

Universidad de Matanzas

Sede "Camilo Cienfuegos"

Facultad de Ciencias Técnicas

Departamento de Química e Ingeniería Química

Análisis del comportamiento tecnológico de la zafra
2016-2017 en la UEB Central Azucarero "Rene Fraga"

Tesis presentada en opción del título de Ingeniero Químico.

Autor: Adonys Rojas Pérez

Tutor: MsC. Santiago Díaz Suárez.

Matanzas, Noviembre 2017

Nota de aceptación

Presidente del Tribunal

Tribunal

Tribunal

Declaración de Autoría

Yo, Adonys Rojas Pérez, declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Técnicas De la Universidad de Matanzas sede “Camilo Cienfuegos” para hacer uso del mismo como este estime conveniente.

Adonys Rojas Pérez

Pensamiento

“La preocupación por el hombre y su destino siempre debe constituir el interés principal de todos los esfuerzos técnicos, la preocupación por los grandes problemas no resueltos de la organización del trabajo y la distribución de los bienes, para que las creaciones de nuestra mente sean una bendición y no una calamidad para la humanidad. Nunca olvides esto en medio de tus diagramas y ecuaciones”.

Albert Einstein.

Agradecimientos

- ❖ A mi tutor, Santiago Díaz Suárez por su dedicación y ayuda en la elaboración de este trabajo de diploma.
- ❖ A mi madre y a toda la familia en general que siempre estuvieron conmigo ayudándome en todo lo que tuviera que ver con la superación en mi vida estudiantil.
- ❖ Quisiera agradecerles a todas aquellas personas que de una forma u otra me apoyaron a lo largo de mi carrera como estudiante y en el desarrollo de este trabajo de diploma.
- ❖ A todos mis compañeros por la ayuda que me ofrecieron.
- ❖ A todos los profesores que de una forma u otra tuvieron que ver con mi formación como ingeniero, y en la realización de este trabajo de diploma.

Resumen

Este trabajo se realiza en el Central Azucarero “Rene Fraga”, el mismo viene confrontando pérdidas y afectaciones generales en su proceso y no dispone de un análisis del comportamiento de sus variables de proceso, por lo que desarrolla una evaluación del comportamiento de las mismas. con vistas a determinar la calidad de la disciplina tecnológica, por lo que fueron procesados y analizados los principales parámetros operacionales del proceso mediante el software STATGRAFIC, además se usaron diferentes herramientas estadísticas, como son las pruebas de normalidad, las cartas de control y los análisis de regresión. Se obtuvo que varios indicadores dentro del proceso de producción como la Pol en bagazo, la Pol en cachaza y la pureza de la miel final están por encima de lo establecido, provocando una pérdida para la industria, por otra parte, se pudieron verificar que todos los parámetros controlados al producto final cumplen con las normas establecidas.

Summary

This work is carried out in the Sugar Company "René Fraga", the same one comes confronting losses and general affectations in its process and it doesn't have an analysis of the behavior of its process variables, for what develops an evaluation of the behavior of the same ones, with a view to determining the quality of the technological discipline, for this reason they were processed and analyzed the main operational parameters of the process by means of the software STATGRAFIC, and different statistical tools were also used, like they are the tests of normality, the control letters and the regression analyses. It was obtained that several indicators inside the production process like the Pol in trash and the Pol in phlegm are above that settled down, causing a loss for the industry, on the other hand, they could be verified that all the parameters controlled to the final product fulfill the established norms.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	Páginas
Introducción.	1
1 Análisis bibliográfico del tema de investigación.	3
1.1 Situación actual de la industria azucarera.	3
1.2 Eficiencia productiva.	6
1.2.1 Parámetros importantes en la industria.	13
1.3 Control de calidad en procesos.	18
1.4 Conclusiones parciales del capítulo.	24
2.1 Caracterización tecnológica del proceso.	26
2.1.1 Preparación de la caña y extracción del jugo en molienda.	26
2.1.2 Generación de vapor y electricidad.	27
2.1.3 Purificación.	27
2.1.3.1 Alcalización.	27
2.1.3.2 Clarificación del jugo.	28
2.1.3.3 Filtración.	28
2.1.4 Evaporación.	28
2.1.5 Cristalización.	29
2.1.6 Centrifugación.	30
2.1.7 Caracterización de las materias primas.	30
2.2. Materiales y métodos.	35
2.2.1 Metodología empleada para el análisis estadístico.	35
2.3 Conclusiones parciales del capítulo.	36
3 Análisis de los resultados obtenidos.	38
3.1 Área de extracción del jugo de la caña.	38
3.1.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de extracción.	38

3.1.2 Análisis de las variables tecnológicas del área de extracción.	39
3.1.3 Análisis de regresión de las variables tecnológicas del área de extracción.	49
3.2 Área de purificación.	51
3.2.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de purificación.	51
3.2.2 Análisis de las variables tecnológicas del área de purificación.	52
3.3 Área de evaporación.	61
3.3.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de evaporación.	61
3.3.2 Análisis de las variables tecnológicas del área de evaporación.	62
3.4 Área de cristalización.	66
3.4.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de cristalización.	66
3.4.2 Análisis de las variables tecnológicas del área de cristalización.	67
3.4.3 Análisis de regresión de las variables tecnológicas del área de cristalización.	75
3.5 Área de centrifugación.	76
3.5.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de centrifugación.	76
3.5.2 Análisis de las variables tecnológicas del área de centrifugación.	77
Conclusiones	89
Recomendaciones	90
Referencias bibliográficas	91
Anexos	95

Introducción

En los países de Iberoamérica se practica la producción de azúcar a partir de la caña o de la remolacha azucarera, siendo la caña de azúcar la planta que permite la mayor utilización agroindustrial de los principales componentes que la integran: fibra, agua y azúcares. En la región se destinan unos 8 000 millones de hectáreas para el cultivo de la caña de azúcar, alcanzando la producción de 450 millones de toneladas de caña anualmente. (Bazdream, 2004)

La industria azucarera ha constituido uno de los pilares fundamentales en el desarrollo de la economía de nuestro país, de ahí la importancia que presenta el tratamiento de esta temática para el impulso de la esfera agroindustrial. La esencia de las transformaciones que se están llevando a cabo en el sector azucarero cubano se basa en la disminución de los costos, el perfeccionamiento de la gestión empresarial y la diversificación de la producción, por lo que es objetivo trabajar por la excelencia en la calidad y diversidad del azúcar, en contacto permanente con clientes y compradores finales con el propósito de satisfacer sus necesidades con el mejor producto posible. Se inicia, además, el uso del bagazo y otros residuos como una fuente de energía alternativa, económica y saludable para la naturaleza con el fin de autoabastecerse energéticamente y entregar energía a la red nacional. (Pedraja, 1984)

Ante las nuevas exigencias del mercado nacional e internacional, la industria de la caña de azúcar está llamada a diversificarse, aún sin poder contar con cuantiosas inversiones, de ahí que el reordenamiento y reconversión de sus equipamientos sea necesario, toda vez que posibilite incrementar la disponibilidad de las instalaciones. (Morales, Gonzales, 2016)

La reanimación de la industria azucarera ha traído consigo cambios en la infraestructura de estas centrales y el “Rene Fraga” no se ha quedado atrás por lo que se han realizado diversos cambios en su equipamiento para mejorar su producción llevando a transformaciones dentro del proceso de producción azucarera.

No obstante, la calidad del proceso se considera insuficiente, y se confrontan dificultades que son necesarias acotar, por lo que se hace necesario conocer la influencia de ciertos parámetros en la eficiencia el proceso.

PROBLEMA:

¿Cómo determinar los parámetros que están afectando, con su comportamiento, la eficiencia de la UEB Central Azucarero “Rene Fraga”?

HIPÓTESIS:

Si se realiza un estudio estadístico de los principales parámetros se podrá conocer el comportamiento tecnológico y los principales incumplimientos en la producción de azúcar crudo en la zafra 2016-2017.

OBJETIVO GENERAL:

Analizar el comportamiento tecnológico del proceso de producción de azúcar crudo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Procesar y analizar estadísticamente los principales parámetros operacionales.
- Analizar los principales parámetros operacionales del proceso tecnológico en correspondencia con las normas establecidas
- Localizar las principales violaciones de la disciplina tecnológica.
- Analizar la influencia de los incumplimientos de las normas tecnológicas en las pérdidas y la calidad del proceso.

Capítulo 1

1 Análisis bibliográfico del tema de investigación

1.1 Situación actual de la industria azucarera

La mayor parte de la caña de azúcar producida a nivel mundial se consume internamente en los mismos países productores, quienes destinan el producto principalmente a las industrias de azúcar y alcohol. Los mayores consumidores de azúcar del mundo son típicamente también los mayores productores, siendo cinco países principales responsables del 59% de la producción de azúcar. Brasil es el mayor productor con el 21% de la producción mundial; como segundo y tercero se encuentran India y China, con una participación aproximada del 15% y 10%, respectivamente. (Gálvez, 2003)

La mayoría de los productores de azúcar, incluso Estados Unidos y países de la Unión Europea, protegen su mercado interno de azúcar de la competencia extranjera estableciendo políticas gubernamentales y reglamentos que afectan la producción, incluso con cuotas, restricciones de exportación, subsidios, tarifas e impuestos aduaneros. Como resultado de tales políticas, el precio del azúcar tiene bastantes variaciones de un país a otro. (Aguilar, 2010).

