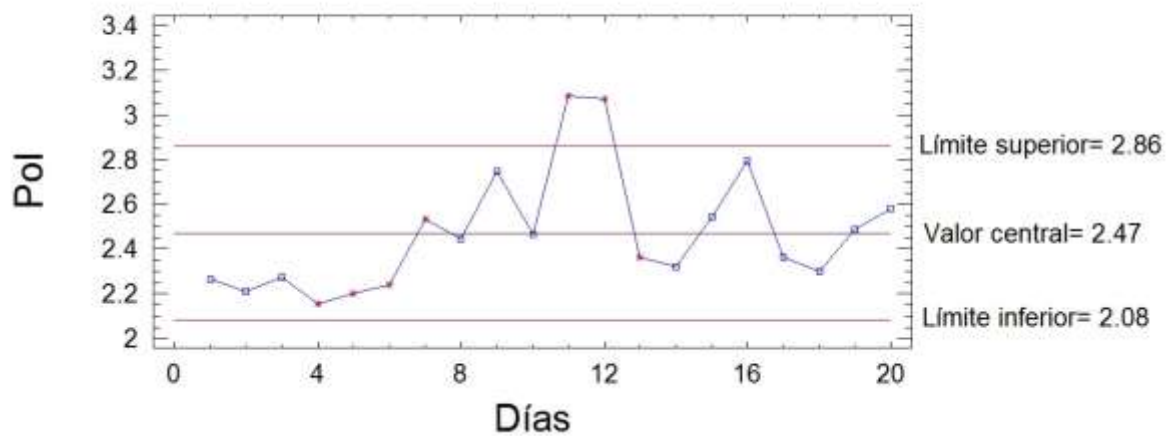
Carta de control para medias (Presión en el último molino)



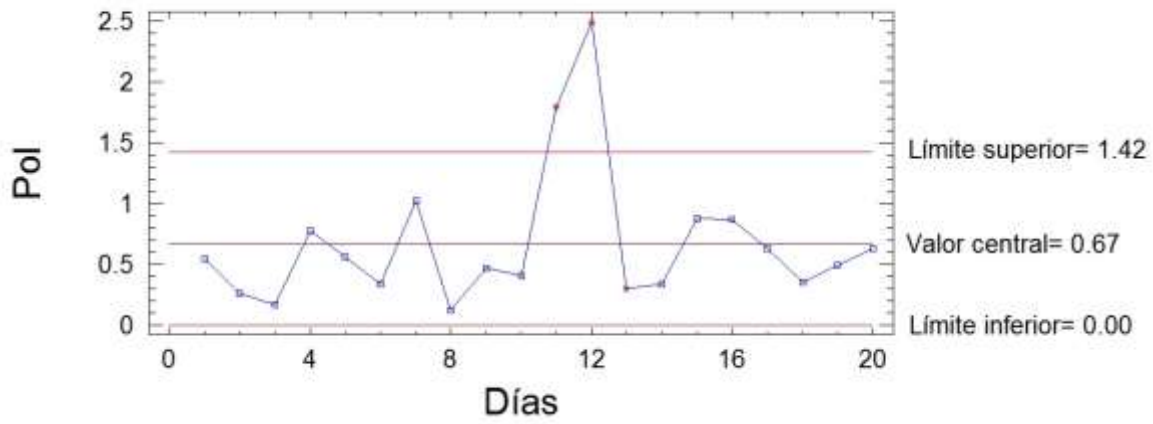
Carta de control para rangos (Presión en el último molino)



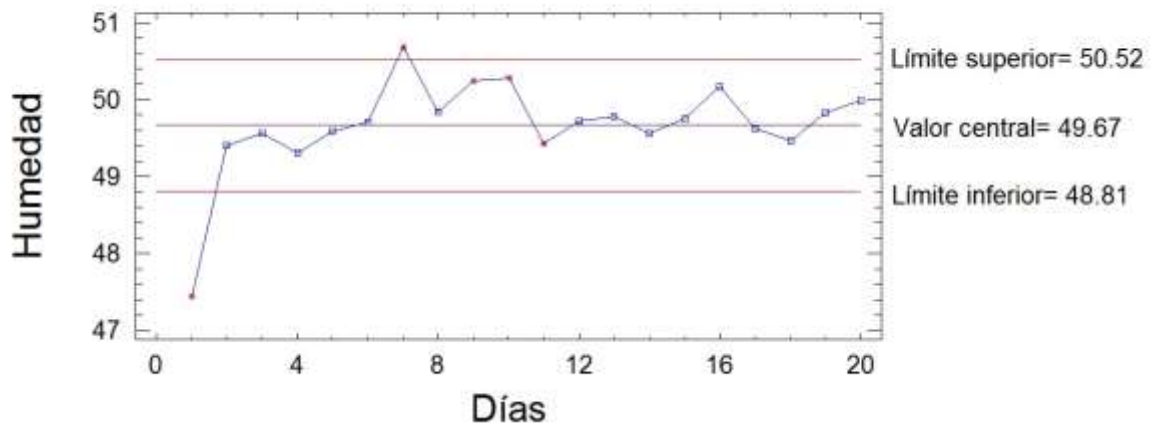
Carta de control para medias (Pol en bagazo)



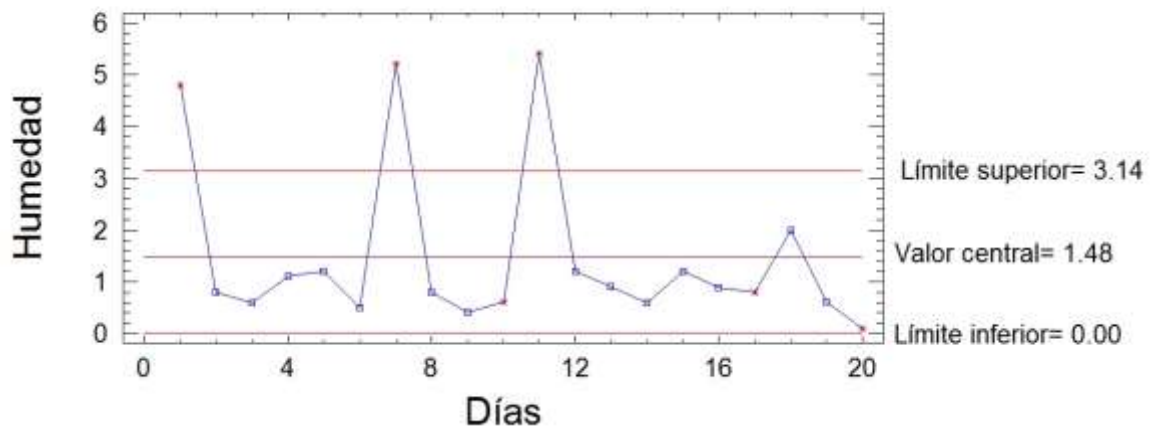
Carta de control para rango (Pol en bagazo)



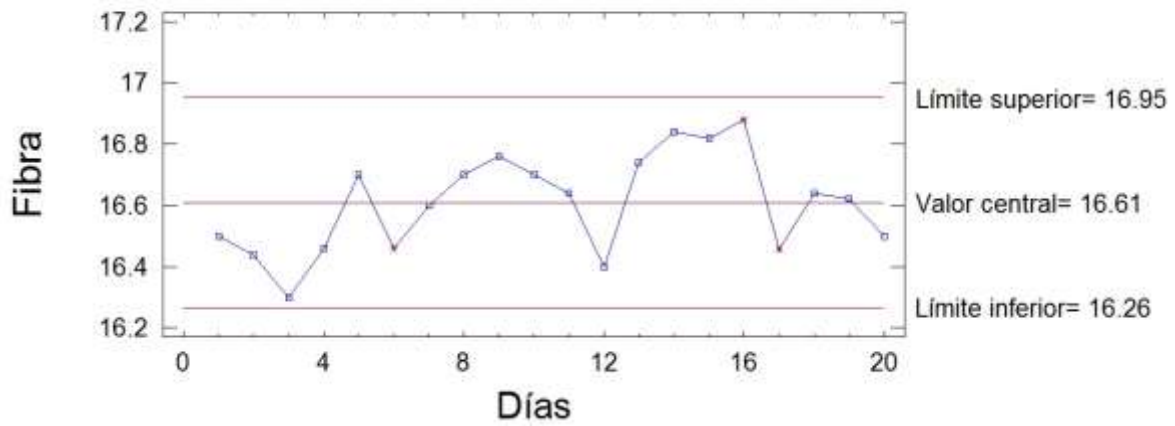
Carta de control para medias (Humedad del bagazo)



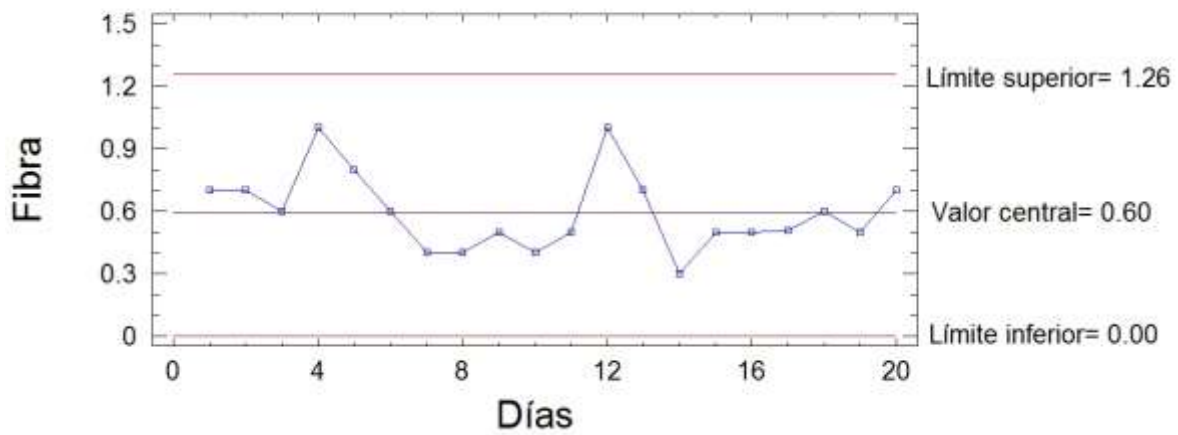
Carta de control para rango (Humedad del bagazo)



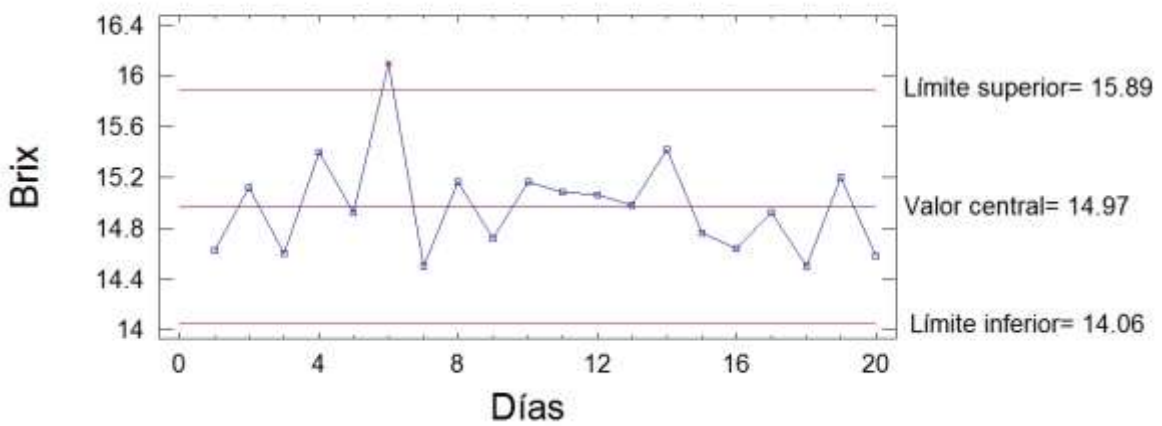
Carta de control para medias (Fibra en caña)



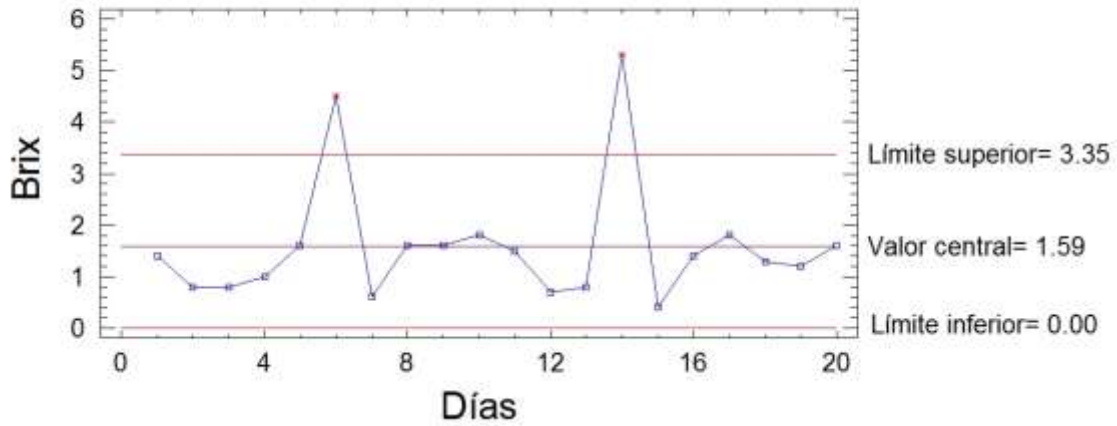
Carta de control para rangos (Fibra en caña)



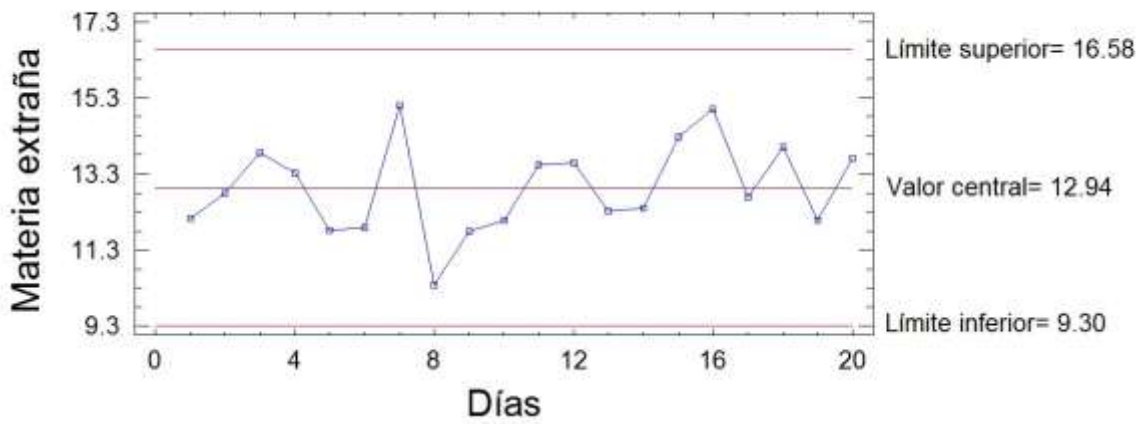
Carta de control para medias (Brix del jugo mezclado)