Según estadísticas de la Organización Internacional del Azúcar (OIA), la organización cuenta con 86 países miembros, que representan el 83 % de la elaboración del dulce, 69% del consumo mundial, 95% de las exportaciones y 47% de las importaciones. El 70% del azúcar del mundo se produce a partir de la caña de azúcar y el restante 30% de la remolacha. Los principales productores de azúcar son Argentina, Colombia, México, India, Guatemala, Unión Europea, China, Cuba, Estados Unidos, Tailandia, Brasil (principal), Australia, Pakistán y Rusia, que concentran el 75% de la producción mundial. (Comité de Evaluación del Mercado, 2009)

El azúcar de caña es uno de los mayores contribuyentes al producto interno bruto agrícola de los países en desarrollo para el consumo interno y el comercio internacional. La competitividad es un aspecto de vital importancia, ya que según

Aguilar Rivera, (2010) el mayor reto para la misma es la reducción de los costos de producción para ser más rentables en los mercados locales y regionales.

La crisis económica de los años noventa impactó desfavorablemente a la agroindustria azucarera cubana, a lo cual se suma una baja de los precios del azúcar en el mercado internacional en esos años, afectando la capacidad financiera del país. (Conferencia del Azúcar, 1999)

Con el avance del tiempo se han ampliado considerablemente las producciones de alcohol, azúcares con diferente calidad, miel enriquecida, biogás, alimento animal, levadura y otros productos obtenidos a partir de la caña de azúcar (Blackwell, 2002); lo cual se ve favorecido con el aumento actual del precio del azúcar y sus derivados en el mercado internacional, sin estar ajeno a esto nuestro país ha llevado a cabo la reanimación de esta industria. En las fábricas de azúcar se emplea actualmente el bagazo de la caña como combustible en las calderas que generan el vapor que necesitan las turbinas para el accionamiento de generadores, molinos, bombas centrífugas, ventiladores, entre otros y el vapor de escape se destina a los procesos de fabricación. Las presiones y temperaturas del vapor generado en estas calderas son relativamente bajas, pero suficientes para lograr un equilibrio energético entre fuerza motriz y vapor para procesos. Con calderas de presión y temperatura de vapor más altas y mejor rendimiento se puede accionar una turbina con un generador eléctrico de mayor potencia, que cubre las necesidades de la fábrica y queda un importante excedente que se podría vender sin que haya incremento de los costos. (Agüero, 2006)

Desde los años 60 Cuba dedicó gran atención al tema de los derivados de la caña. Por iniciativa del Comandante Che Guevara se fundó el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), para el desarrollo de nuevos productos y tecnologías en este campo, del cual surgieron posteriormente otras instituciones como la Unión Investigación - Producción Cuba, especializada en celulosa y papel de bagazo. (Nova, 2004)

La industria azucarera cubana en estos últimos años ha estado sumergida en un proceso de modernización, con el objetivo fundamental de aumentar la calidad de las producciones y lograr una disminución en los costos, buscando competitividad en un mercado abarrotado de azúcar de alta calidad. En esta estrategia el mayor peso lo lleva el aumento de la producción cañera y los trabajos en la calidad y los costos del azúcar, pero existen otras variantes como la diversificación de las producciones que puede llegar a ser una alternativa muy valiosa para lograr una mayor revalorización de la caña, además de una mejor y más variada oferta de surtidos en el mercado. (*The Economist* con el Gobierno de Cuba, 1999)

En general, los países productores han buscado la forma de disminuir los costos de producción mediante la optimización de la industria, y el perfeccionamiento y modernización de la producción de diferentes derivados, de los cuales los de la miel han sido los que con mayor fuerza han entrado al mercado, sobresaliendo los alcoholes, rones y aguardientes. En las condiciones cubanas, la diversificación azucarera responde a una estrategia puesta en práctica desde hace mucho tiempo. (Peña, 2009)

En Cuba, se realizaron pruebas usando centrífugas separadoras, con la intención de obtener una mayor recuperación de azúcar, menor cantidad de mieles a manipular, mayor capacidad de centrífugas, tachos y mayor calidad en el azúcar comercial y como resultado secundario ver las ventajas en la destilería y la posible recuperación y aprovechamiento del aconitato de calcio en la producción de ácido aconítico alcanzándose el objetivo propuesto, pero esto no fue generalizado. (Domínguez, Oroscó, 2001)

Como tendencia en los últimos tiempos en la industria azucarera se renuevan maquinarias agrícolas y medios de transporte; a la vez que incorporarán técnicas para reforzar la calidad del azúcar. Además se desarrollan variantes de inversiones tanto con capital extranjero como nacional, proceso que debe constituir una vía para que despegue la producción azucarera.

1.2 Eficiencia Productiva

En esta relación intervienen tres factores: las toneladas (t) de caña por hectárea (ha) sembrada (rendimiento cultural), el contenido de azúcar en la caña (rendimiento de caña) y la retención efectiva en el ingenio (rendimiento fabril). Así con los mayores rendimientos culturales los ingenios debieron adaptarse para poder procesar mayores volúmenes sin descuidar la eficiencia fabril. A través de los procesos de innovación tecnológica se buscó aumentar la *retención* del azúcar atacando las principales pérdidas de azúcar en el proceso: pérdidas en bagazo que se quema en calderas, pérdidas en la melaza (miel final que luego se utiliza en el proceso de fermentación para la obtención de alcohol), pérdidas indeterminadas y las pérdidas en cachaza. En este último caso se trata de reducir el contenido de azúcar que queda como remanente junto a los desechos separados durante el proceso de clarificación del jugo. (Sustaita, 2005)

Estos desechos son decantados y luego enviados normalmente a filtros rotativos al vacío donde se “lava” el residuo para extraer los restos de jugo que pudiera quedar ocluido, quedando una “torta” de cachaza remanente. Debido a los problemas de estos filtros muchos de estos equipos prácticamente nacidos con la industria, sumados a los volúmenes procesados cada vez mayores y a la falta de disponibilidad de transporte para acarrear este desecho se optaba tradicionalmente por re-diluirlo en agua y disponerla junto al resto de los efluentes industriales hacia los cauces de agua.

Ante esta situación algunos ingenios advirtieron la oportunidad que tenían de mejorar suelos y al mismo tiempo evitar contaminar, haciendo uso de la **fertirrigación**, los principales efluentes de la industria luego de los gases de combustión. La fertirrigación es uno de los medios agronómicos que más contribuye al aumento de la productividad y al desarrollo de las plantas. (Sustaita, 2005)

Los residuos utilizados adecuadamente producen beneficios al cultivo por su valor como agua de riego, disminuyendo los problemas por sequías. Además mejoran

las características agroquímicas del suelo, aumentan los rendimientos agrícolas y permiten ahorrar fertilizantes químicos, ya que los mismos tienen gran cantidad de nutrientes, materias orgánicas, y una alta relación Carbono/Nitrógeno, por lo cual pueden ser utilizados como fertilizantes de suelos. Además, desde el punto de vista medioambiental, el sistema de fertirriego es menos costoso que el tratamiento a partir de lagunas de estabilización. (Sustaita, 2005)

Según (Batule, 2009) la eficiencia del proceso de fabricación del azúcar se ve afectada por algunos no-azúcares, como los azúcares reductores, ceniza y polisacáridos, los cuales influyen en el recobrado de la sacarosa como azúcar comercial. Esos no-azúcares dependen de la calidad de la caña, la cual incluye los aspectos diferentes, tales como madurez, limpieza, frescura. Su medición a veces es tediosa y/o costosa. Se ha comprobado que el pH es un buen indicador del deterioro de la caña, la turbidez representa el contenido de tierra, y la conductividad directa está correlacionada con el contenido de hojas y cogollos. Esos simples indicadores nos sirven para darnos una idea de la calidad de la caña por tanto un buen indicador de calidad:

- Debe relacionarse muy de cerca al parámetro que se supone sea un indicador.
- No debe ser muy variable debido a que debe encadenarse con los parámetros restantes, tales como la variedad de la caña, factores agrícolas o sitio geográfico.
- Que se comporte con una variabilidad real en condiciones industriales y que responda a los parámetros encadenados.

Indicador de frescura.

La medición del pH, aunque no es muy sensitiva, las pruebas han demostrado, que el mismo está cercanamente relacionado a la demora en el corte, y no varía mucho en la caña fresca, el pH del jugo de prensa está en el 95% de los casos de caña cortada de 3 días entre 5.26 a 5.59. Se llegó a la conclusión que por cada 0.1 de disminución de pH se pierde un 5% de sacarosa en la caña en dicho periodo de cosecha. Aunque el pH puede presentar diferencias significativas

entre variedades y algunos otros parámetros se puede usar como un aviso si el mismo está por debajo de 5.0-5.1 lo cual es una sospecha de caña deteriorada.

Indicador de basura.

Se sabe que los cogollos y hojas tienen un alto contenido de cenizas. Como es muy estable en tiempo relacionada con la materia seca, la ceniza por conductividad es un indicador específico de la basura vegetal, diferentes de los azúcares reductores, los cuales son afectados por la caña deteriorada. Para una gran cantidad de muestras es mejor determinar la conductividad simple directa y aunque es menos precisa la medición es mucho más rápida ya que no se necesita la dilución.

Indicador del contenido de tierra.

La presencia de tierra se considera como un problema mayor que causa el desgaste y reduce el rendimiento del proceso de recobrado. También, puede ser una fuente de error para el pago de la caña basado en el jugo de la prensa, ya que el cálculo asume generalmente que todos los sólidos insolubles (fibra) están en la torta y que el jugo extraído se compone de una fase líquida pura, como quiera una masa significativa de partículas de tierra pueden irse con el jugo. El indicador original es la ceniza % caña determinada por incineración el cual es un método tedioso. Otra consecuencia de la tierra en la caña es la producción de un alto nivel de sólidos insolubles en el jugo, por lo cual surge la idea de usar la turbidez del jugo de prensa como un indicador fácil de determinar. Es solamente una medición de la densidad óptica a 900 nm v/s un blanco de agua. La turbidez se incrementa entre 10 - 16 unidades por cada 1% de tierra presente en la caña.

Según Batule (2009) las pérdidas que ocurren en el procesamiento del jugo hasta el azúcar se reportan como: cachaza, indeterminadas y pérdidas en miel final. La pureza de la miel final, es el factor primario que influye el recobrado de azúcar. Mientras más baja es la pureza de la miel final más baja es la pérdida en azúcar.

La pérdida de azúcar en la cachaza se refleja en el % de Pol en la cachaza. Esta cifra debe mantenerse lo más baja posible y normalmente entre 1-4%.

Las pérdidas indeterminadas, representan a pérdidas reales que ocurren durante el proceso las cuales no pueden ser relacionadas con un área específica. Ellas reflejan los errores en los pesos de los productos, análisis, arrastres, inversión química, térmica o bacteriológica, derrames de productos, fugas de productos en las bombas, y/o equipos, etc. Normalmente, la pérdida indeterminada no debe ser mayor que la pérdida en cachaza.

Las pérdidas en miel final, todos los procesos que toman parte en el cocimiento del azúcar se basan en la pureza. La pureza es el criterio más simple del agotamiento. Desgraciadamente, no es el mejor: una miel final con una pureza aparente de 36 puede estar bien agotada, mientras que otra de 33 puede ser el resultado de un trabajo defectuoso y podría haberse reducido fácilmente a 30. Sin embargo, a falta de un mejor criterio absoluto, se adoptó éste. El proceso de cocimientos se inicia con la meladura y se termina con las mieles finales de:

Tabla 1.2.1: Valores de agotamiento

Agotamiento malo	40.00%
Agotamiento mediocre	34.00%
Agotamiento bueno	31.00%
Agotamiento excelente	28.00%

Fuente: El control Químico y de Proceso en la Industria Azucarera

Pérdidas por formación de dextrana, el jugo extraído ofrece un medio ideal para la propagación de microorganismos que causan destrucción de sacarosa. (Ortiz, Marcos, 2007)

Cuando se procesa caña deteriorada o caña quemada atrasada, el desarrollo de la bacteria *Leuconostoc mesenteroides* es muy pronunciada tanto en los molinos, conductores de bagazo, coladores de jugo, tanques y canales de jugo, etc.

Esta bacteria destruye la sacarosa generando pérdidas económicas produciendo dextrana que es un polímero de consistencia gomosa que tiene la apariencia de los huevos de rana, generando también efectos perjudiciales al proceso de fabricación de azúcar. El jugo mezclado es un medio ideal para el crecimiento de muchos microorganismos, si bien sólo unos cuantos lo logran con éxito ya que el jugo tiene un Brix de 10 - 18°Bx, un pH de 5.0 - 5.6, abundantes sales orgánicas e inorgánicas, aminoácidos y otros nutrientes y una temperatura media entre 25 y 30°C. En este medio, el *Leuconostoc mesenteroides*, formador de dextrana, está especialmente adaptado para competir, si bien otros microorganismos microaerófilos catalasa-negativo crecen igualmente produciendo ácido, invertasa y dextrana. En algunos rodillos predominan los *Enterobacter* spp.; en otros son buenos competidores las levaduras productoras de alcohol. Afortunadamente la destrucción del azúcar por los microorganismos se reduce durante la fase de clarificación, que normalmente se lleva a cabo con rapidez, si bien, en ocasiones, se ve retrasada por paradas programadas o sin programar. (Ortiz, Marcos, 2007)

Pérdidas químicas de sacarosa, la descomposición química de la sacarosa incluye la descomposición térmica en productos acaramelados. Hay dos divisiones generales de las reacciones de descomposición química: las que se realizan bajo condiciones ácidas y las que lo hacen bajo condiciones básicas. El pH óptimo para la estabilidad de la, sacarosa se sitúa entre 8 y 8.5.

- Temperatura:

Sostienen que la temperatura a la que debe calentarse el guarapo no debe ser superior a unos 4°C más que el punto de ebullición de éste, con ello no se desperdiciará calor, ni se producirían compuestos químicos indebidos, que puedan formarse a mayores temperaturas. Sin embargo, es buena práctica elevar estos 4°C en la temperatura del guarapo, porque en esa forma al producirse el flasheo y quedar el guarapo a la presión atmosférica, ayuda a eliminar todo el aire que pudiera traer incluido, debido a bombeos, mezcla de cal y guarapo, etc. (Pedrosa, 1983 y Hugot, 1987)

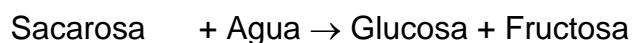
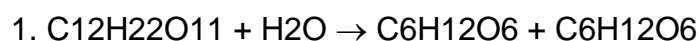
Los cambios en la temperatura afectan profundamente la viscosidad de las soluciones de azúcar, lo que disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura. Siendo ésta uno de los principales factores que influye sobre la velocidad de hidrólisis de la sacarosa en solución a dextrosa y levulosa (fructosa), o azúcar invertido, así como la descomposición de los azúcares reductores. (Honing, 1987)

- pH:

La sacarosa se descompone lentamente en solución alcalina. Los azúcares reductores, en particular la levulosa, se descomponen mucho más rápidamente.

El azúcar invertido es mucho más estable a un pH de más o menos 3. Al incrementarse el pH la velocidad de destrucción de inversión también aumenta, muchas de las reacciones dan por resultado la formación de ácidos, los que pueden reducir el pH hasta tal extensión que ocurre una inversión de la sacarosa.

Teniendo en mente el peligro de inversión a un bajo pH, y el de destrucción a un alto pH, evidentemente existe algún pH intermedio en el que puedan reducirse a un mínimo las pérdidas combinadas de las dos reacciones. (Honing, 1987)



2. $C_6H_{12}O_6 + R-NH_2 \rightarrow$ Amino-azúcares

Si un jugo es bajo en contenido de fosfato y de sesquióxidos puede ser ventajoso fijar el punto final de la alcalización a un pH 6.9 - 7.2 en el jugo clarificado. Sin embargo, si un jugo es alto en fosfatos y tiene una considerable cantidad de ácido silícico, estando bajo en no-azúcares proteínicos, puede ser recomendable alcalizar el jugo hasta un pH de 7.6 - 7.8 en el jugo clarificado. Vemos entonces que el pH óptimo está acondicionado por la composición del jugo de los molinos. (Martínez, Nemirovitch, 1985)

Sostiene, además que debe evitarse la excesiva alcalización a altas temperaturas, debido a que esto causa una destrucción de azúcares reductores, junto con una formación de productos de descomposición de ácidos y de sales solubles de cal, que llegan hasta el final del proceso, con las grandes formaciones de miel, color, y viscosidad de los productos a manipular. (Martínez, Nemirovitch, 1985)

Rendimiento: Por regla general se considera que el rendimiento significa el % de azúcar comercial producido por la caña, sin tener en cuenta la composición del azúcar, o sea, es el recíproco de toneladas de caña por tonelada de azúcar comercial. Debido al aumento de la mecanización en el campo, la caña de hoy en día no es la misma de antes. Cuando el rendimiento se expresa como toneladas de azúcar por tonelada de caña, la tendencia a la baja podría indicar la degradación de la caña; pero interpretando con mayor corrección, la cifra obtenida puede estar llevando a conclusiones erróneas debido al aumento de la materia extraña en la caña.

En la actualidad se acostumbra calcular el rendimiento con respecto al azúcar de 96° dividiendo el peso (libras, quintales, toneladas) de Pol en el azúcar realmente producido y en proceso entre 0.96. Esto es reconocidamente incorrecto, ya que no tiene en cuenta las purezas del azúcar realmente producido ni las del azúcar estándar de 96°.

El rendimiento debe ser mayor que el 10% si se persigue obtener un trabajo fabril eficiente. (Pedrosa, 1983; Honing, 1987; Hugot, 1987)

El factor de mieles (FM), es la relación entre el Pol perdido en las mieles y el no-azúcar que entra a la casa de cocimientos en el jugo diluido Este factor toma en cuenta el % de las mieles producidas y el contenido de Pol de las mismas en relación con la cantidad de no-azúcares que entra a la fábrica en el jugo diluido. Esto representa el peso (libras, quintales, toneladas) de Pol en las mieles finales por cada 100 partes en peso (libras, quintales, toneladas) de no-azúcar que entran a la casa de cocimientos. Cuanto menor sea el valor, mejor será el rendimiento, un valor bueno es 40. Las impurezas que salen con el azúcar no entran dentro del factor de mieles, y, por lo tanto, los valores son comparables solamente cuando se producen azúcares de la misma calidad. Obviamente, una fábrica que produzca azúcares con Pol de 97.5 producirá más mieles que otra que produzca azúcares con Pol de 96, en condiciones idénticas.

La relación azúcares reductores / ceniza o coeficiente glucósido, es uno de los criterios que se usa para juzgar el agotamiento de la miel final. Un porcentaje alto indica que es más fácil agotar las mieles La composición de los no-azúcares tiene una gran influencia sobre el grado de agotamiento de las mieles. Es bien conocido que tanto el contenido de azúcares reductores como de las cenizas influyen en la cantidad de azúcar que es posible recuperar. Los azúcares reductores disminuyen la solubilidad de la sacarosa y las cenizas la aumentan.