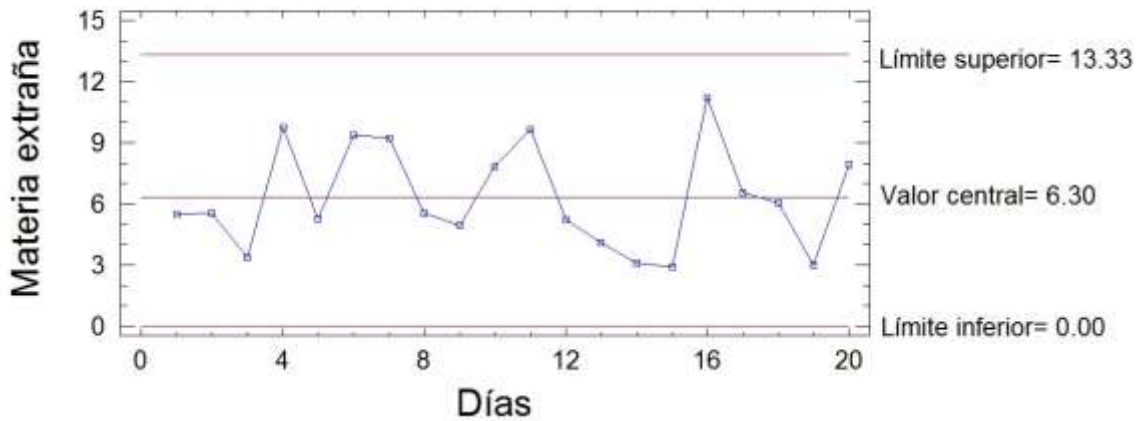
Carta de control para rangos (Brix del jugo mezclado)



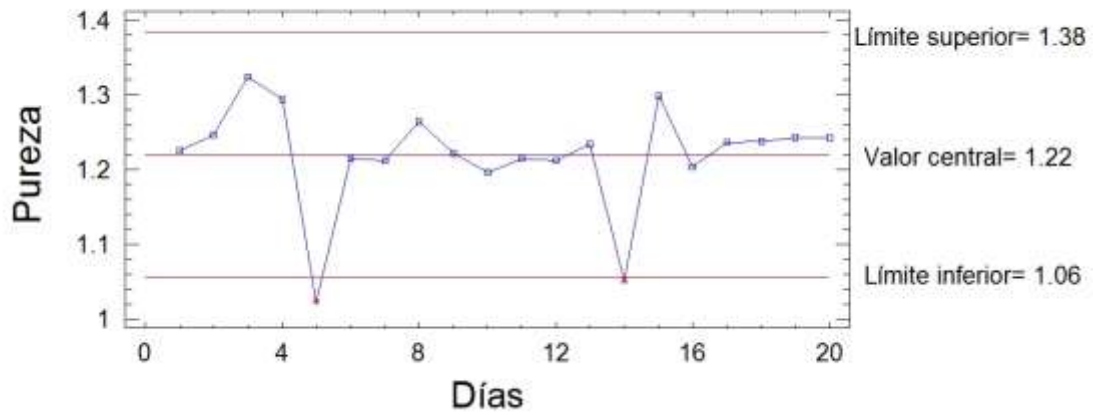
Carta de control para medias (materia extraña)



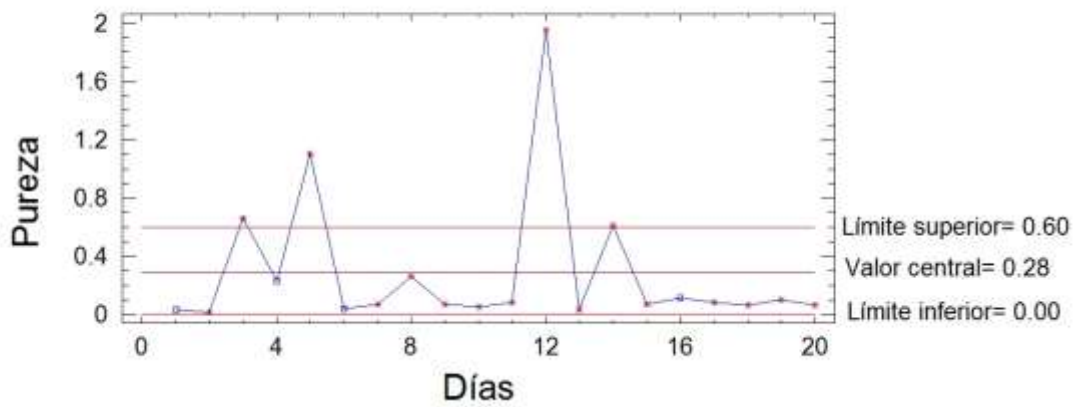
Carta de control para rangos (Materia extraña)



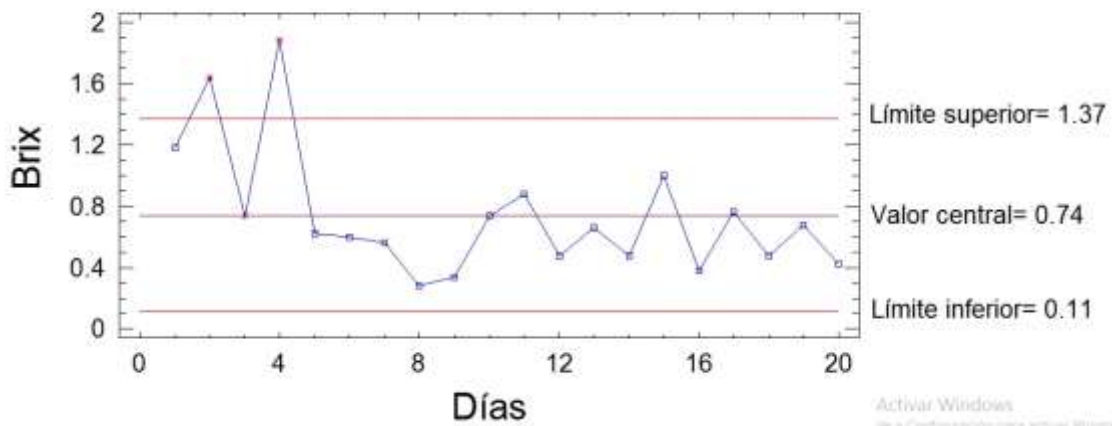
Carta de control para medias(Caída de pureza del J.M a jugo primario)



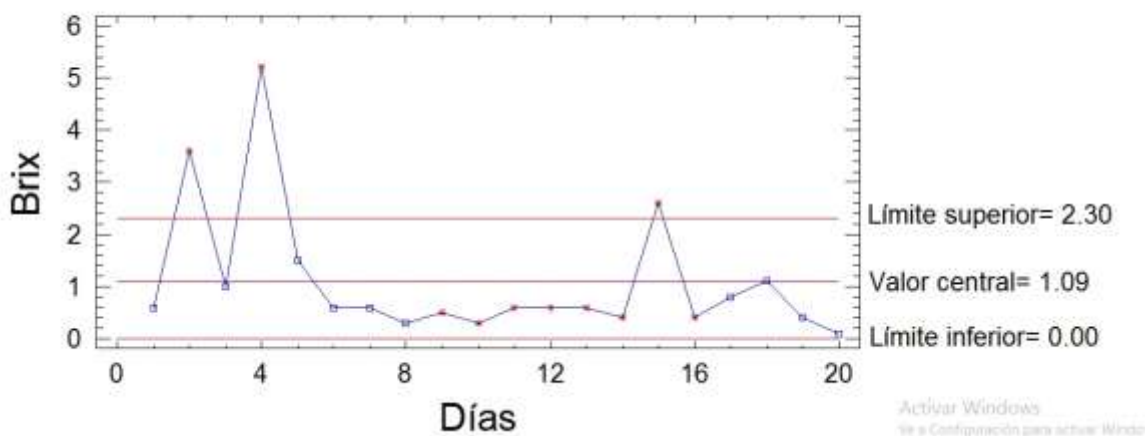
Carta de control para rangos (Caída de pureza del J.M a jugo primario)



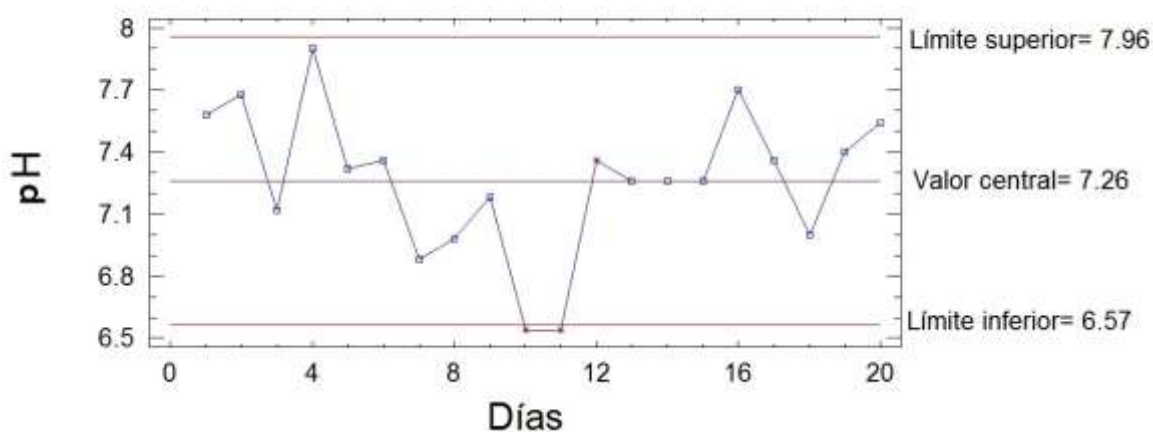
Carta de control para medias (Brix de la zanja molino)



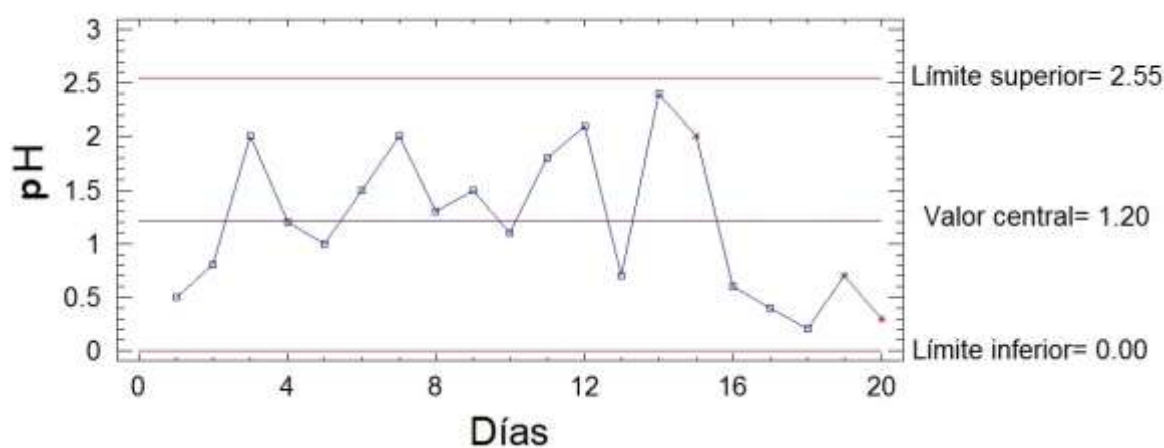
Carta de control para rangos (Brix de la zanja molino)



Carta de control de medias ( pH jugo alcalizado)

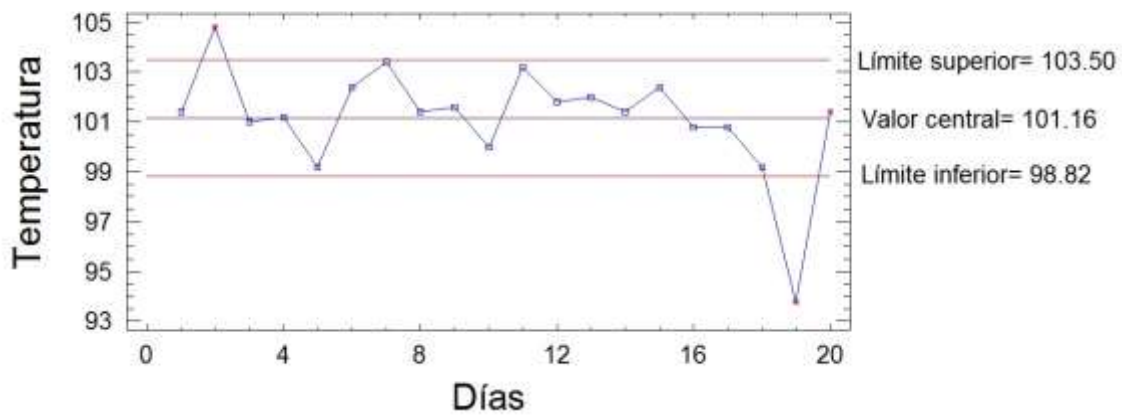


Carta de control para rangos ( pH jugo alcalizado)

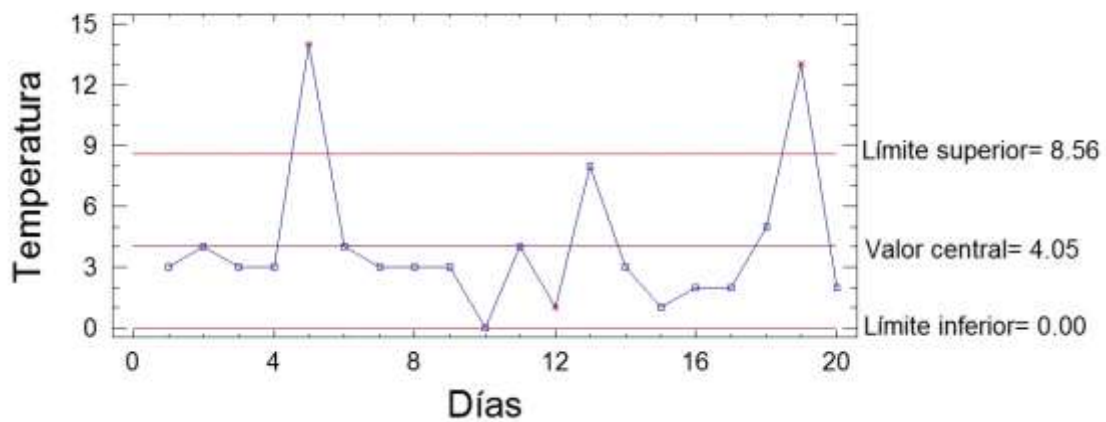




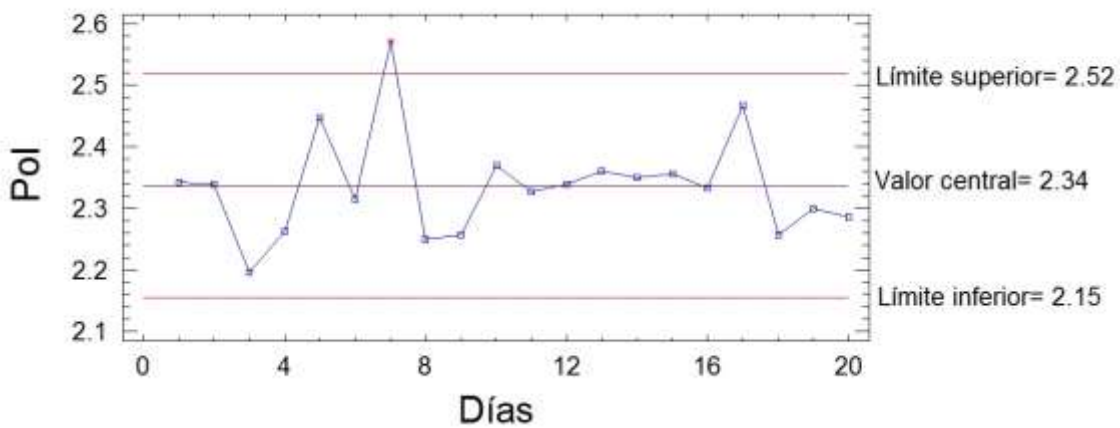
Carta de control para medias (Temperatura del jugo alcalizado)