El recobrado, que se refiere a la cantidad de sacarosa que se obtiene como azúcar comercial, de la sacarosa que entró con la caña, es un excelente indicador de la eficiencia dentro del ingenio. (Rodríguez, 1997)

1.2.1 Parámetros importantes de la industria

Extracción

Según Batule (2009) la molienda debe garantizar excedentes de bagazo para otras producciones y electricidad para la venta a la red pública.

El jugo perdido % en fibra depende del número de molino y del propio contenido de fibra en caña entre un 12 y un 14%, esto se debe al fenómeno de reabsorción que ocurre cuando el colchón abandona el último molino que es el principal responsable de la máxima extracción en un tándem. (Hugot, 1987)

La extracción de jugo mezclado % en caña debe estar entre un 90 y un 95%, (Morrel, 1985)

En molinos bien ajustados y con una imbibición eficiente deben esperarse valores de Pol en bagazo entre 3 y 3.5% y aún inferiores, haciendo mínimas las pérdidas en bagazo. (Honing, 1987)

Según Carrazana (1975) la presión en el último molino debe garantizar una humedad en el bagazo algo inferior al 50% mientras que Hugot (1987), señala que el % de humedad debe ser de 40% y para molinos deficientes 50%

El Brix en el jugo mezclado debe encontrarse de 14 a 15°Bx. (Hugot, 1987)

El % de extracción de Pol planteado por Morrel (1985), oscila entre un 90 y 95%, pero mientras mayor sea, más beneficioso es para el proceso, pues significa más azúcar que se obtiene, lo cual indica un buen funcionamiento de la estación de molienda y permitiendo inferir que es adecuada la cantidad de agua de imbibición que se incorpora al proceso. Hugot (1987) plantea que la extracción depende de la fibra en caña, cuanto más elevada es la fibra hay más azúcar perdida en el bagazo.

Los valores de agua de imbibición % en caña deben estar entre un 25 y un 30% en caña, aún para valores altos de la fibra en caña. (Pedrosa, 1983)

La temperatura del agua de imbibición en sentido general debe estar entre 75 y 80 °C, lo cual facilita la extracción y evita el desarrollo microbiano y no debe sobrepasar los 85 °C para no provocar el derretimiento de las ceras de la caña y a su vez evitar que patinen las masas de los molinos. (Pedrosa, 1983; Posada, 1987)

Purificación

Los valores habituales de Pol en jugo mezclado deben variar cerca de 12.88%. (Hugot, 1987)

Para la alcalización, la lechada de cal debe ser preparada a 20°Be y luego disminuirse hasta 4°Be, valores por debajo al límite inferior significaría una incorporación de agua indeseable al proceso, por otra parte valores superiores de densidad pudieran afectar su bombeo, la formación de la suspensión con el jugo mezclado y el control del pH. (Clark, 1975)

Según Pedrosa (1983) y Hugot (1987) el pH óptimo para la estabilidad de la, sacarosa se sitúa entre 8 y 8.5, por otra parte El Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones (2010) plantea que la alcalización debe garantizar un pH estable en el rango de 0.4 unidades dentro del espectro de 7.5 a 8.1.

La temperatura a la que debe calentarse el guarapo no debe ser superior a unos 4 °C más que el punto de ebullición de éste alrededor de 103°C, con ello no se desperdiciará calor, ni se producirían compuestos químicos indebidos, que puedan formarse a mayores temperaturas. (Pedrosa, 1983 y Hugot, 1987)

Los valores habituales de Brix en el jugo clarificado se encuentran entre 14 y 18°Bx. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010)

La pureza del jugo clarificado debe encontrarse de 0.5 a 1.5 puntos por encima del mezclado dependiendo de la calidad del jugo en proceso. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010)

El pH del jugo clarificado debe encontrarse de 6.8 a 7 presentando una caída de 1 punto con respecto al alcalizado. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010)

Valores mayores a un 4% de cachaza % en caña resultan inadecuados, ya que representarían un aumento del volumen de esta corriente que no ocasiona otra cosa que pérdidas en el proceso. (Carrazana, 1974)

El valor del Brix del jugo filtrado depende de la cantidad de agua de lavado usada en el filtro, esta cantidad debe garantizar las menores pérdidas de sacarosa en cachaza, pero debe tenerse en cuenta usar la menor cantidad de agua de forma que no se provoque una demanda mayor de vapor para evaporar la misma y no se afecte el balance energético. (Díaz, 1999)

Los mejores valores de Pol en cachaza se encuentran cercanos a 1 % y dependen del tipo de filtro utilizado, de la cantidad de agua de lavado y de las características de la torta (Jenkins, 1971), otros investigadores plantean que los valores de Pol en cachaza para lograr pérdidas no sensibles en el proceso no deben ser superiores a 3.5%. (Martínez, Nemirovitch, 1985)

Evaporación

Según Morrel (1985), el jugo que entra a la etapa de evaporación debe tener entre 15 – 20 °Bx mientras que la salida debe estar entre 55 - 65 °Bx. Según Hugot (1987) el Brix de la meladura debe ser aproximadamente entre 60 - 68°Bx.

Los vasos del cuádruple deben trabajar a presión al vacío, estas condiciones permiten obtener las temperaturas de ebullición adecuadas y a su vez la evaporación del agua para obtener la concentración deseada, si estas presiones y

temperaturas no están en el rango aumenta el tiempo de retención, elevación el color y mayor consumo de vapor. (Morrel, 1985)

La pureza de la meladura debe ser de 86.1%, según (Honing, 1987), por otra parte (Rodríguez, 1997) y (Díaz, 1999) en su estudio de las mieles finales cubanas considera que la pureza de la meladura debe ser de 85% como valor mínimo.

Cristalización - Centrifugación

Según Herrero (1990) los °Bx de las masas cocidas A y B, están entre 93-94%, respectivamente.

Según Herrero (1990) las purezas de las masas cocidas A y B deben estar entre 78-80, 69-72%, respectivamente.

Según Herrero (1990) el °Bx de las mieles A, B y Final se encuentran entre 80-82, 80-82, 86-90%, respectivamente.

Según Herrero (1990) la pureza de las mieles A, B, C está en el rango de 60-65, 52-56, 30-35 % y según la norma del central la caída de pureza entre la masa cocida que dio origen y la miel obtenida debe ser de 10,18 y 35 %

El mercado mundial exige un contenido de Pol mayor que el 99% para el azúcar comercial. (Normas Cubanas - 85: 2011)

El color Horne debe presentar un valor máximo de 15 HC para cumplir los estándares de venta y distribución. (Enmienda, 2001)

La dextrana presente en la azúcar comercial no debe presentar un valor mayor a las 300 ppm. (Pérez, 2006)

El valor máximo de cenizas en la azúcar comercial para cumplir los estándares de venta y distribución debe ser de 0.20 %. (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, 1998*)

La humedad presente en la azúcar comercial no debe presentar un valor mayor a las 0.20%. (Normas Cubanas - 85: 2011)

El valor máximo de partículas Ferromagnéticas presentes en la azúcar comercial para cumplir los estándares de venta y distribución debe ser de 6 ppm. (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, 1998*)

El tamaño del grano debe presentar un valor mínimo de 60 % sobre malla20 para cumplir los estándares de venta y distribución. (Spencer, Meade, 1963)

El valor máximo de insolubles en la azúcar comercial para cumplir los estándares de venta y distribución debe ser de 0.04 %. (Normas Cubanas - 85: 2011)

Los azúcares reductores presente en la azúcar comercial no deben presentar un valor mayor a 0.30%. (*The Standard Laboratory Manual for Australian Sugar Mills, 1991*)

La pureza de una miel final debe ser de alrededor de los 39.5% para un sistema de dos masas cocidas. (Honing, 1987)

1.3 Control de calidad en procesos.

La calidad y el control de procesos están completamente imbricados en los procesos de producción químicos, biológicos, del gas y petróleo, vidrio y cemento, alimentación y bebidas, pasta y papel, tratamiento de aguas, acondicionamiento de aire, textiles, siderometalúrgicos, farmacéuticos, tenería, mineros, de generación de energía etc.(González, 2009)

El "Control de Procesos" enseña los métodos, herramientas, aparatos y tecnologías para medir estas variables en distintos puntos del proceso de fabricación, teniendo en cuenta sus condicionantes específicos como la naturaleza del producto, su estado, grado de peligrosidad, limitaciones (de espacio, distancia, accesibilidad, explosividad, radiactividad ...), límites de error aceptables para medir cada variable en cada punto del proceso, visualización de la medida, precios

relativos entre varias posibles soluciones, pros y contras de cada una de ellas, etc.(González ,2009)

La identificación y trazabilidad en el proceso se realizan a través de los registros del laboratorio y de cada área descritos en los procedimientos e instrucciones de trabajo. Los puntos de muestreo, frecuencia y ensayos realizados se definen en el esquema de control confeccionado por el laboratorio y el departamento de fabricación (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

El control de las operaciones del proceso se establece en el Manual de Procedimiento e Instrucciones para la operación. El alcance de este manual incluye desde la recepción de la materia prima hasta almacenamiento del azúcar. En este documento se especifican las responsabilidades para cada actividad, se regulan mediante procedimientos las operaciones que se realizan en las áreas y se establecen las actividades y su orden en cada puesto mediante instrucciones de trabajo. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010)

En estos procedimientos e instrucciones también se establece el uso de registros necesarios para el control de cada área. Durante el proceso se realizan ensayos en puntos del mismo y los resultados de estos ensayos son necesarias herramientas para el control y estabilidad del proceso, los procedimientos para la toma de muestras y los ensayos regulan esta actividad. Los resultados son sometidos a análisis estadísticos. La metodología para identificar, implantar y controlar la aplicación de técnicas estadísticas. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010)

Las principales herramientas estadísticas que se utilizan en el control son:

- Muestreo estadístico.
- Tormenta de ideas.

- Diagrama de causa y efecto.
- Prueba de Normalidad.
- Análisis de varianza.
- Análisis de sensibilidad
- Gráfico de control.

El muestreo estadístico según Jack (2003) es la técnica para la selección de una muestra a partir de una población.

Al elegir una muestra aleatoria se espera conseguir que sus propiedades sean extrapolables a la población. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un estudio de toda la población.

Cabe mencionar que para que el muestreo sea válido y se pueda realizar un estudio adecuado (que consienta no solo hacer estimaciones de la población sino estimar también los márgenes de error correspondientes a dichas estimaciones), debe cumplir ciertos requisitos. Nunca podremos estar enteramente seguros de que el resultado sea una muestra representativa, pero sí podemos actuar de manera que esta condición se alcance con una probabilidad alta.

En el muestreo, si el tamaño de la muestra es más pequeño que el tamaño de la población, se puede extraer dos o más muestras de la misma población. Al conjunto de muestras que se pueden obtener de la población se denomina espacio muestral. La variable que asocia a cada muestra su probabilidad de extracción, sigue la llamada distribución muestral.

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones: el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio (que incorpora el azar como recurso en el proceso de selección). Cuando este último cumple con la condición de que todos los elementos de la población tienen alguna oportunidad de ser escogidos

en la muestra, si la probabilidad correspondiente a cada sujeto de la población es conocida de antemano, recibe el nombre de muestreo probabilístico. Una muestra seleccionada por muestreo de juicio puede basarse en la experiencia de alguien con la población. Algunas veces una muestra de juicio se usa como guía o muestra tentativa para decidir cómo tomar una muestra aleatoria más adelante.

Muestreo aleatorio simple

Forman parte de este tipo de muestreo todos aquellos métodos para los que se puede calcular la probabilidad de extracción de cualquiera de las muestras posibles. Este conjunto de técnicas de muestreo es el más aconsejable, aunque en ocasiones no es posible optar por él.

Sin reposición de los elementos: Cada elemento extraído se descarta para la subsiguiente extracción.

Con reposición de los elementos: Las observaciones se realizan con remplazo de los individuos, de forma que la población es idéntica en todas las extracciones. En poblaciones muy grandes, la probabilidad de repetir una extracción es tan pequeña que el muestreo puede considerarse con reposición aunque, realmente, no lo sea.

Con reposición múltiple: En poblaciones muy grandes, la probabilidad de repetir una extracción es tan pequeña que el muestreo puede considerarse con reposición.

Para realizar este tipo de muestreo, y en determinadas situaciones, es muy útil la extracción de números aleatorios mediante ordenadores, calculadoras o tablas construidas al efecto.

Muestreo sistemático

Se utiliza cuando el universo o población es de gran tamaño, o ha de extenderse en el tiempo. Primero hay que identificar las unidades y relacionarlas con el

calendario (cuando proceda). Luego hay que calcular una constante, que se denomina coeficiente de elevación.

$$K = N/n$$

Donde N es el tamaño del universo y n el tamaño de la muestra.

Para determinar en qué fecha se producirá la primera extracción, hay que elegir al azar un número entre 1 y K; de ahí en adelante tomar uno de cada K a intervalos regulares. Ocasionalmente, es conveniente tener en cuenta la periodicidad del fenómeno.

Esto quiere decir que si tenemos un determinado número de personas que es la población (N) y queremos escoger de esa población un número más pequeño el cual es la muestra (n), dividimos el número de la población por el número de la muestra que queremos tomar y el resultado de esta operación será el intervalo, entonces escogemos un número al azar desde uno hasta el número del intervalo, y a partir de este número escogemos los demás siguiendo el orden.

Muestreo estratificado

Consiste en la división previa de la población de estudio en grupos o clases que se suponen homogéneos con respecto a alguna característica de las que se van a estudiar. A cada uno de estos estratos se le asignaría una cuota que determinaría el número de miembros del mismo que compondrán la muestra. Dentro de cada estrato se suele usar la técnica de muestreo sistemático, una de las técnicas de selección más usadas en la práctica.

La Tormenta de ideas, es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado.

Esta herramienta fue ideada en el año 1938 por Alex Faickney Osborn (fue denominada *brainstorming*), cuando su búsqueda de ideas creativas resultó en un

proceso interactivo de grupo no estructurado que generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente; dando oportunidad de hacer sugerencias sobre un determinado asunto y aprovechando la capacidad creativa de los participantes.

Numerosos estudios demuestran justamente lo contrario, que individualmente se generan más ideas que en grupo, por lo que la utilidad de esta técnica está en entredicho. Las conclusiones fueron obtenidas de 22 estudios de los cuales 18 corroboraron sus hipótesis. (Diehl, Stroebe, 1991)

Las Pruebas de normalidad según la NC 92-21 establecen las reglas para determinar los resultados anormales de un conjunto de observaciones de una variable aleatoria continua, cuya distribución probabilística sea normal. Resultado anormal: Dato grandemente desviado del grupo de resultados normales de las observaciones y que no pertenece a la distribución probabilística de esos resultados. En la determinación de los resultados anormales hay que analizar dos alternativas:

1. El resultado muy desviado fue obtenido bajo las mismas condiciones que el grupo restante de los resultados de las observaciones, perteneciendo a la misma población, pero la probabilidad de obtener resultados iguales o mayores (o menores) al mismo es pequeña. En este caso, el resultado a evaluar no hay que excluirlo y el cálculo de los estadígrafos seleccionados para estimar los parámetros de la población (media y desviación típica) debe efectuarse teniéndolo en cuenta.

2. El resultado muy desviado se obtuvo a consecuencia de la alteración de las condiciones normales de la investigación o de errores graves en la medición o en el cálculo. En este caso, el resultado que se evalúa del conjunto de observaciones no pertenece a la población de los resultados normales y por consiguiente el cálculo de los estadígrafos seleccionados para estimar los parámetros de la población debe efectuarse con el conjunto de datos, excluyendo el resultado anormal de las observaciones.

El análisis de varianza permite inferir si existen diferencias significativas entre más de dos muestras, es decir, si uno o más factores influyen significativamente sobre una variable, determinar cómo están relacionados entre sí y predecir la evolución del sistema según sean las circunstancias en que se vaya a desenvolver éste (García, 2013). Sin embargo Aracil (1995) al hablar de la dinámica de un sistema se refiere a que las distintas variables sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas.

Análisis de regresión la vía para llevar a cabo el enfoque sistémico en la modelación y simulación de los fenómenos es el análisis de regresión, que surge como una técnica que permite determinar qué elementos son los más significativos, determinar cómo están relacionados entre sí y predecir la evolución del sistema según sean las circunstancias en que se vaya a desenvolver éste (García, 2013). Sin embargo Aracil (1995) al hablar de la dinámica de un sistema se refiere a que las distintas variables sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas.

Las cartas de control o gráficos de control se definen como “una comparación gráfica – cronológica de una característica actual de la calidad del producto, con los límites que identifican su manufactura, de acuerdo a experiencias anteriores” (Jack, 2003).

Se trata de un gráfico, donde uno de sus ejes incluye la variable tiempo (gráfico cronológico), el otro eje se incluirá la variable que determina la calidad del producto (característica de la calidad del producto). El gráfico debe poseer límites o fronteras que indican si el producto posee o no calidad, según la zona es que se ubique la variable (con los límites que identifican la posibilidad de su manufactura). Finalmente, el gráfico se construye con datos históricos de la variable y determina la calidad del producto (experiencias anteriores).

1.4 Conclusiones parciales del capítulo

Con la realización de esta búsqueda bibliográfica se ha arribado a las siguientes conclusiones:

1. En el último siglo la industria azucarera ha tendido a diversificar sus producciones extendiéndose a la elaboración de diversos subproductos como energía, alcohol y derivados del bagazo y las mieles.
2. Se han detectado las principales pérdidas dentro de la industria, las cuales son pérdidas en cachaza, indeterminadas, en miel final, por formación de dextrana y pérdidas químicas.
3. Se han reunido las normas de calidad del proceso y las principales regulaciones de algunos parámetros dentro de este.
4. Para el análisis de disciplina tecnológica se empleará el paquete estadístico STATGRAFHICS, mediante la realización de pruebas de normalidad, cartas de control, análisis de varianza y análisis de regresión. Para el estudio de calidad en las etapas se realizará una comparación con las normas de la industria y la opinión de los especialistas en el tema.

Capítulo 2

2.1 Caracterización tecnológica del proceso.

En el proceso se transforma la materia prima (caña), sufriendo un cambio en su estructura por la acción de agentes externos. Su objetivo principal es separar la sacarosa de la caña y transformarla en azúcar para su comercialización.

2.1.1 Preparación de la caña y extracción del jugo en molienda.

La materia prima llega al ingenio por dos vías: tiro directo (camiones) y vagones de ferrocarril, dejándola caer en el basculador donde se pesa y se toma una muestra para determinar la calidad de esta. Se fracciona la caña en partículas más pequeñas, por la acción de cuchillas picadoras o de desfibradoras, denominándose este primer proceso preparación. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

Las cañas preparadas por las picadoras llegan a un tándem de molinos sometiendo la caña a compresiones sucesivas en molinos de tres mazas o cilindros, donde se extrae el jugo modificando la estructura de la caña hasta lograr una ruptura de las células que contienen el jugo posibilitando que el proceso de extracción logre una separación lo más completa posible de la fracción molida (fibra) y la líquida (jugo). La instalación cuenta con cuatro molinos, donde ocurre la extracción del jugo.