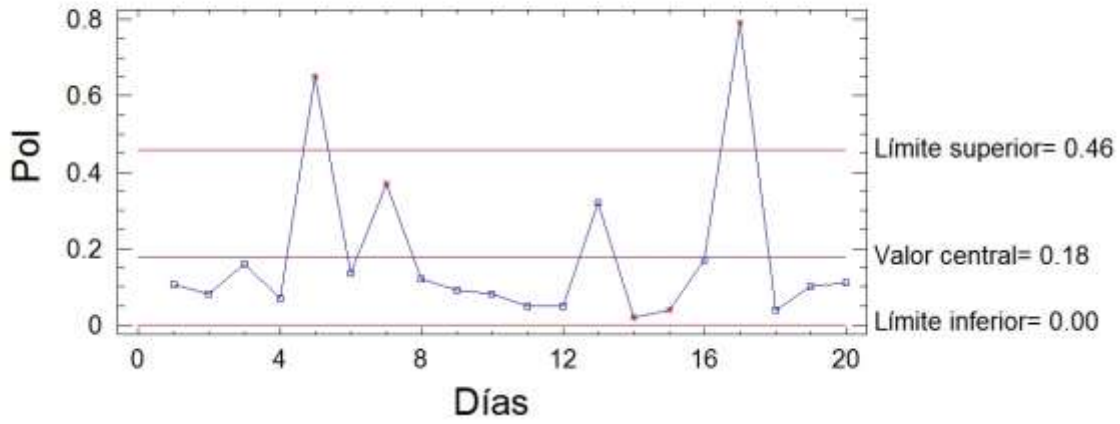
Carta de control para rangos (Temperatura del jugo alcalizado)



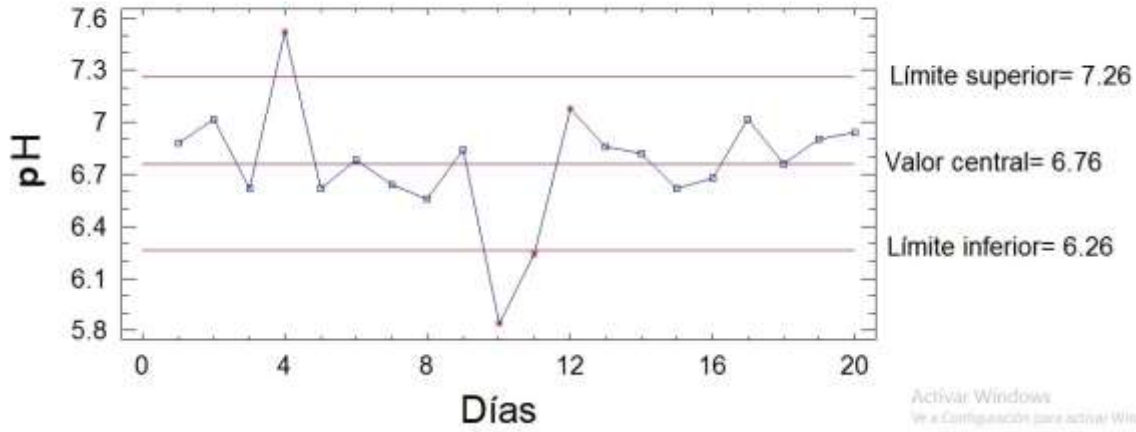
Carta de control para medias (Pol en cachaza)



Carta de control para rangos (Pol en cachaza)

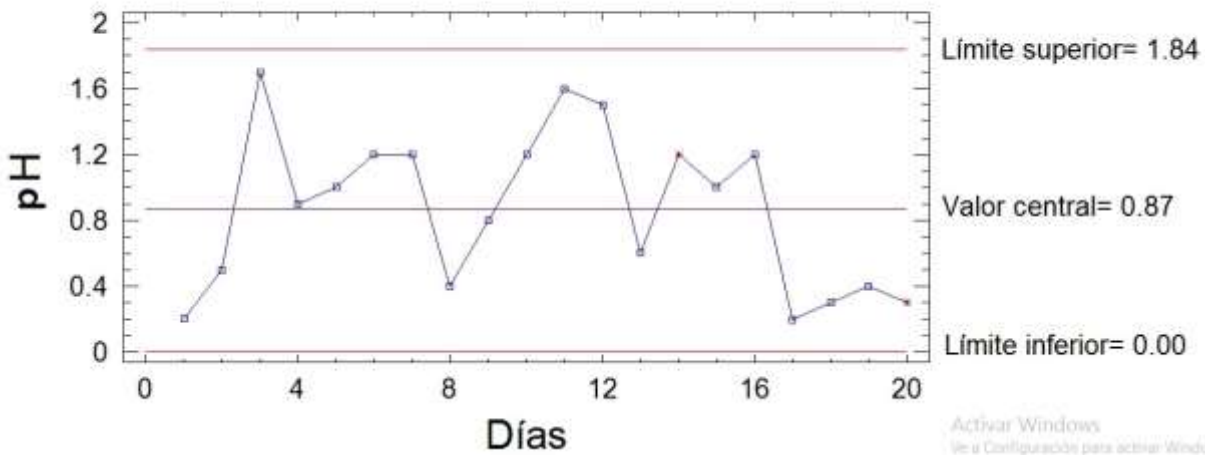


Carta de control para medias ( pH jugo Clarificado)



Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows

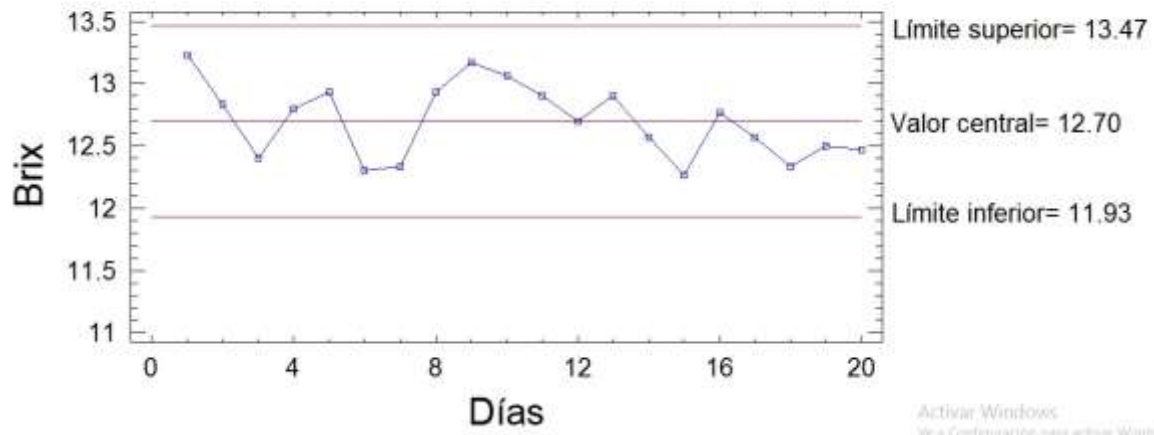
Carta de control para rangos (pH jugo Clarificado)



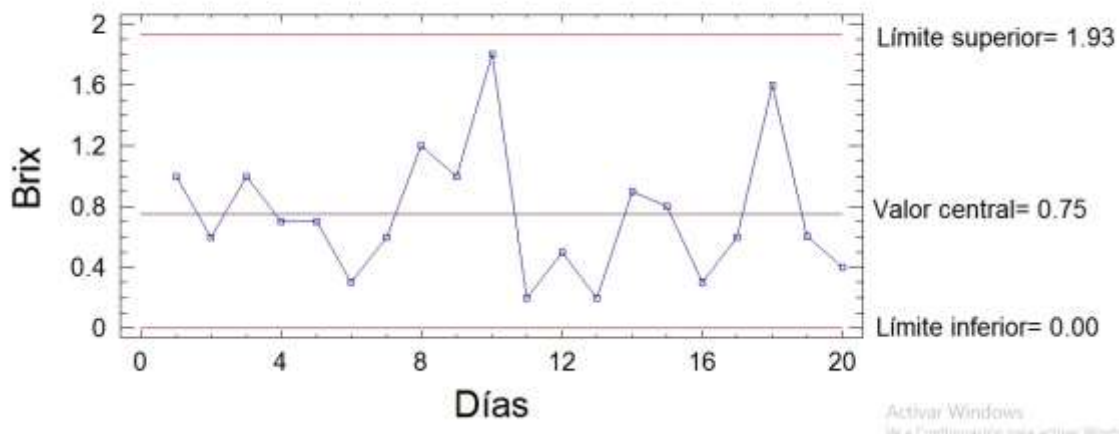
Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows



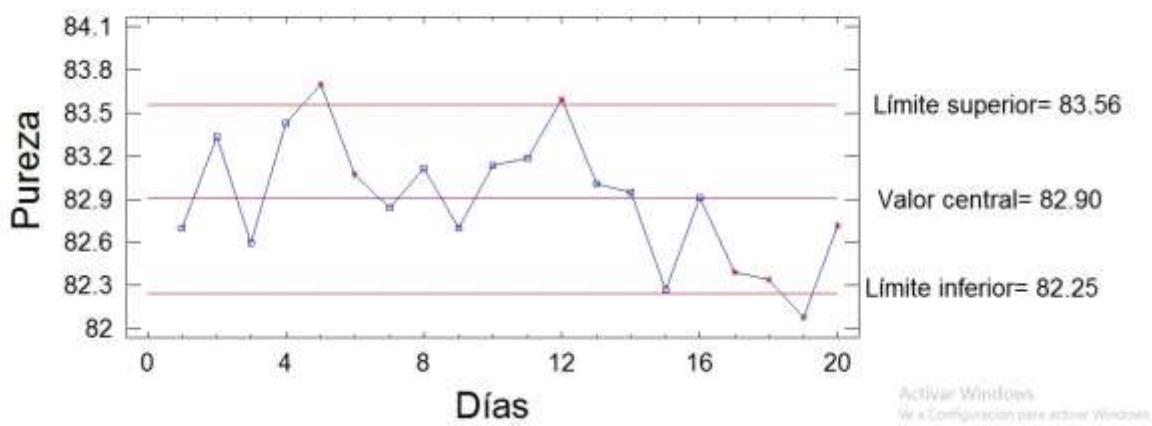
Carta de control para medias (Brix del jugo Filtrado)



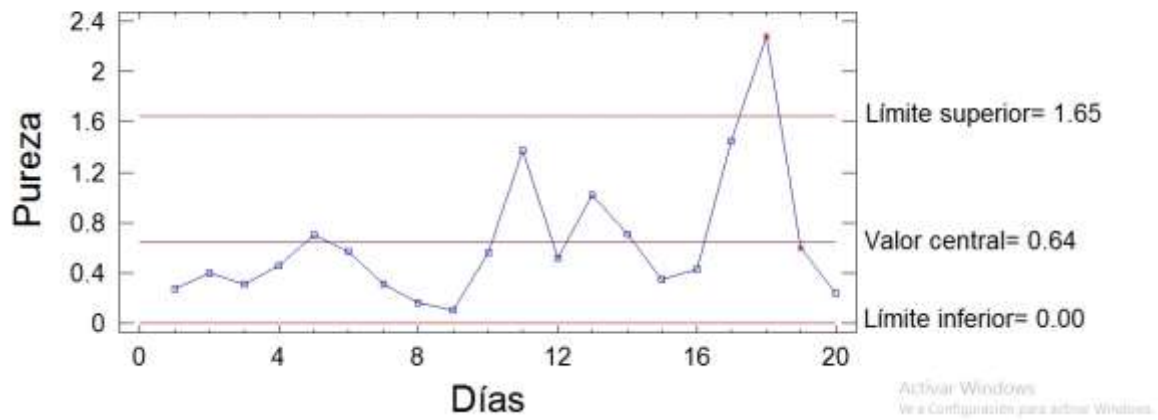
Carta de control para rangos (Brix del jugo Filtrado)



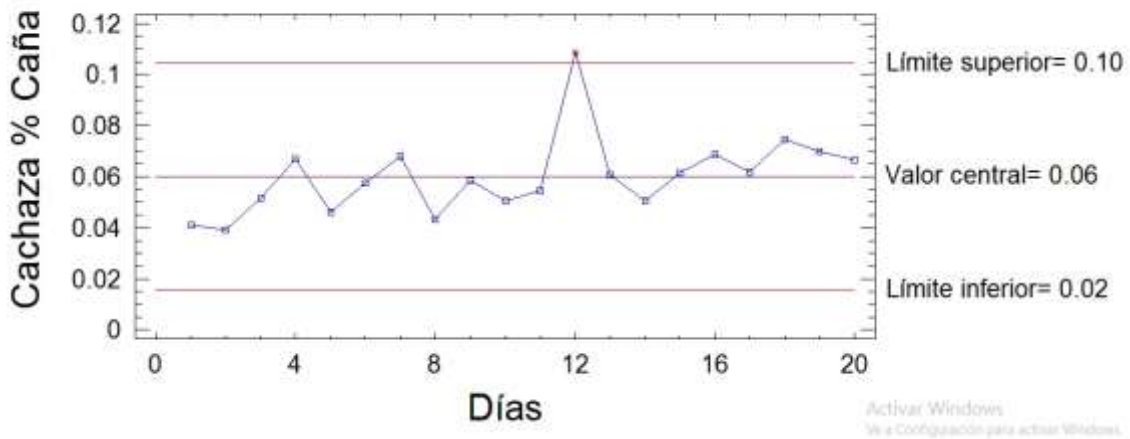
Carta de control para medias (Pureza del Jugo Clarificado)



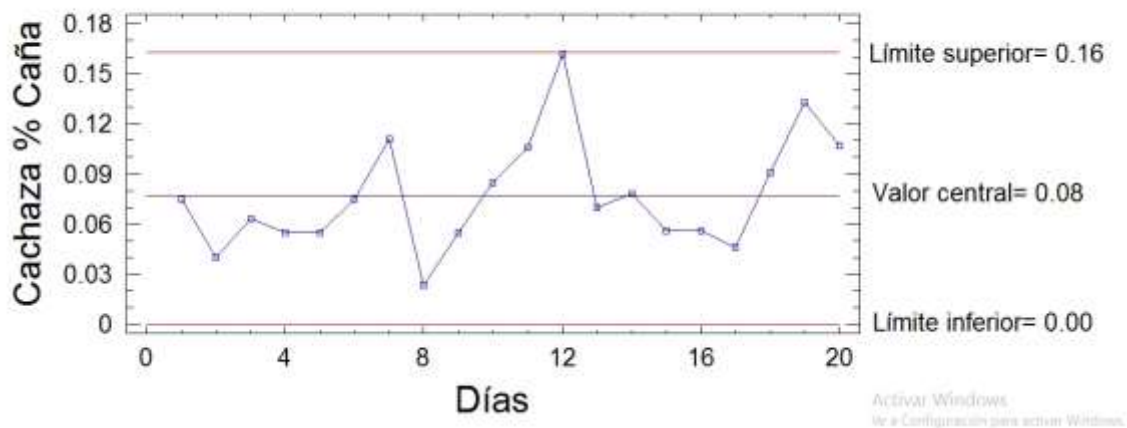
Carta de control para rangos (Pureza del Jugo Clarificado)



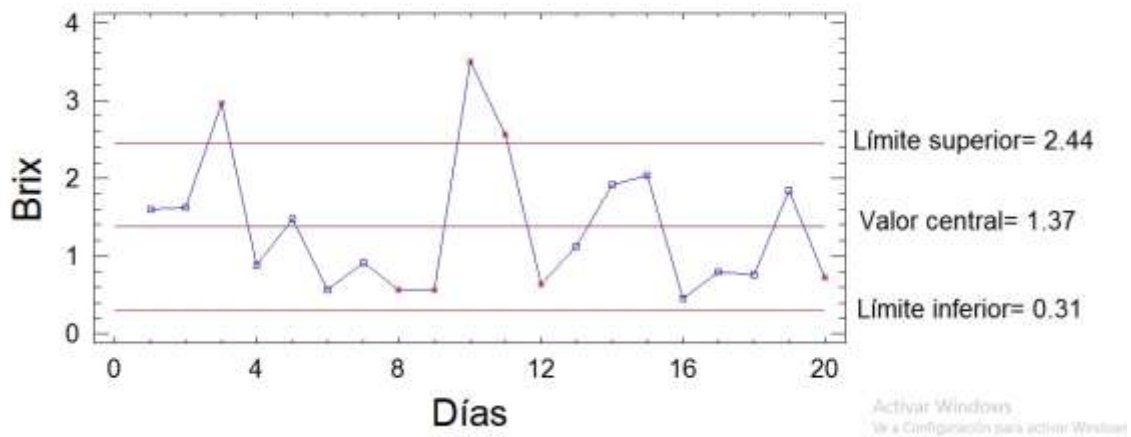
Carta de control para medias (Cachaza % Caña)



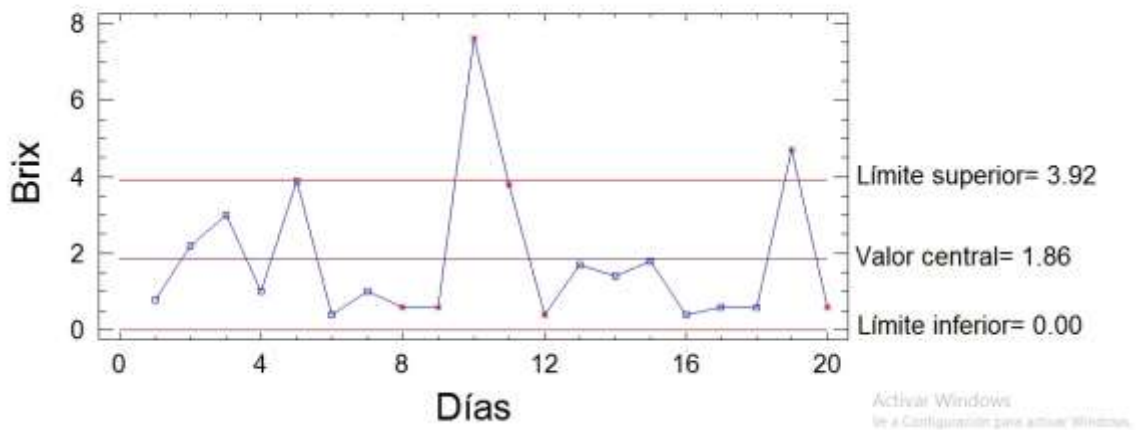
Carta de control para rangos (Cachaza % Caña)



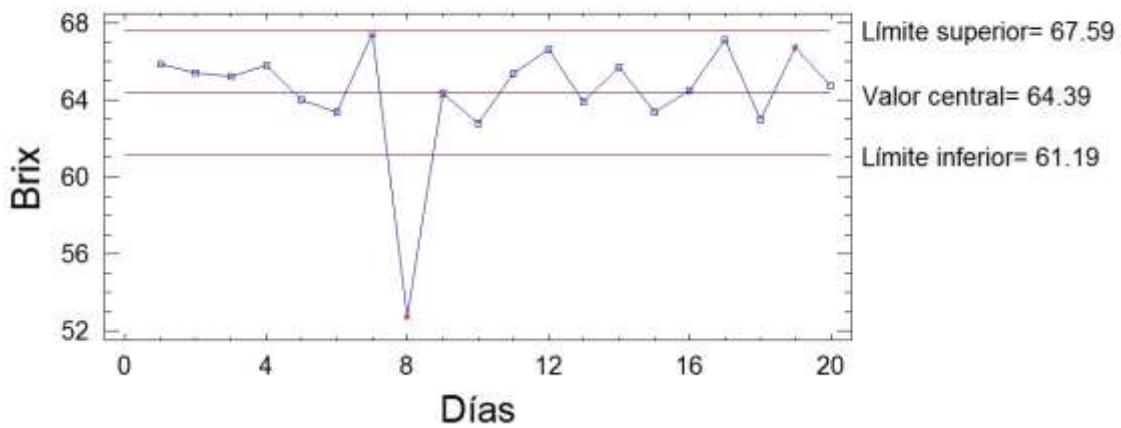
Carta de control para medias (Brix de la zanja purificación)



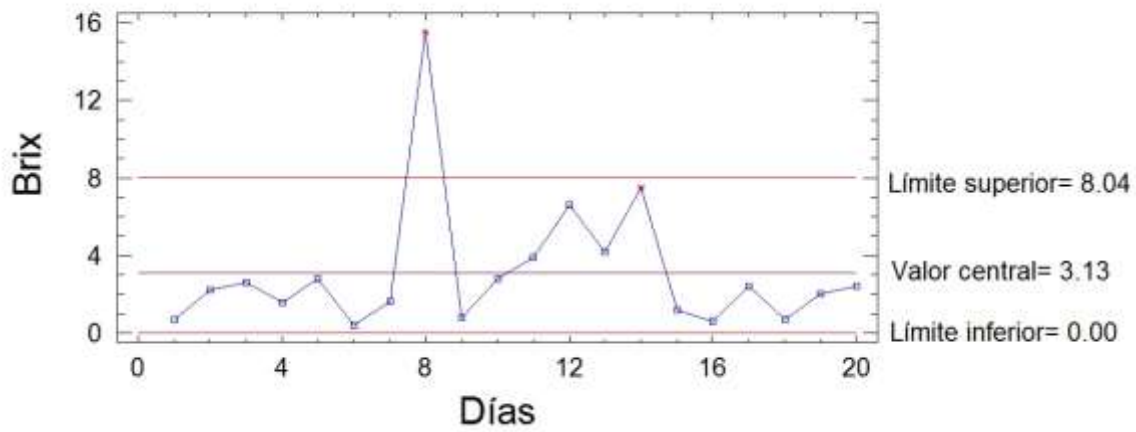
Carta de control para rangos (Brix de la zanja purificación)



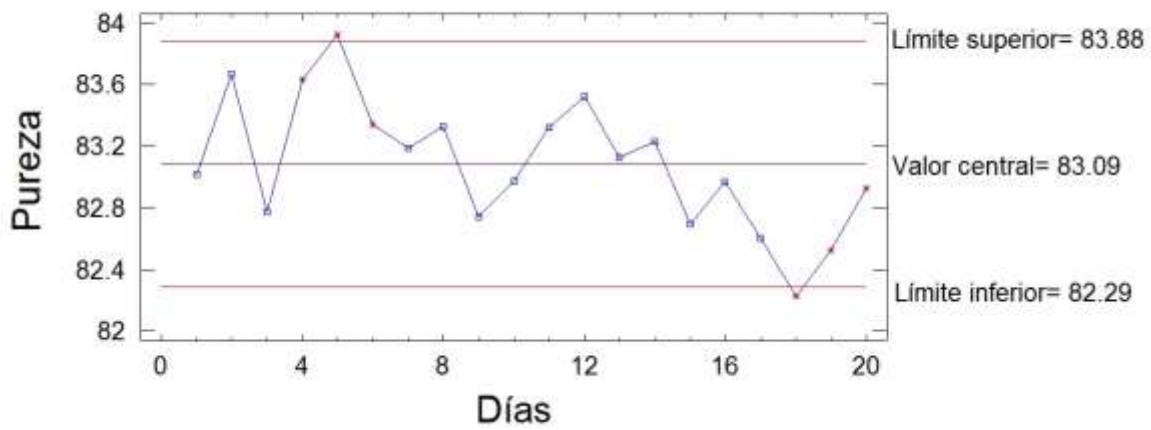
Carta de control para medias (Brix de la meladura)



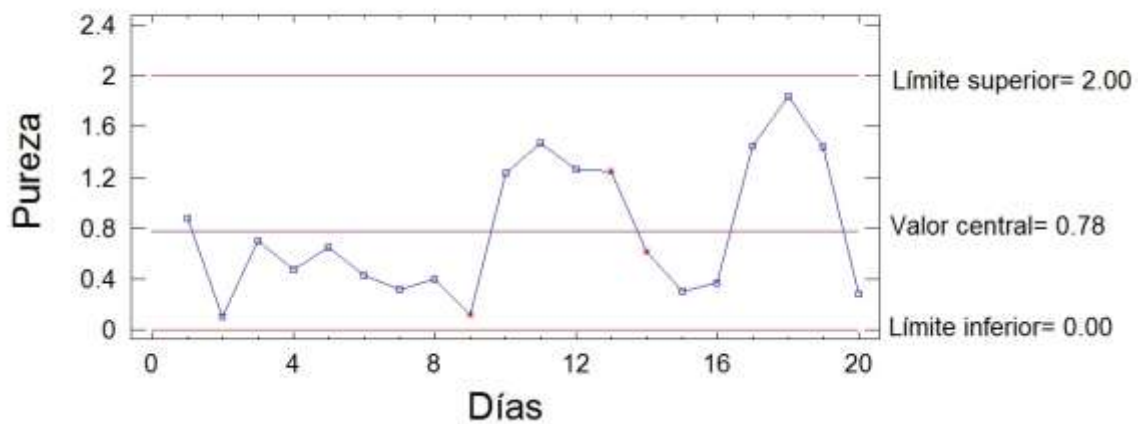
Carta de control para rangos (Brix de la meladura)



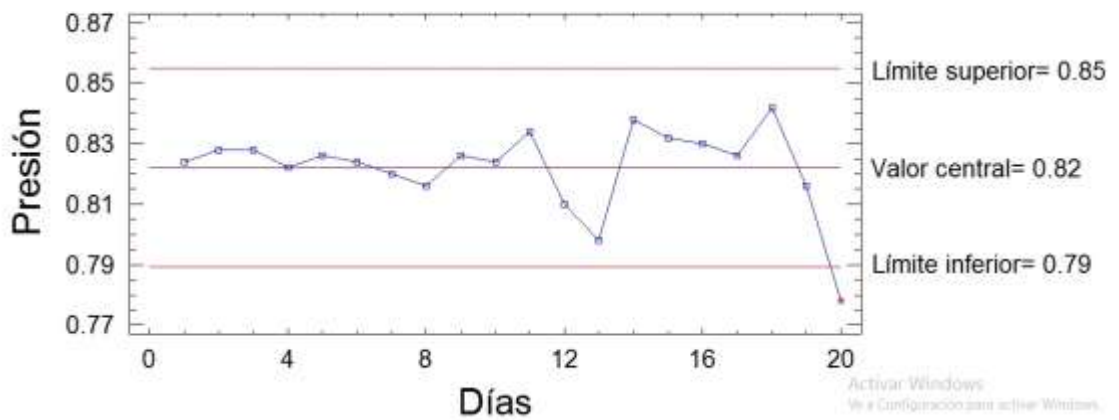
Carta de control para medias (Pureza de la meladura)



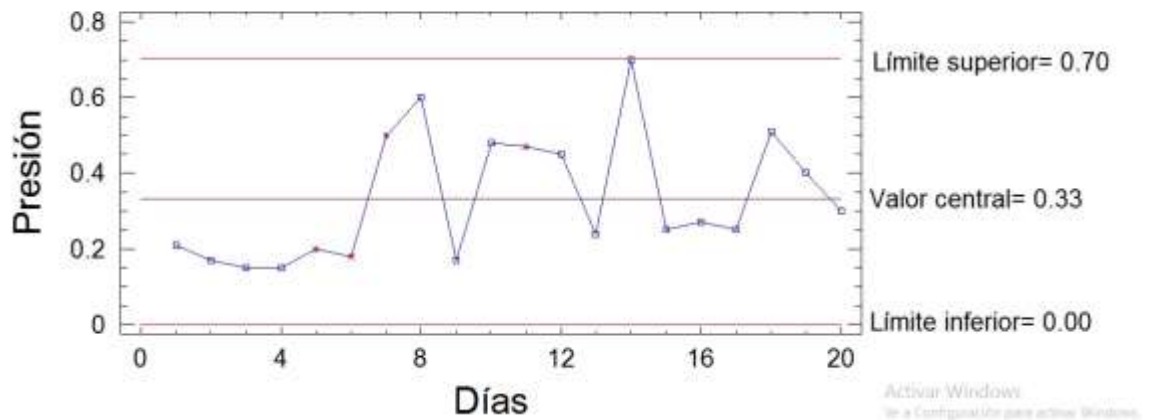
Carta de control para rangos (Pureza de la meladura)



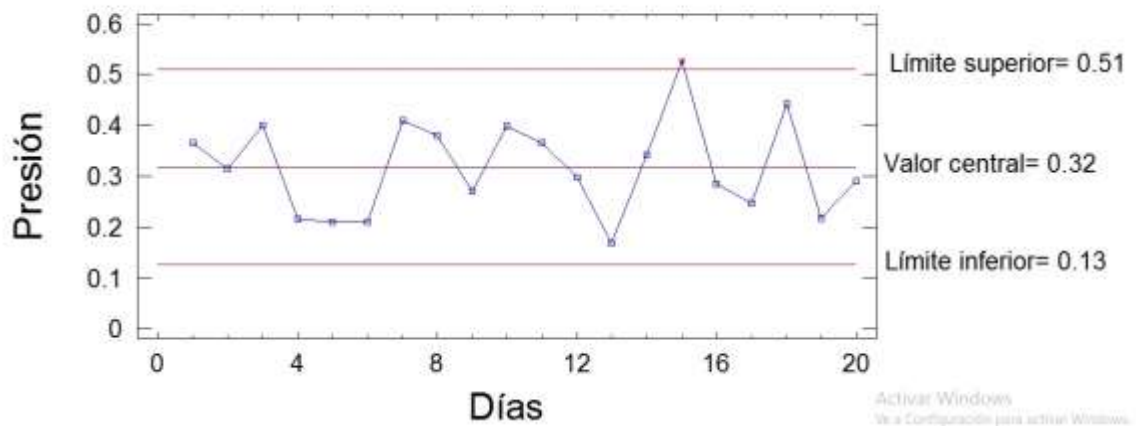
Carta de control para medias (Presión de vacío en el último vaso )