Para lograr una extracción hasta un 95 o 96% del azúcar contenido originalmente en la caña se añade en el proceso agua de imbibición. Se obtiene a partir de aquí el jugo mezclado y como subproducto el bagazo, el cual subsiguientemente servirá como combustible. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.2 Generación de vapor y electricidad.

La generación de vapor se produce en los Hornos o Calderas, a partir de bagazo final como combustible en las tres calderas presentes en la instalación. Este es un proceso en el que se genera vapor de alta presión para ser aprovechado en los turbogeneradores. El vapor de escape es aprovechado en la alimentación de los calentadores y en los evaporadores. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.3 Purificación

El jugo de caña diluido con agua de imbibición posee algunas impurezas propias que están disueltas, principalmente bagacillo. Este jugo es ácido por lo que es necesario someterlo al proceso de purificación para neutralizar el pH, provocar la reacción de los fosfatos del jugo para que precipiten como fosfato de calcio, posibilitar la eliminación de ciertas sustancias propias del jugo, como los aminoácidos y eliminar las materias en suspensión.

2.1.3.1 Alcalización

En el tanque de alcalización se mezcla una disolución de agua y $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (lechada de cal) que se prepara en la calera y se añade para neutralizar la acidez del jugo que tiene un pH entre 3,5 - 6 y es necesario llevarlo a pH de 8 ya que durante el proceso de clarificación este se neutraliza. Luego se calienta a 102°C mediante un sistema de calentadores que trabajan con diferentes vapores, así completa la reacción entre la lechada de cal y los fosfatos presentes en el jugo. Este ingenio está compuesto por cuatro calentadores de los cuales funcionan tres y uno alternadamente esta de mantenimiento.

Después de haber calentado el jugo pasa al tanque flash para eliminar gases incondensables y uniformar la temperatura de este a 100°C que es la temperatura óptima que debe entrar al clarificador. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.3.2 Clarificación del jugo

El proceso de clarificación del jugo se produce mediante la sedimentación de los sólidos no solubles como bagacillo, tierra y otras impurezas; asistido por un aditivo que favorece la formación de coágulos que van decantando y depositándose en el fondo del equipo hasta un nivel útil de acumulación. El jugo claro rebosa por la parte superior del equipo dirigiéndose a un filtro para eliminar las partículas que pueden haber quedado en este, estando listo para dirigirse hacia el área de evaporación. El lodo sedimentado contiene un % de sacarosa que será recuperada en los filtros rotatorios de vacío. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.3.3 Filtración

Mediante la filtración al vacío se separa el jugo contenido en la cachaza, para ello se mezcla el lodo proveniente del clarificador con bagacillo actuando como medio filtrante. En estos filtros se separa el jugo de la cachaza contenida en el lodo. A fin de aprovechar el contenido de sacarosa del jugo filtrado, se incorpora nuevamente al tanque de alcalización. En este proceso se obtiene como producto el jugo filtrado y la cachaza como residual, esta puede ser utilizada como fertilizante. El resultado de este proceso es la separación sólido - líquido. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.4 Evaporación

Una vez concluido el proceso de separación del bagazo, y otras impurezas en el proceso de clarificación, es necesario eliminar el contenido de agua mediante la evaporación. El jugo entra a la línea de evaporación con un contenido de agua de 84 - 86%, y de 14 - 16°Brix, y sale con una mayor concentración y se denomina meladura, conteniendo de 30 - 35 % de agua y de 65 - 70°Brix, evaporándose del 70 - 75% del agua total del jugo. Para este proceso se utiliza un equipo pre-evaporador de dos vasos conectados en paralelo (simple efecto), y posteriormente

un equipo de cuádruple efecto (múltiple efecto), cada línea de evaporación está provista de instrumentación y equipos de control.

El equipo pre-evaporador es alimentado con vapor de escape de los turbo-generadores, que entra al equipo por la calandria, la cual está compuesta por dos placas perforadas por las cuales pasan tubos por donde fluye el jugo, este absorbe el calor del vapor que circula por el exterior de los tubos, de esta forma se calienta el jugo y evapora parte del contenido de agua, el vapor resultante de la pre-evaporación es aprovechado en la alimentación del equipo de cuádruple efecto al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. Al comenzar la ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así un menor punto de ebullición en cada evaporador.

La instalación cuenta con un condensador al cual se le suministra agua por la parte superior y por la parte inferior asciende el vapor vegetal producto de la evaporación en los vasos. Este se condensa al entrar en contacto con el agua; estos componentes en estado gaseoso ocupan un mayor volumen que en estado líquido por lo cual al condensarse se va generando un diferencial de presión de vacío. El vapor se condensa y esta agua producida es el agua de imbibición que se utiliza en los molinos. El vacío permite que se pueda evaporar agua con menos gasto de energía. Al cuarto vaso del equipo de cuádruple efecto es al que le llega un mayor vacío y por el principio de vasos comunicantes se transmite al resto de los vasos. Los gases incondensables que quedan en el condensador son extraídos por las bombas de succión. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.5 Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío (26" de Hg) de un solo efecto que funcionan con el vapor proveniente de los evaporadores. Estos al trabajar con el vacío, proveniente del condensador, evaporan el agua a menor temperatura y evitan así la caramelización del azúcar. El material

resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de dos masas cosidas, mediante la preparación de cuatro masas de segunda para lograr la mayor concentración de sacarosa. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.6 Centrifugación

El objetivo es separar los cristales de azúcar (producto) y la miel, que en su conjunto constituyen la masa cocida. La miel será usada en nuevas cristalizaciones o almacenada como subproducto (miel final).

El área recibe la masa cocida de los tachos, la acondiciona en los mezcladores para posteriormente someterla a un proceso de centrifugación para separar los granos de azúcar producidos de su miel madre.

En el caso de las masas comerciales esta separación produce un azúcar de más de 98.0 % de pureza y grano con suficiente tamaño, alrededor de 0.60 y 0.80 mm para que se comercialice; en tanto para el caso de las de agotamiento la azúcar centrifugada se retorna como grano hacia los tachos, pues su tamaño del orden de los 0.20 a 0.40 mm y su pureza inferior al 90.0 % no permiten su comercialización.

Las centrífugas retornan hacia los tachos miel A, libres de granos para continuar su proceso de agotamiento escalonado. También y como producto agotado las miele final que con este sistema sería la B hacia los tanques de almacenamiento o hacia otras plantas de producciones derivadas. (Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones, 2010).

2.1.7 Caracterización de las materias primas

La materia prima para la fabricación de azúcar cruda es la caña de azúcar; es la especie *Saccharum Officinarum*. La caña de azúcar se cultiva mucho en zonas calurosas y húmedas de todo el mundo por el azúcar que contiene en los tallos,

formados por numerosos nudos. La caña alcanza entre 2 y 5 m de altura y entre 2 y 5 cm de diámetro.

La calidad de la materia prima es fundamental, puesto que ella condiciona en gran medida el resultado de la industria; aunque si ella no está organizada y operada adecuadamente puede ocurrir que la cuantía de las pérdidas, aún en buenas condiciones de materia prima sea tal, que reduzca las utilidades al extremo de hacer irrentable la producción. De ahí la importancia de alcanzar altos niveles de eficiencia industrial a fin de poder retener en forma de azúcar la mayor cantidad de sólidos presentes en la caña.

La materia prima ha de satisfacer un conjunto de requisitos mínimos de calidad para que la industria al procesarla adecuadamente, sea capaz de desarrollar una producción estable de calidad. Para los tecnólogos la calidad de la caña se resume en los siguientes aspectos:

- ✓ Contenido de azúcar.
- ✓ Presencia de materias extrañas.
- ✓ Tiempo de corte a molienda en caña verde.
- ✓ Tiempo de quema a molienda en caña quemada.

Medidos todos a la entrada del ingenio, es decir en el basculador, esta valoración ofrece una idea muy real del potencial azucarero de la caña que procesa la industria. En la Industria Azucarera Cubana como en el resto de los países cañeros se evalúa este potencial a partir del análisis del jugo de la primera extracción y se denomina genéricamente azúcar recuperable.

Mediante cruces y trabajos genéticos se obtienen diferentes variedades de caña, en estos trabajos se busca obtener variedades que sean ante todo productoras de azúcar y además que sean resistentes a las enfermedades, que sus jugos sean de fácil clarificación y que su contenido de fibra sea aproximadamente igual al de su Pol, para así satisfacer las demandas de calidad de la industria. Otros aspectos

de importancia en las variedades de caña son los relativos a su edad para ser cortada y el ciclo de siembra, cultivo y cosecha. La organización de las variedades y sus cepas en un área de abastecimiento de caña para el ingenio debe mantener la curva de rendimiento en su segmento óptimo en el período en que se enmarca la zafra, que en Cuba normalmente se estima entre los meses de noviembre y mayo.

La materia prima que se procesa en los ingenios está constituida por una mezcla de tallos sanos y limpios de la caña y por materias extrañas. La materia extraña incide sobre los costos de producción, no sólo por lo que daña a la eficiencia industrial, sino por lo que determina en el encarecimiento del corte, tiro, alza y transportación. Por esa razón se admite en la casi totalidad del mundo cañero un límite máximo del orden del 3% al 5 %.

La materia extraña generalmente se compone de cogollos, tallos deteriorados, hojas secas y verdes, tierra, piedra y otros objetos. Se puede confirmar que por cada 1% de materia extraña entrada al central se pierden 1.5 Kg. de azúcar por tonelada de caña procesada.

Otros materiales empleados en el proceso.

La industria azucarera de caña operó por mucho tiempo empleando como único producto químico al hidrato de cal, posteriormente y ante la necesidad de mejorar la clarificación se agregó algunos floculantes de origen natural y más tarde fueron sustituidos por los sintéticos.