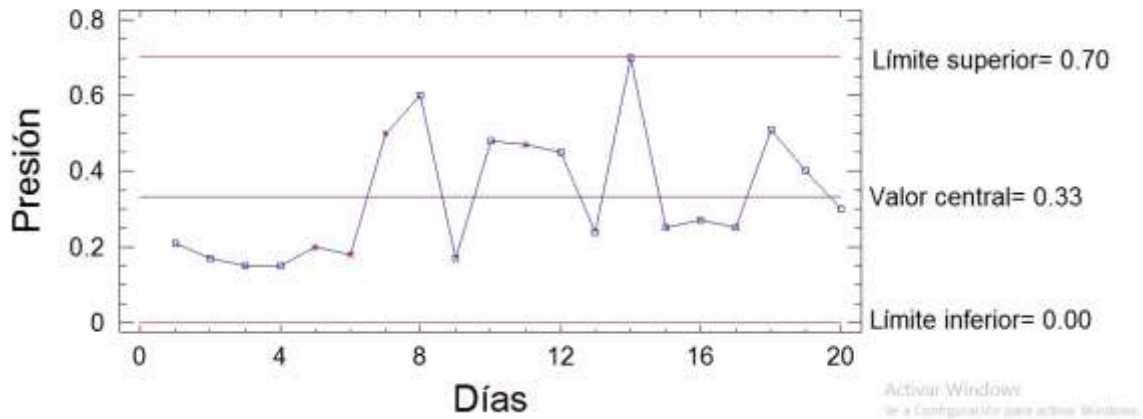
Carta de control para rangos (Presión en la calandria del primer vaso)



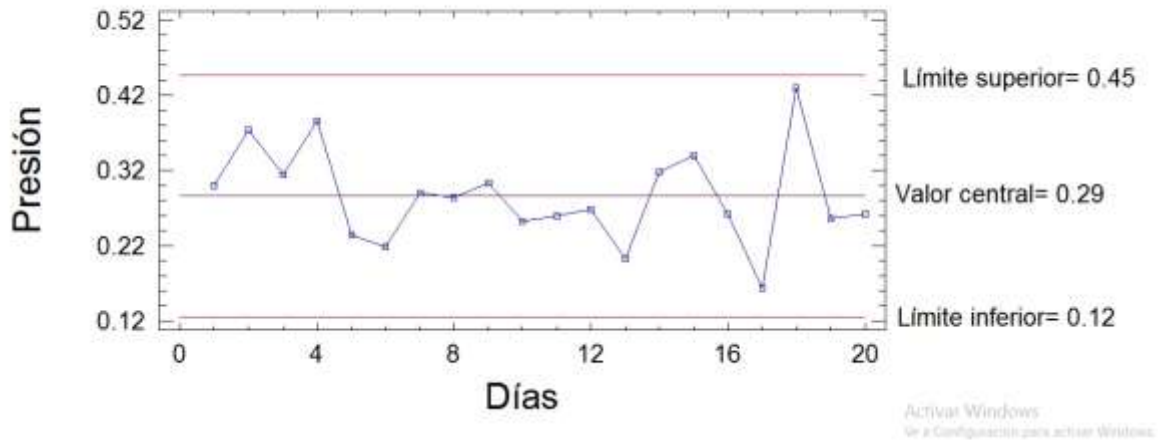
Carta de control para medias (Presión en la calandria del primer vaso)



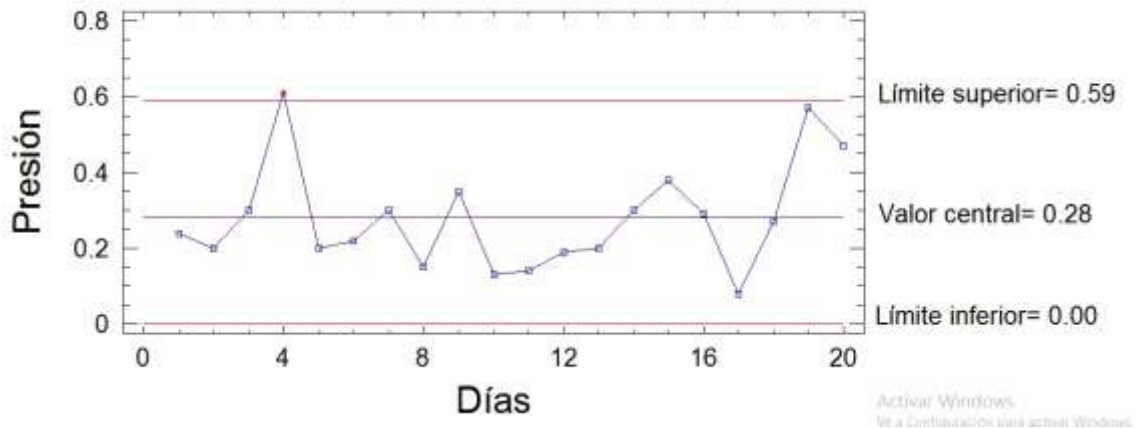
Carta de control para rangos (Presión en la calandría del primer vaso)



Carta de control para medias (Presión de vapor en tacho 7)

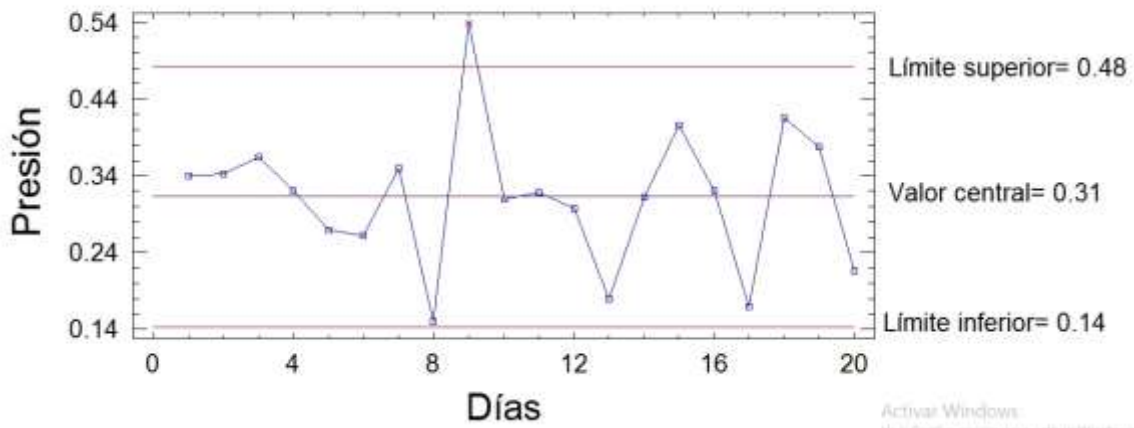


Carta de control para rangos (Presión de vapor en tacho 7)

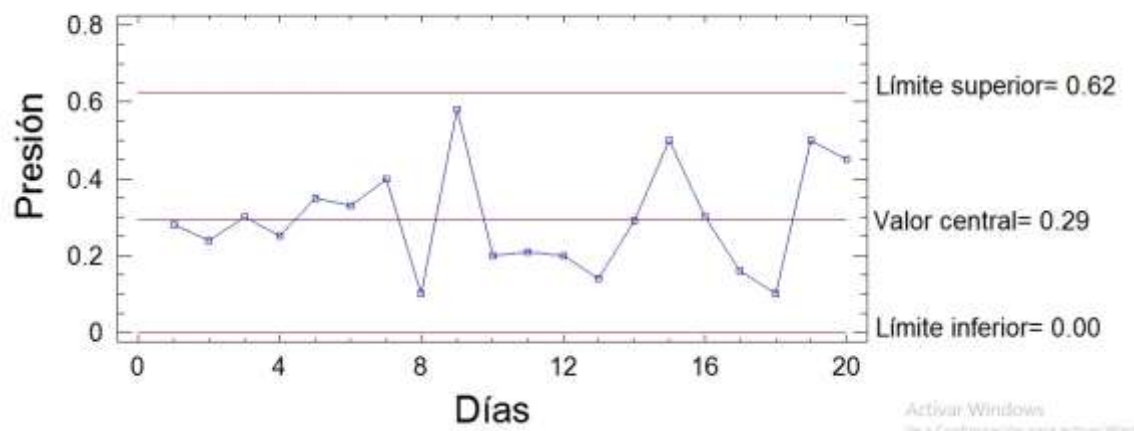




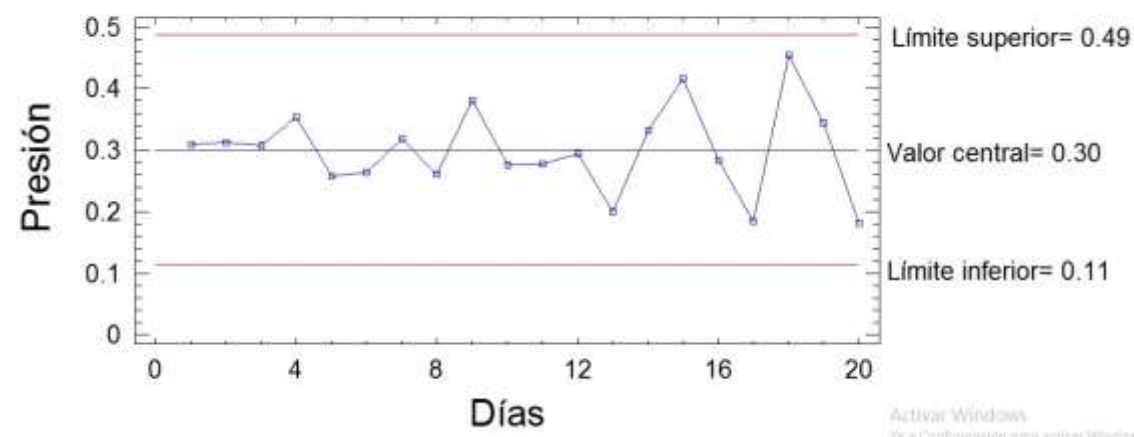
Carta de control para medias (Presión de vapor en tacho 6)



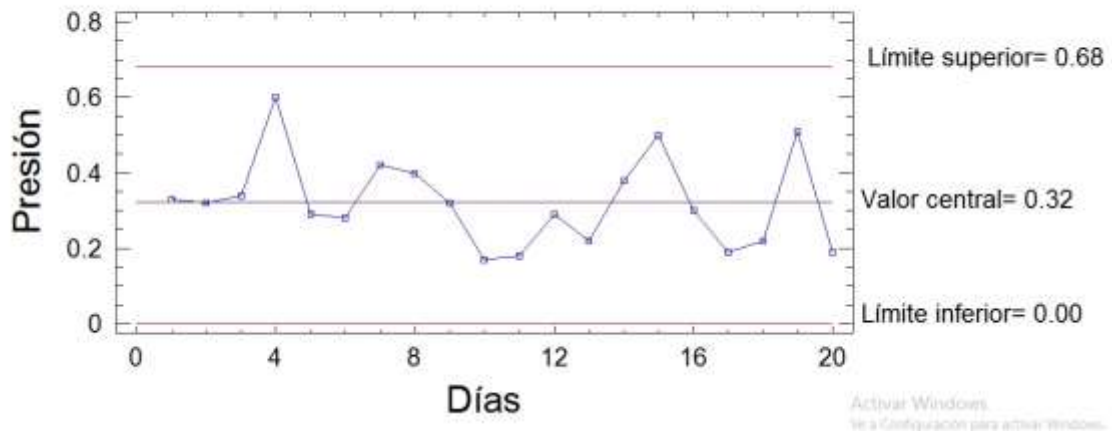
Carta de control para rangos (Presión de vapor en tacho 6)



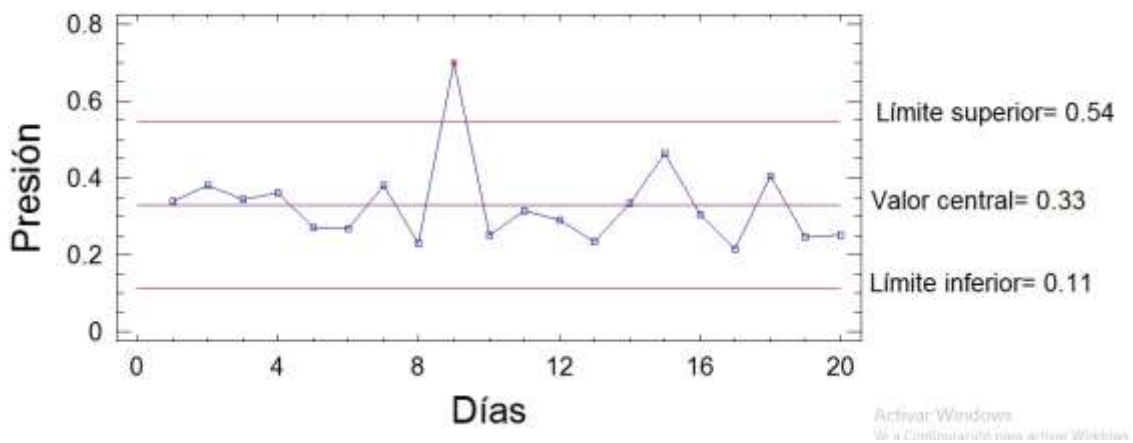
Carta de control para medias (Presión de vapor en tacho 5)



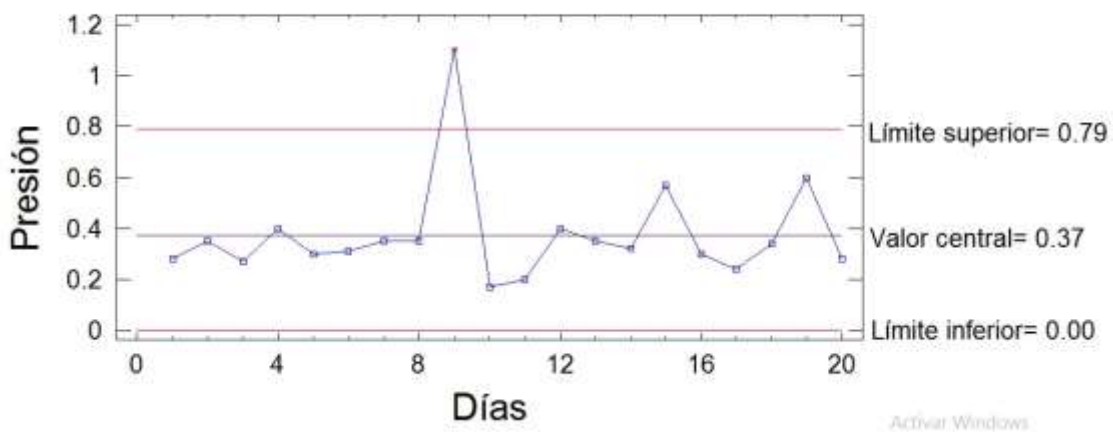
Carta de control para rangos (Presión de vapor en tacho 5)



Carta de control para medias (Presión de vapor en tacho 4)

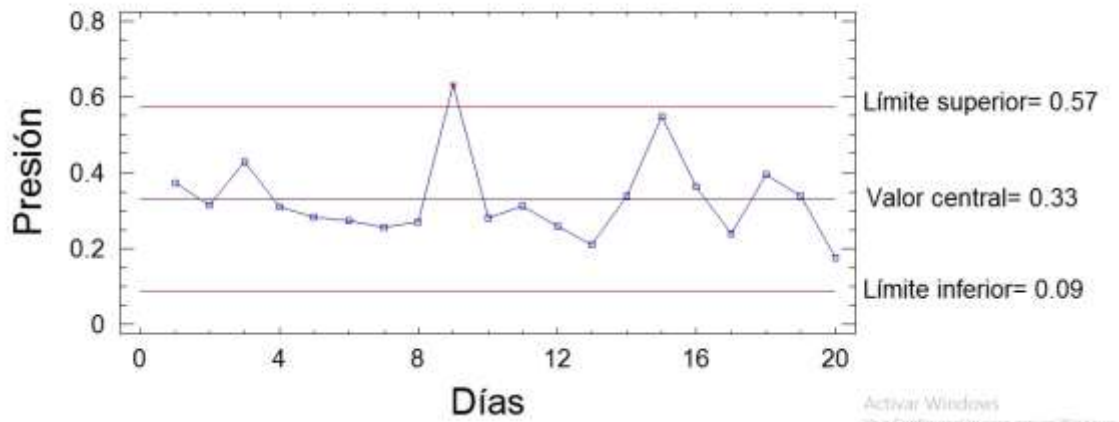


Carta de control para rangos (Presión de vapor en tacho 4)