Hidrato de Cal.

La calidad de la cal y el control de su dosificación revisten, en general, mayor importancia de la que se cree para el proceso, y no solo porque determina los resultados de la purificación sino también porque puede introducir impurezas adicionales al jugo que incrementan las incrustaciones y disminuyen la eficiencia del proceso tecnológico en general.

La cal hidratada es el producto químico que se agrega al jugo en el rango de 500 a 650 gramo por toneladas de caña molida. En cualquiera de las formas de empleo esta debe cumplir con un nivel de calidad en correspondencia con su uso en el proceso.

Para que las instalaciones de preparación de lechada de cal operen eficientemente y suministren esta con el flujo y densidad apropiados para el proceso, deben cumplir con algunos requerimientos mínimos.

La cal hidratada constituye un polvo fino blanco con las siguientes especificaciones:

Tabla 2.2.1: Especificaciones de la cal hidratada.

Oxido de magnesio (máximo)	70%
Oxido de magnesio (máximo)	2.5%
Insolubilidad al ácido clorhídrico	1.5%
Humedad (máximo)	2.0%
Sílice en forma de óxido (máximo)	2.0%

Fuente: Manual de Operaciones

Cristal 600

En la preparación del Cristal-600, se deben utilizar 1 - 2 kg de azúcar por cada 1000 ft^3 (28.3 m^3) de masa cocida a obtener. La cantidad exacta se determina por experiencia del personal del obrero y esta cristalización es la que permita obtener la masa cocida C con un rendimiento en cristales de 40 - 45% y un tamaño en el

grano entre 0.25 y 0.35 mm. Por cada kilogramo de azúcar se utiliza 316 ml de agua (que corresponde a 76°Bx) y 2.632 ml de alcohol etílico.

Floculantes

Los floculantes son productos que añadidos a una suspensión intervienen en la formación de flóculos y contribuyen de esta manera a su separación. En general son sustancias de alto peso molecular, solubles en agua, que pueden ser de origen natural o sintético.

El floculante se utiliza para obtener una sedimentación rápida, para evitar revolturas o corregir problemas de cachazas flojas. En los ingenios se utiliza principalmente los floculantes sintéticos, cuyo valor es algo costoso de ahí su correcta dosificación, su aplicación debe ser en forma diluida entre un 0.05% y 0.10% en peso para que este sea efectivo.

Ácido Fosfórico

La necesidad de la presencia de fosfatos durante los procesos de purificación de los fluidos azucareros es algo que escapa a cualquier posibilidad de dudas. La formación de diferentes formas de fosfatos de calcio constituye la base de los núcleos de los flóculos imprescindibles para que ocurra la purificación, especialmente en el jugo de caña. Los jugos con más elevado contenido de estos compuestos clarifican mucho mejor que aquellos cuyos contenidos en estas especies químicas son menores.

Para obtener una buena clarificación se ha comprobado que el contenido de fosfatos (P_2O_5) en el jugo debe ser superior a 300 – 350 ppm.

El ácido fosfórico puede adicionarse al jugo mezclado en concentraciones entre 50 y 85%, en dependencia del producto original de que se disponga y del contenido de P_2O_5 en el jugo. Aunque se prefiere una concentración del 70% que pudiera ser preparada en el laboratorio de control analítico del ingenio.

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Metodología empleada para el análisis estadístico.

La probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado varios autores, (Himmenblau, 1978; Todinov, 2005; Abaurrea, 2004; Yañez, 2004; Rosa, 1996) explican lo difícil de estimar la fiabilidad a partir de los datos promedios históricos, debido a que la razón de fallo, dependen mucho de las condiciones de operación, particularmente la temperatura, presión, composición y las propiedades del fluido

Los resultados experimentales se caracterizan estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas en los valores obtenidos de cada variable, utilizando para ello el paquete estadístico *STATGRAFHICS*.

En la caracterización estadística se tienen en cuenta los siguientes parámetros estadísticos: media, varianza, desviación estadística y coeficiente de variación, el valor de este último define si los datos están bien agrupados alrededor de la media de la muestra, es decir, si la media es representativa de la muestra, siguiendo para ello el criterio:

- **Prueba de Normalidad.**

Se realiza con el objetivo de saber si los resultados obtenidos poseen una distribución normal y si se encuentran agrupados alrededor de la media. (Guerra, J; Sevilla, E, 1985)

Las Pruebas de normalidad según la NC 92-21 establecen las reglas para determinar los resultados anormales de un conjunto de observaciones de una variable aleatoria continua, cuya distribución probabilística sea normal. Resultado anormal: Dato grandemente desviado del grupo de resultados normales de las

observaciones y que no pertenece a la distribución probabilística de esos resultados. En la determinación de los resultados anormales hay que analizar dos alternativas que se explican en el primer capítulo de este trabajo.

El criterio que permite definir si los resultados obtenidos pueden ser procesados estadísticamente por cualquier método conocido se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.2.2: Criterios para determinar el grado de dispersión de una muestra.

Criterios de valoración	Grado de dispersión
Menor que 4	Excelente dispersión
Entre 4 y 8	Pequeña dispersión
Entre 8 y 12	Dispersión aceptable
Mayor que 12	Dispersión grande

Fuente: Introducción al análisis químico para procesos.

- **Carta de control.**

Las cartas de control o gráficos de control se definen como “una comparación gráfica – cronológica de una característica actual de la calidad del producto, con los límites que identifican su manufactura, de acuerdo a experiencias anteriores” (Jack, 2003). La mismas se emplean en este estudio para definir si los procesos están bajo control o no . Sus características pueden ser encontradas en el primer capítulo.

- **Análisis de regresión**

El análisis de regresión permite inferir si existen diferencias significativas entre dos o más de dos muestras, es decir, si uno o más factores influyen significativamente sobre una variable, determinar cómo están relacionados entre sí y predecir la evolución del sistema según sean las circunstancias en que se vaya a desenvolver éste (García, 2013).

2.3 Conclusiones parciales del capítulo

Con la realización de esta búsqueda bibliográfica se ha arribado a las siguientes conclusiones:

1. Se describen los materiales empleados en la industria y los métodos empleados para el análisis estadístico y de calidad de las variables.
2. Para el análisis de disciplina tecnológica se empleará el paquete estadístico *STATGRAPHICS* que contiene las herramientas a emplear, mediante la realización de pruebas de normalidad, cartas de control y análisis de regresión.
3. Para el estudio de calidad en las etapas se realizará una comparación con las normas de la industria y la opinión de los especialistas en el tema.

Capítulo 3

3 Análisis de los resultados obtenidos.

En este capítulo se muestran y comentan los resultados obtenidos en los procesamientos estadísticos de las variables tecnológicas vinculadas con el proceso. Su análisis se efectúa por áreas atendiendo al orden de las mismas en el proceso.

3.1 Área de extracción del jugo de la caña.

3.1.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de extracción.

Tabla 3.1 Parámetros estadísticos del área.

	Caña molidada	Agua imb	Bx. Jm	Pza. Jm	Hum. bagazo	Pol bagazo	P. ult. molino
Media	2348.43	414.08	14.61	80.70	48.93	2.16	2420.58
Varianza	133306	9307.70	0.10	0.27	0.09	0.00	9596.25
Des. Estándar	365.11	93.37	0.32	0.39	0.24	0.06	104.11
Mínimo	1555.46	197.19	13.85	79.93	48.26	2.07	2248.69
Máximo	2897.76	566.13	15.38	81.54	49.44	2.25	2603.75
Asimetría	-1.32	-1.52	0.27	0.23	-1.17	0.49	0.49

Kurtosis	0.05	0.23	1.63	-1.29	0.29	-0.97	0.49
Coef. Variación	15.55	22.92	2.22	0.64	0.61	2.53	4.04

Fuente: *STARGRAFIC*

En la tabla anterior se muestran los resúmenes estadísticos para las variables del área de extracción. Incluye los valores de tendencia central, de variabilidad, y de desviación estándar. De interés particular aquí está la asimetría y kurtosis estandarizada que pueden usarse para determinar si la muestra viene de una distribución normal. Si los valores de estas estadísticas estuvieran fuera del rango de -2 a +2 indican que no presenta una distribución normal y tendería a invalidar cualquier prueba estadística. En este caso, el valor asimetría estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor de la kurtosis estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

3.1.2 Análisis de las variables tecnológicas del área de extracción.

Para efectuar el análisis de estas variables del proceso se usan combinadamente los resultados de las técnicas estadísticas, los valores de las normas del proceso y los criterios de los diferentes especialistas. De esta manera el autor de este trabajo puede emitir su criterio acerca del cumplimiento de la disciplina tecnológica.

3.1.2.1 Análisis de la caña molida.

A continuación se muestra las cartas de control para la variable mencionada.