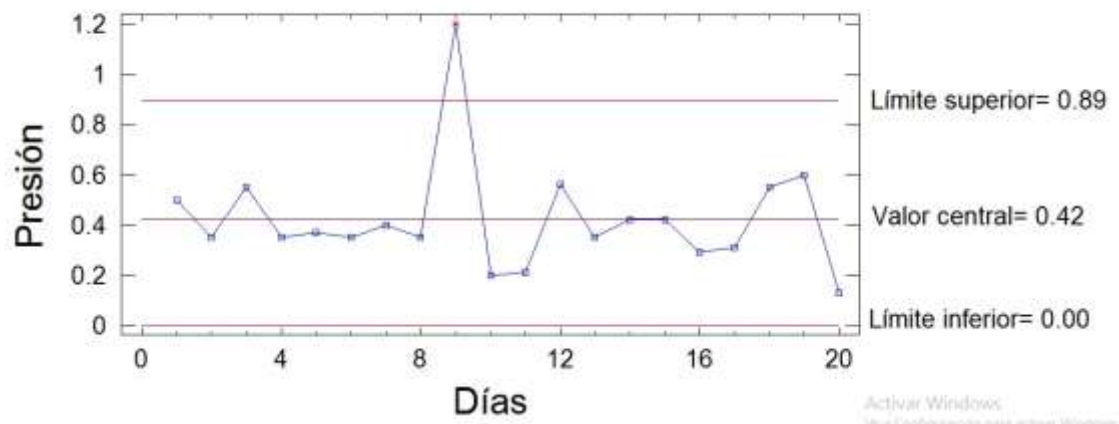




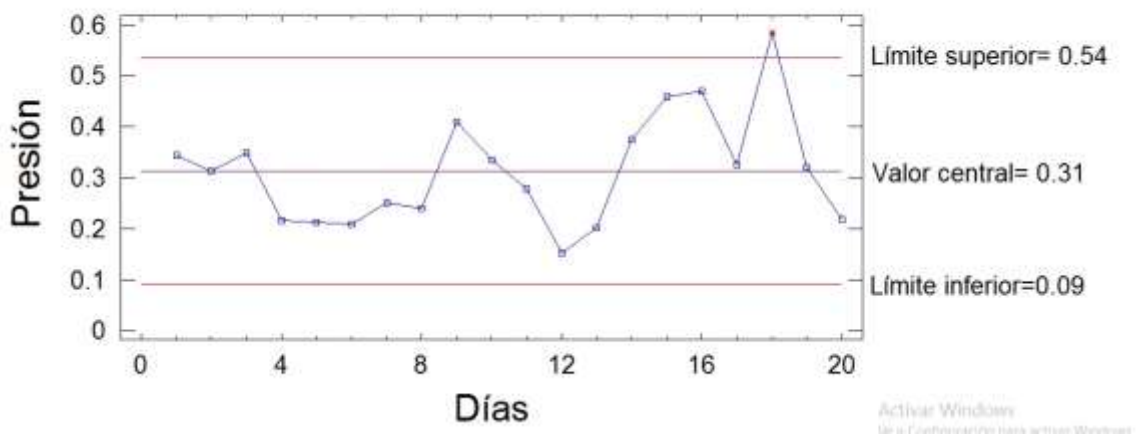
Carta de control para medias (Presión de vapor en tacho 3)



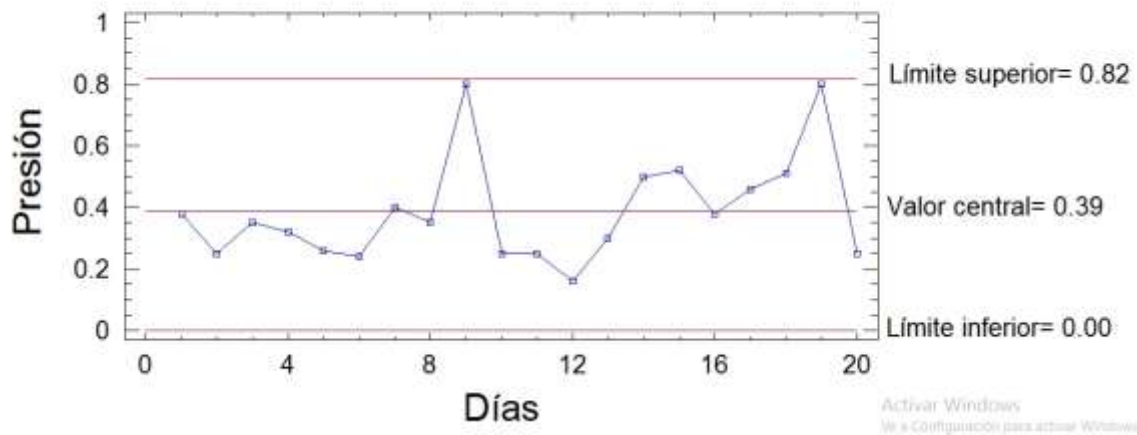
Carta de control para rangos (Presión de vapor en tacho 3)



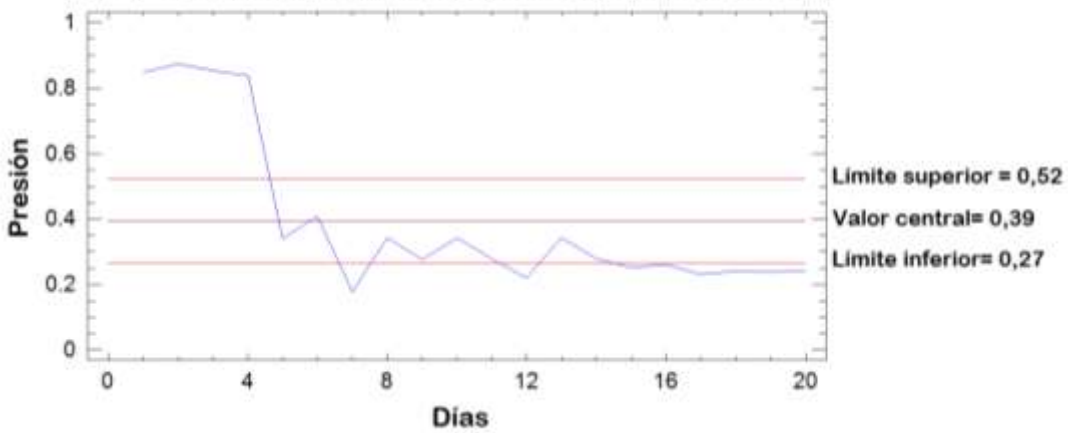
Carta de control para medias (Presión de vapor en tacho 2)



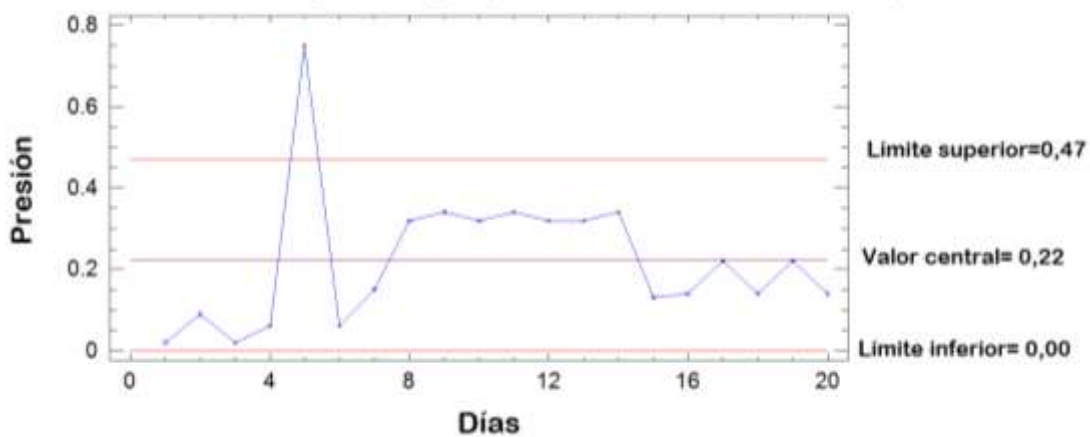
Carta de control para rangos (Presión de vapor en tacho 2)



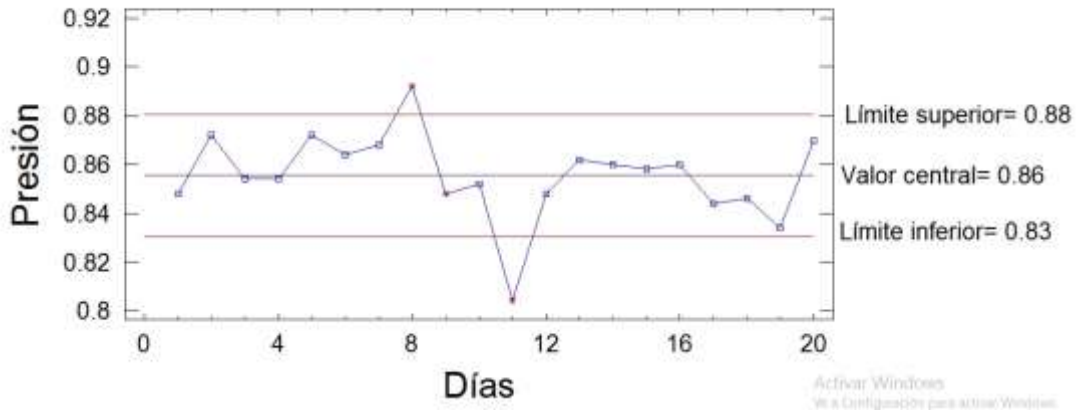
Carta de control para medias (presión de vacío en tacho 7)



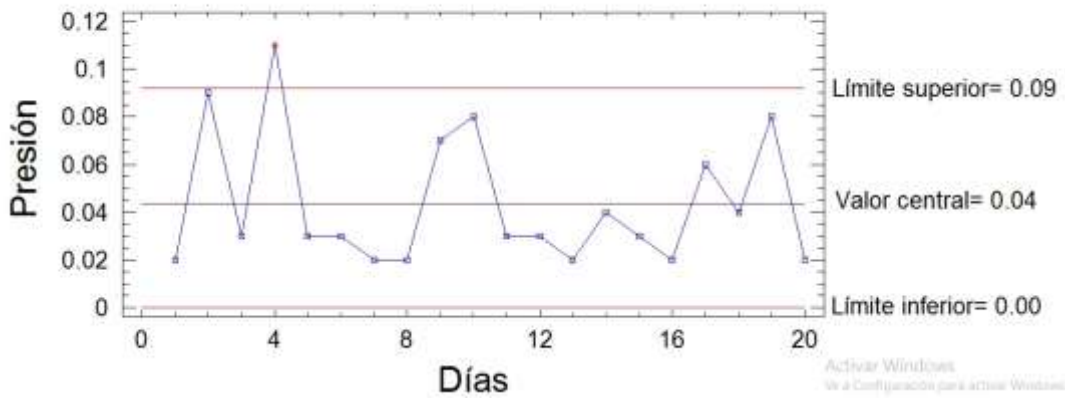
Carta de control para rangos (Presión de vacío en tacho 7)



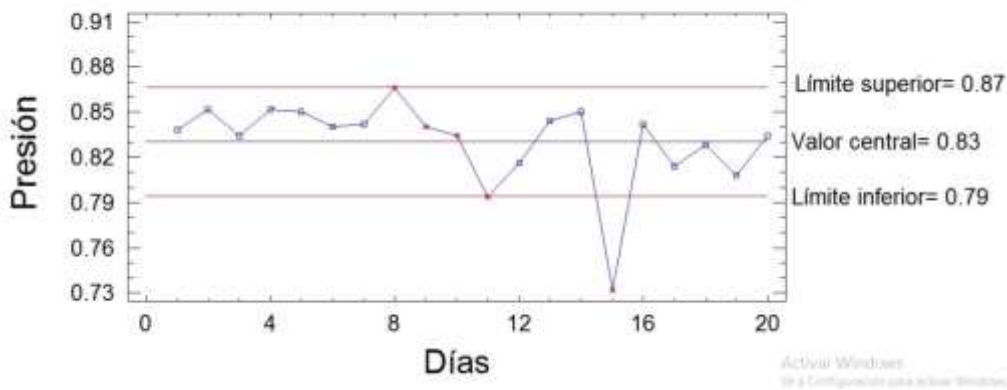
Carta de control para medias (Presión de vacío en tacho 6)



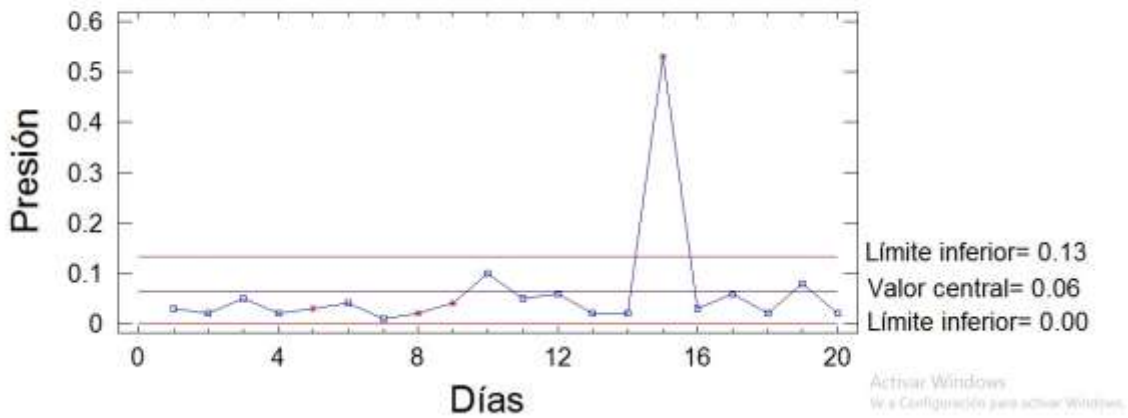
Carta de control para rangos (Presión de vacío en tacho 6)



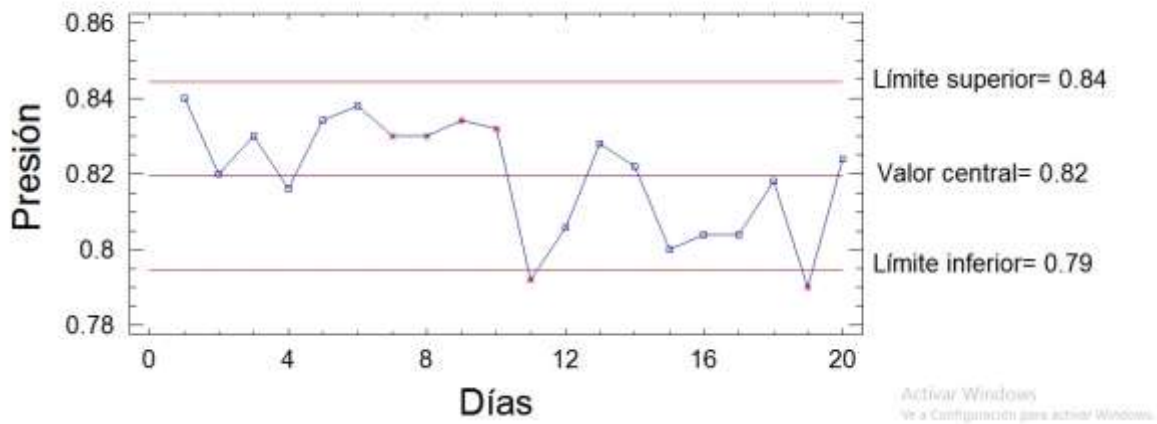
Carta de control para medias (Presión de vacío en tacho 5)



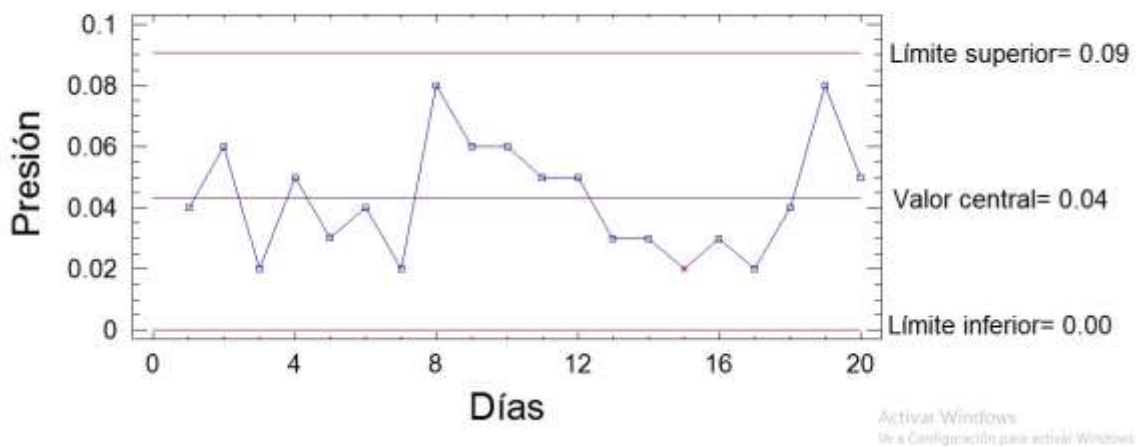
Carta de control para rangos (Presión de vacío en tacho 5)



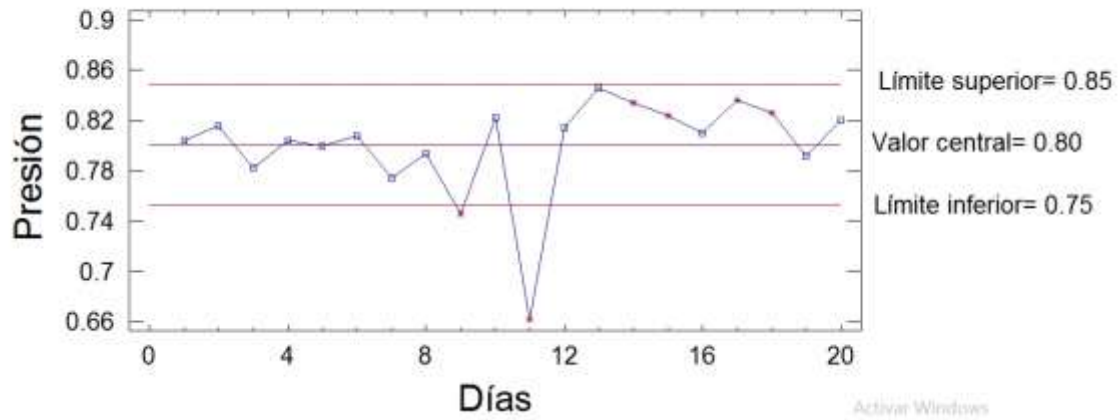
Carta de control para medias (Presión de vacío en tacho3)



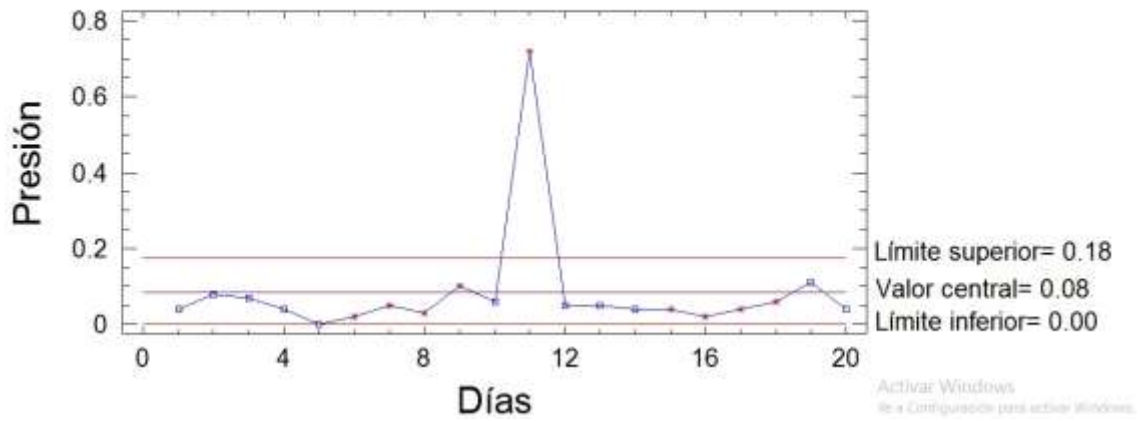
Carta de control para rangos (Presión de vacío en tacho 3)



Carta de control para medias (Presión de vacío en tacho 2)



Carta de control para rangos (Presión de vacío en tacho 2)



# Anexo 8- Cartas de control de análisis multivariado (T-cuadrado)

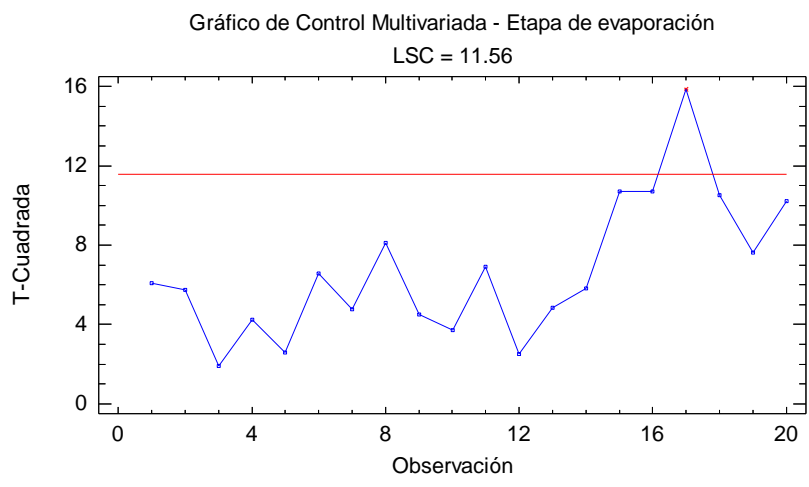
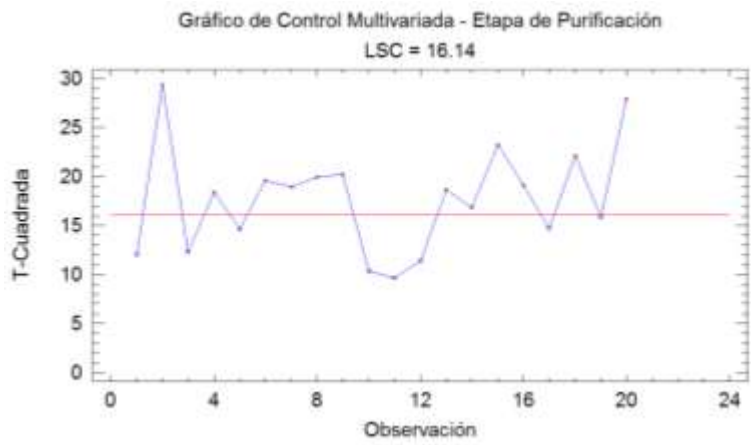
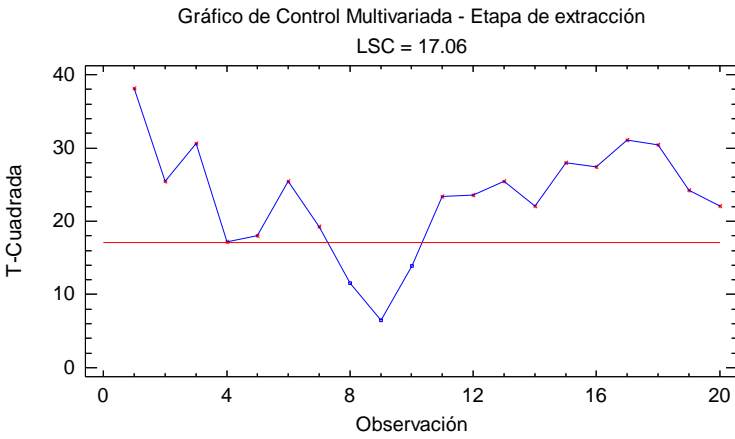


Gráfico de Control Multivariada - Tachos (MCA)

LSC = 14.24

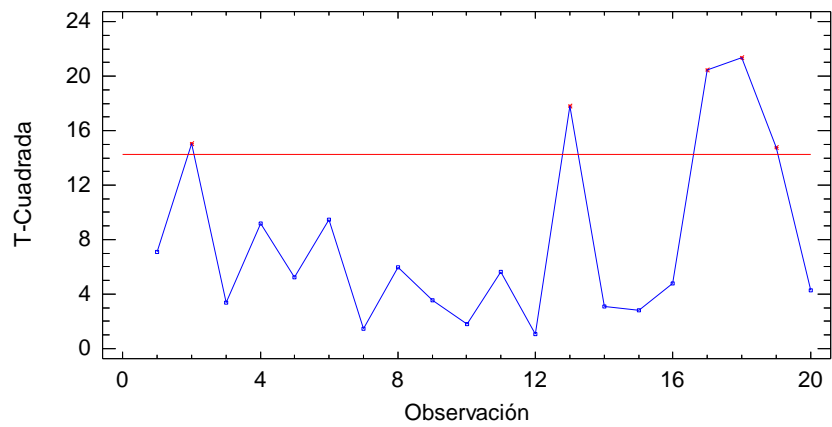


Gráfico de Control Multivariada - Tachos (MCB)

LSC = 16.14

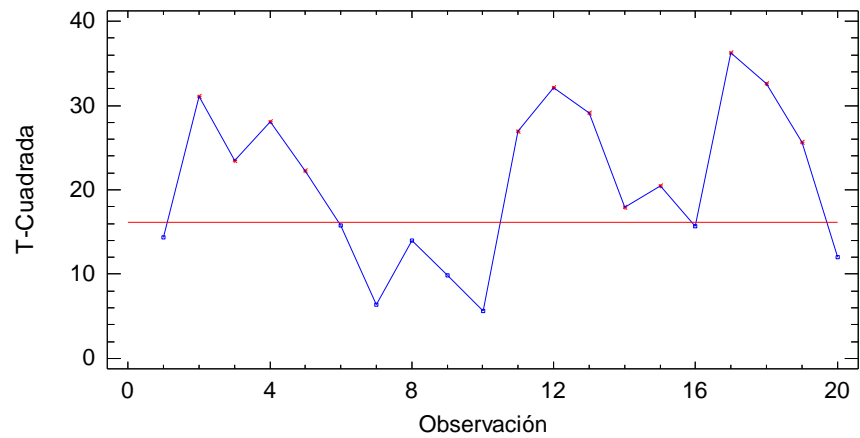
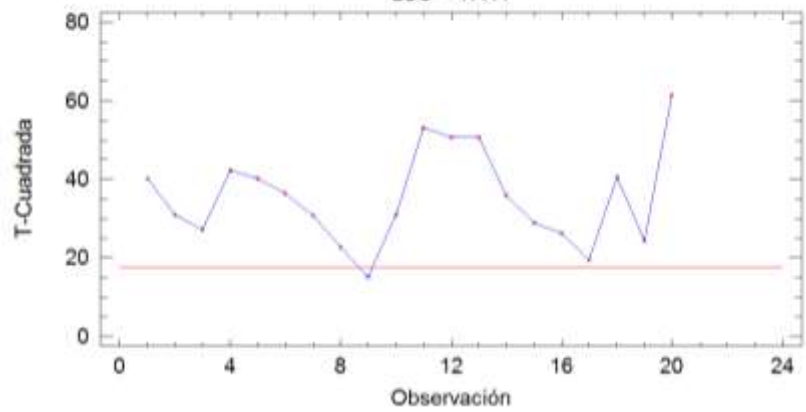


Gráfico de Control Multivariada - Parámetros del azúcar

LSC = 17.41



## Anexo 9- Análisis de capacidad del proceso de producción de azúcar crudo

Parámetro	Valor normado	LI	LS	Cp	Cpk	Capacidad del proceso
Flujo de caña (t/h)	291,6	291,6	-	-0,27	-0,27	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Flujo de agua de imbibición (m <sup>3</sup> /h)	≤ 90	-	90	2,10	2,10	El proceso es capaz de cumplir con las especificaciones
Temperatura del agua de imbibición (°C)	60-80	60	80	0,33	0,24	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión del último molino (Pa)	2600	-	2600	-0,79	-0,79	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pol en bagazo (%)	≤ 1,88	-	1,88	-0,42	-0,42	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Humedad del bagazo (%)	≤ 50	-	50	0,06	0,06	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Fibra en caña (%)	≤ 15,5	-	15,5	-1,31	-1,31	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pol en caña (%)	14	14	-	-1,71	-1,71	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix del jugo mezclado (°Bx)	≤ 14	-	14	-0,32	-0,32	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones



Materia extraña (%)	≤ 10	-	10	-0,32	-0,32	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Caída de pureza del jugo mezclado- jugo primario (%)	≤ 1,07	-	1,07	-0,27	-0,27	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de la zanja (°Bx)	≤ 1,2	-	1,2	0,28	0,28	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
pH del jugo alcalizado	6,8-7,1	6,8	7,1	0,08	-0,11	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Temperatura del jugo alcalizado (°C)	102-105	102	105	0,17	0,00	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pol en cachaza (%)	≤ 2,30	-	2,3	-0,04	-0,04	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Concentración de la lechada de cal (Bé)	4	4	-	0,00	0,00	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
pH del jugo clarificado	6,8-7,1	6,8	7,1	0,10	0,07	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix del jugo filtrado (°Bx)	13	13	-	-0,18	-0,18	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pureza del jugo clarificado (%)	> 80	80	-	1,75	1,75	El proceso es capaz de cumplir con las especificaciones
Humedad de la cachaza (%)	≤ 74	-	74	-0,39	-0,39	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones

Cachaza % caña	> 4	4	-	-43,89	-43,89	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de la zanja (°Bx)	≤ 1,2	-	1,2	0,08	0,08	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de la meladura (°Bx)	60-65	60	65	0,23	0,02	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pureza de la meladura (%)	> 80	80	-	1,83	1,83	El proceso es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vacío del último vaso (atm)	≥ 0,85	0,85	-	-0,33	-0,33	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión en la calandria del primer vaso (atm)	0,3-0,8	0,3	0,8	0,49	0,00	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Caída de pureza MCA- miel A (%)	≥ 14	-	14	0,07	0,07	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Caída de pureza MCB- miel B (%)	≥ 18	-	18	-0,04	-0,04	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de la MCA (°Bx)	≥ 92,50	-	92,5	0,16	0,16	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de la MCB (°Bx)	94-95	94	95	0,35	-0,09	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pureza miel final (%)	≤ 58	58	-	-0,14	-0,14	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones

Brix de miel A pura (°Bx)	78-80	78	80	0,14	0,10	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de miel A diluida (°Bx)	60-65	60	65	0,80	0,76	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Brix de miel B pura (°Bx)	86-89	86	89	0,41	0,35	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
kg miel/t de caña	≤ 44,44	44,44	-	-0,20	-0,20	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vapor en tachos (T7) (atm)	0,5-0,6	0,5	0,6	0,13	-0,64	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vapor en tachos (T6) (atm)	0,5-0,6	0,5	0,6	0,11	-0,42	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vapor en tachos (T5) (atm)	0,5-0,6	0,5	0,6	0,11	-0,44	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vapor en tachos (T4) (atm)	0,5-0,6	0,5	0,6	0,09	-0,32	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vapor en tachos (T3) (atm)	0,5-0,6	0,5	0,6	0,08	-0,32	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vapor en tachos (T2) (atm)	0,5-0,6	0,5	0,6	0,09	-0,42	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vacío en tachos (T7) (atm)	≥ 0,85	-	0,85	0,01	0,01	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones

Presión de vacío en tachos (T6) (atm)	$\geq 0,85$	-	0,85	-0,11	-0,11	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vacío en tachos (T5) (atm)	$\geq 0,85$	-	0,85	0,06	0,06	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vacío en tachos (T3) (atm)	$\geq 0,85$	-	0,85	0,50	0,50	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Presión de vacío en tachos (T2) (atm)	$\geq 0,85$	-	0,85	0,17	0,17	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Pol	$\geq 99,0$	-	99	-0,56	-0,56	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Color ICUMSA	$\leq 1500$	1500	-	-0,82	-0,82	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Color Horne	$\leq 13$	1500	-	-264,37	-264,37	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Humedad (%)	$\leq 0,20$	0,2	-	-0,22	-0,22	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Tamaño de grano sobre maya 20 (%)	$\geq 60$	-	60	-0,31	-0,31	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Reductores (%)	$\leq 0,25$	0,25	-	-0,28	-0,28	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Cenizas (%)	$\leq 0,20$	0,2	-	-0,44	-0,44	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones

Partículas Ferromagnéticas (%)	$\leq 6$	6	-	-3,55	-3,55	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Dextrana (ppm)	$\leq 200$	200	-	5,07	5,07	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
Almidón (ppm)	$\leq 200$	200	-	0,31	0,31	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones
pH	7	6	7	1,11	0,89	El proceso es potencialmente capaz, pero requiere monitoreo
Factor de Seguridad	$\leq 0,20$	0,2	-	0,33	0,33	El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 10- Lista de chequeo para la evaluación de la mano de obra

No	MANO DE OBRA	Negativo	Positivo
1	El trabajador debe tener una formación sobre el manejo de las maquinarias.	X	
2	El trabajador debe conocer las características de las materias primas y del producto final del proceso productivo.		X
3	Los operarios de equipo pasan por a un proceso evaluativo para adquirir la plaza.		X
4	Evaluar el desempeño de los operarios.		X
5	Penalizar a aquellos operarios que incumplan con las normas y responsabilidades de su puesto de trabajo.		X
6	Tener manuales de operación al alcance de los operarios.		X
7	Realizar capacitaciones periódicas.	X	
8	Existe un sistema para medir la eficacia de la capacitación.	X	
9	Retención de la mano de obra.	X	
10	Tener atención correcta a la mano de obra de la industria.		X
11	La existencia de un liderazgo.		X
12	Los locales cuentan con servicios sanitarios e instalaciones para lavarse las manos.	X	
13	La existencia de una lista de posibles factores de riesgo de ETA.	X	
14	La existencia de un registro de toda actividad relativa a los factores de riesgo identificados a ETA.		X

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 11- Lista de chequeo para la evaluación del mantenimiento

No	MANTENIMIENTO	Negativo	Positivo
1	La existencia de un programa de mantenimiento.		X
2	Realizar un mantenimiento periódico a los equipos del proceso.		X
3	Existe un presupuesto asignado para el plan de mantenimiento.		X
4	La existencia un sistema para medir la eficiencia del mantenimiento.		X
5	Utilización productos normados durante los procesos de limpieza.		X
6	La existencia de un programa de limpieza y desinfección de las instalaciones		X
7	Existen las herramientas y materiales requeridos para llevar a cabo el mantenimiento de las maquinarias.	X	
8	Los equipos de mantenimientos están correctamente calibrados.		X
9	Se verifica el estado general de los locales e instalaciones.	X	
10	Se evalúa al personal que interviene en el mantenimiento.		X
11	Realizar informes de mantenimiento para una posterior discusión.		X

Fuente: Elaboración propia

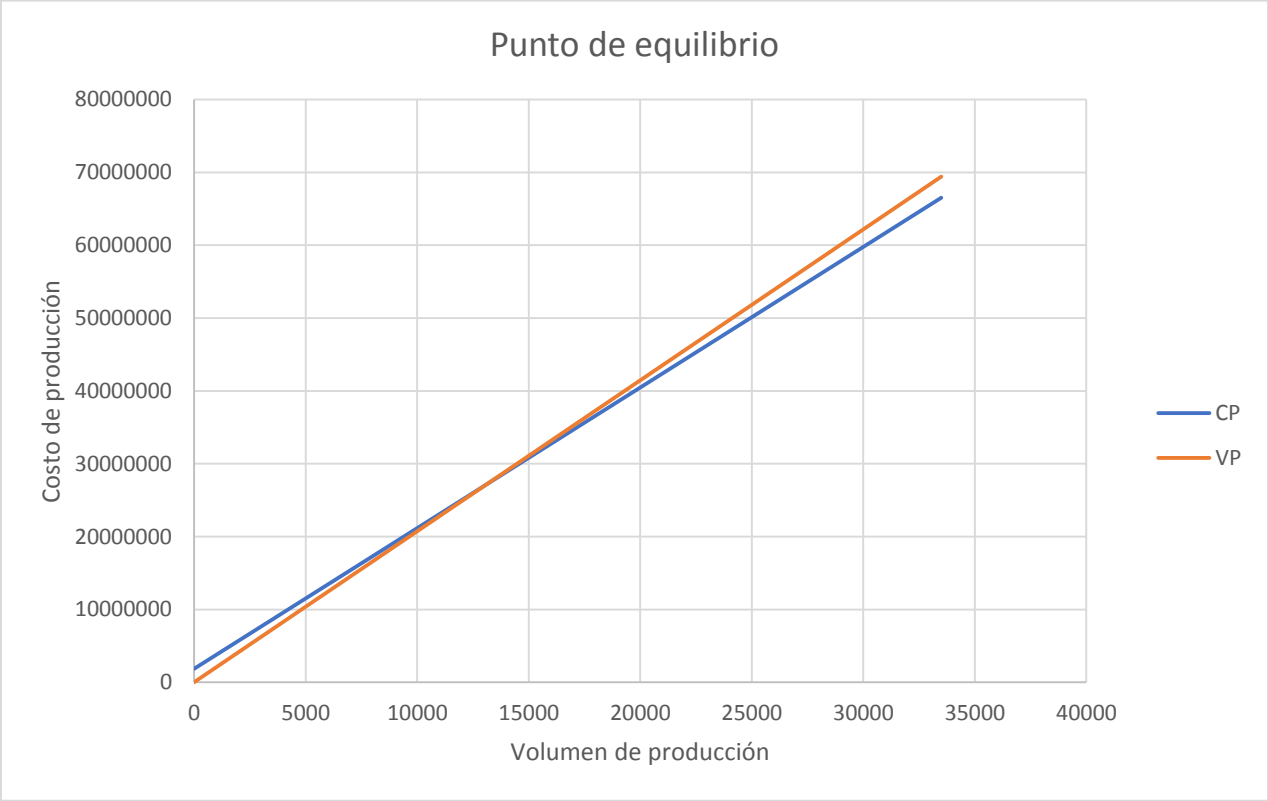
## Anexo 12- Lista de chequeo para la evaluación del entorno socio-económico

No	ENTORNO SOCIO-ECONÓMICO	Negativo	Positivo
1	Se archivan todos los informes, permisos y autorizaciones administrativas que rigen el funcionamiento de la industria.		X
2	Existen todos los contratos, por escrito y actualizados, de los gestores y transportistas externos.		X
3	Existe una amplia base de datos que permita a la Empresa evaluar sus resultados, y los documentos necesarios para confrontar el control de los resultados.		X
4	Existe un sistema, actualizado y escrito, y la documentación necesaria para una gestión correcta de las materias primas.		X
5	Existe un estudio de las condiciones del mercado donde se desarrolla la Empresa y resultados concretos.		X
6	Cuenta la instalación con registros de la calidad de las materias primas entregada por los proveedores.		X
7	Garantizan los proveedores la cantidad y calidad de las materias primas con la que trabaja la industria.	X	
8	Existe una correcta oferta-demanda del alimento producido por la industria.		X
9	Constituye la industria un sector de preferencia de la fuerza de trabajo del territorio.		X
10	Son estimulantes los salarios que ofrece la industria.	X	
11	Cuenta el territorio con ofertas laborales de mayor preferencia.		X

Fuente: Elaboración propia

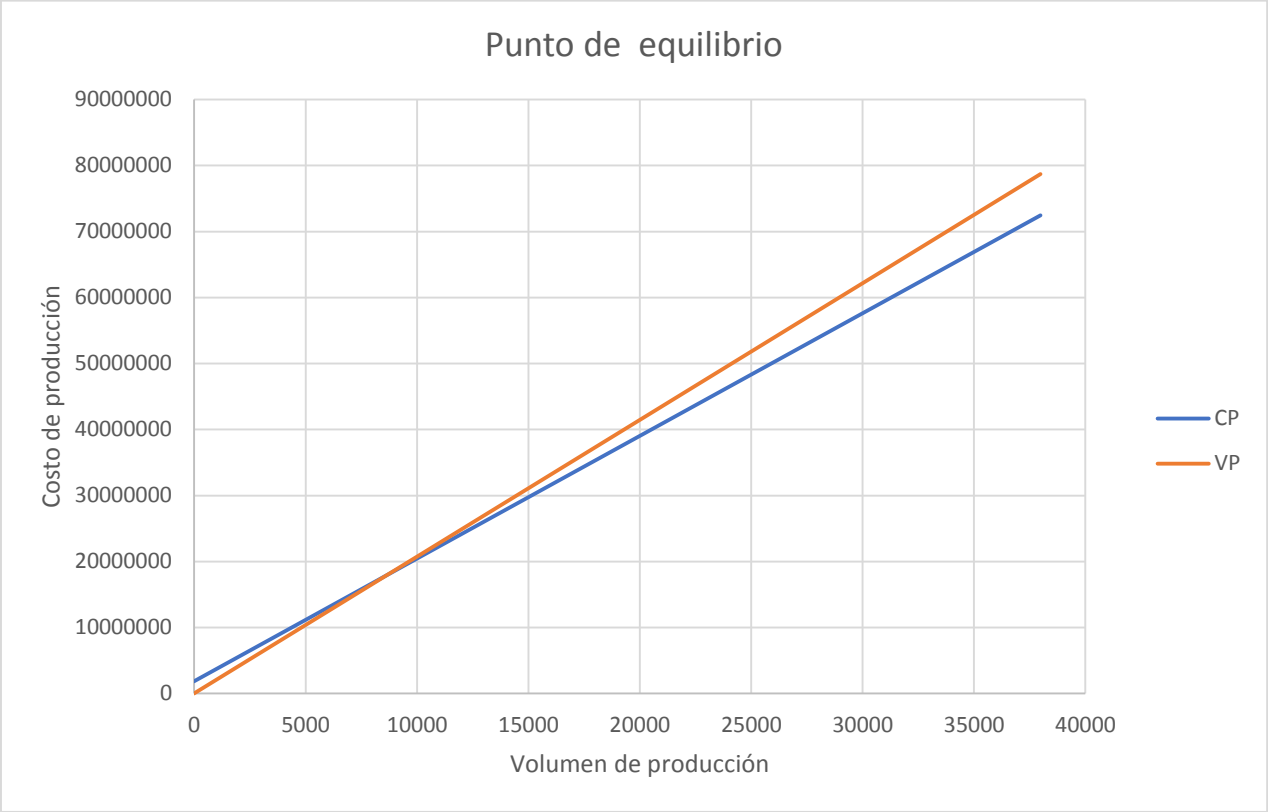


**Anexo 13-** Punto de equilibrio para el proceso de producción de azúcar crudo donde se viola la disciplina tecnológica



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 14-** Punto de equilibrio para el proceso de producción de azúcar crudo sin violar la disciplina tecnológica



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 15- Resultados de aplicación del FMEA en el calentador líquido-líquido

Elemento	Descripción del equipo	Modo de fallo	Forma de detección del fallo	Efecto de fallo	(O)	(D)	(S)	NPR	Acciones correctivas
Termómetro	Control de la temperatura del agua de imbibición	Termómetro fuera de calibración o averiado.	Formación de ceras en las masas de los molinos.	-Alta humedad del bagazo. -Proliferación de microorganismos patógenos.	5	8	4	160	-Verificar el estado del equipo. -Sustituir el instrumento.
Placas	Superficie de transferencia de calor	Formación de incrustaciones	Bajas temperaturas.	-Disminución de la transferencia de calor. -El producto provoca ETA. -Proliferación de microorganismos.	10	10	6	600	-Aplicarle un mantenimiento general al calentador. -Aplicar mantenimientos periódicos.

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 16- Resultados de aplicación del FMEA en la caldera

Elemento	Descripción del equipo	Modo de fallo	Forma de detección del fallo	Efecto de fallo	(O)	(D)	(S)	NPR	Acciones correctivas
Pre calentador	Superficie donde ocurre la transferencia de calor	Formación de incrustaciones.	Baja Transferencia de calor.	Disminución de la transferencia de calor. -Vapor con bajas propiedades termodinámicas.	8	8	4	256	-Aplicarle un mantenimiento general. -Sustituir la superficie de transferencia de calor. -Aplicar mantenimientos periódicos.
Tubos	Tubos donde ocurre la transferencia de calor	Formación de incrustaciones	Baja Transferencia de calor.	-Disminución de la transferencia de calor. -Vapor con bajas propiedades termodinámicas.	10	8	9	720	-Aplicarle un mantenimiento general. -Sustituir la superficie de transferencia de calor. -Aplicar mantenimientos periódicos.
Bomba agua de alimentación.	Bomba que impulsa el agua a evaporar.	Deficiencias en la bomba.	Flujo insuficiente de agua.	-Aumento del intercambio de calor. -explosión en la caldera	10	10	8	800	-Sustituir la bomba. -Darle mantenimiento a la existente.

Fuente: Elaboración propia