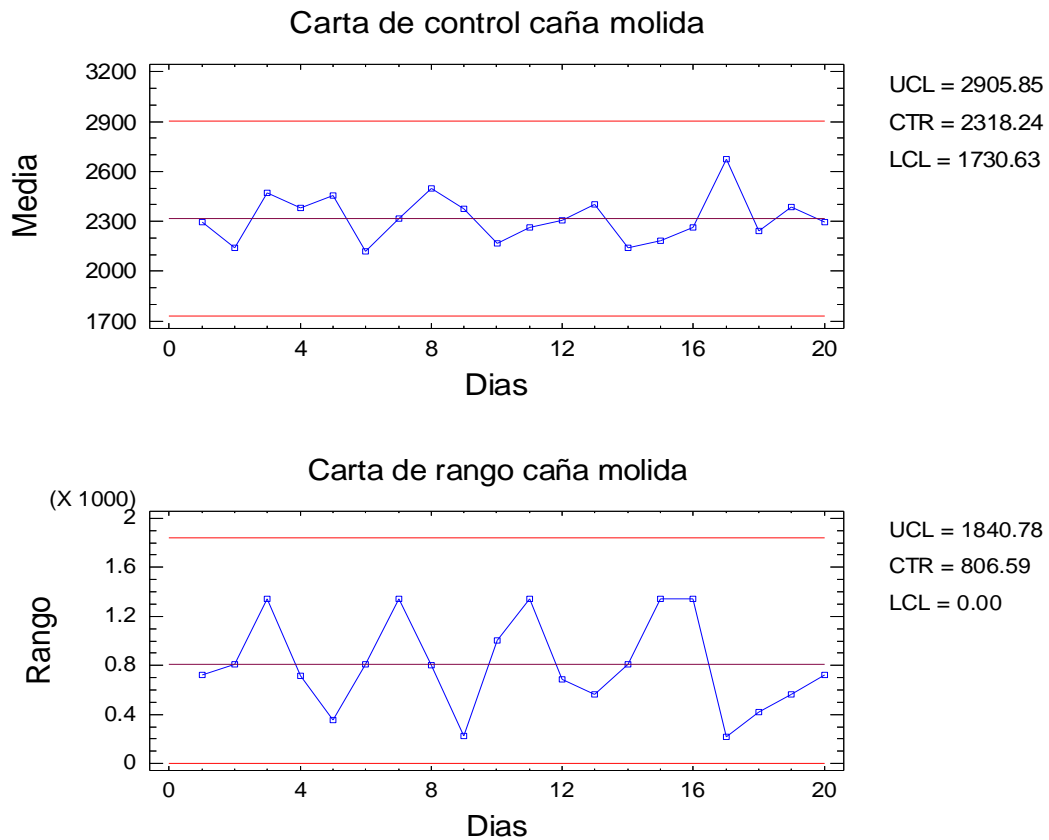


Fig. 3.1 Cartas de control de media y rango para la caña molida.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen de una distribución normal con una media igual a 2348.43 t/d y una desviación estándar igual a 365.11 t/d, evidenciando inestabilidad en la molida. Estos valores se calcularon de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites, en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0, si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente se muestra en la primera carta que la variable se mueve dentro de los límites permisibles para que esta tenga un comportamiento normal, mientras que la segunda se puede observar que la variación en los puntos muestreados no es significativa, ratificándose la estabilidad del proceso.

Resulta importante señalar que la norma potencial de este central es de 3000 t/d y que la norma operacional es de 2100 t/d, de manera tal que la media de esta variable se encuentra entre ambas normas, pero más próxima a la norma operacional que solo representa el 70 % de la norma potencial, lo cual se considera bajo con respecto a las potencialidades de molienda, esto nos indica que el valor medio de esta variable no satisface el criterio de moler alto, pues solo representa el 78% de la norma potencial. Por otra parte, sí se puede asegurar que el proceso es estable en cuanto al índice de molienda. De cualquier forma el criterio de moler alto y estable para no afectar el resto del proceso solo se cumple parcialmente. Es de esperar que por esta razón para un proceso discontinuo de producción no se disponga de la cantidad de bagazo necesaria para la producción de vapor requerida en las estaciones de evaporación y calentamiento, afectando los resultados de las mismas, esto se corresponde con los criterios de Batule, 2009.

3.1.2.2 Análisis del agua de imbibición.

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada muestran los siguientes resultados.

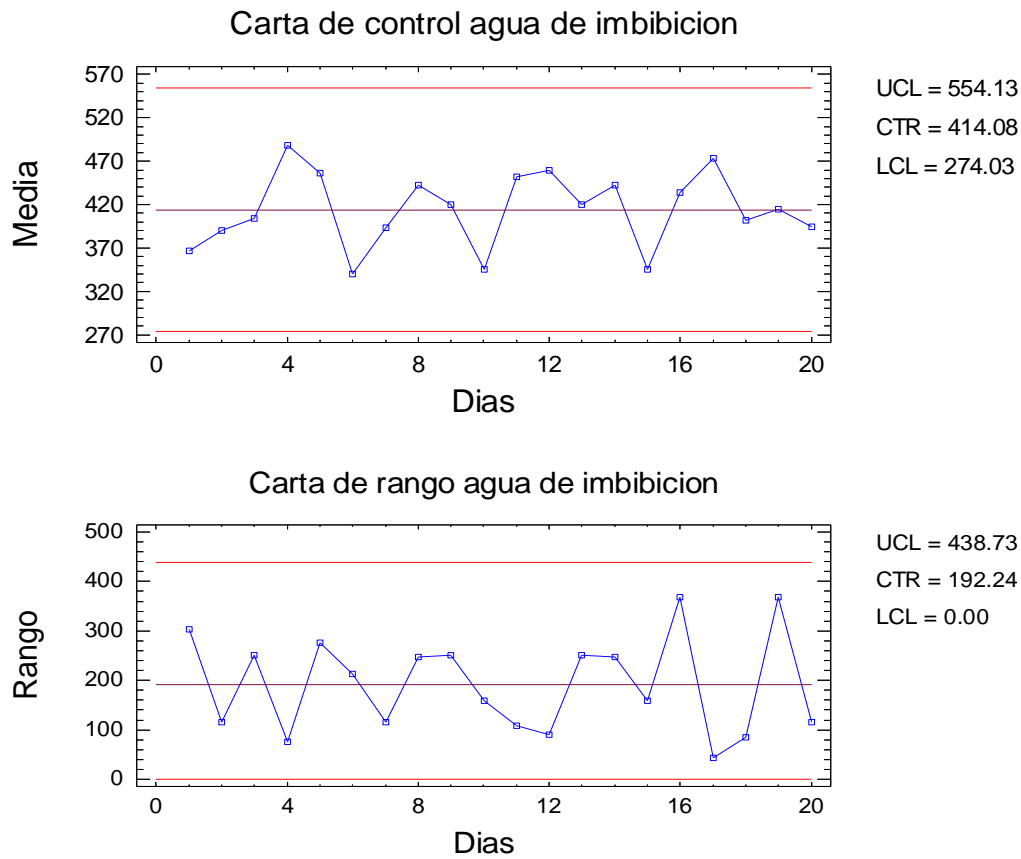


Fig. 3.2 Cartas de control de media y rango para el agua de imbibición.

Nuevamente debemos señalar que la carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 414.08 t/d y una desviación estándar igual a 93.37 t/d mostrando una variación con respecto a la media notable, aunque esto se explica en función de la caña molida. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la

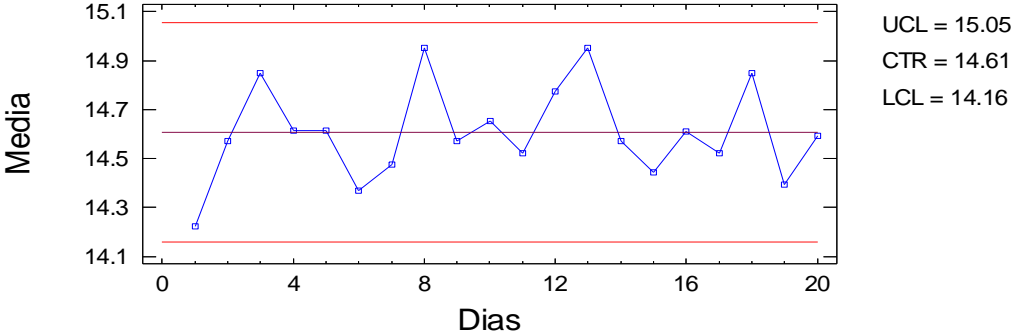
diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es amplia evidenciando que hay inestabilidad en el proceso, aunque la variable se encuentra en control estadístico.

La normativa del central plantea que la aplicación del agua de imbibición está en dependencia del flujo de caña a moler y debe estar comprendida entre un 25 y 30% de la caña molida, por lo que se hace necesaria una comparación directa con la caña molida. Si se consulta el anexo 1 se puede notar que en todo momento el agua de imbibición % en caña está por debajo del 20%, lo cual no es satisfactorio. No existe correspondencia entre los parámetros de agua de imbibición y caña que entra en la estación, esto es lo que origina que haya incumplimiento en la Pol en bagazo.

3.1.2.3 Análisis del Brix del jugo mezclado.

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

Carta de control Bx jugo mezclado



Carta de rango Bx jugo mezclado

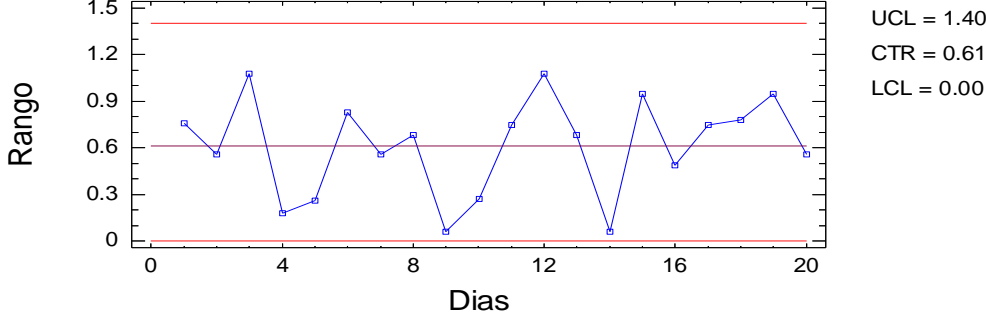


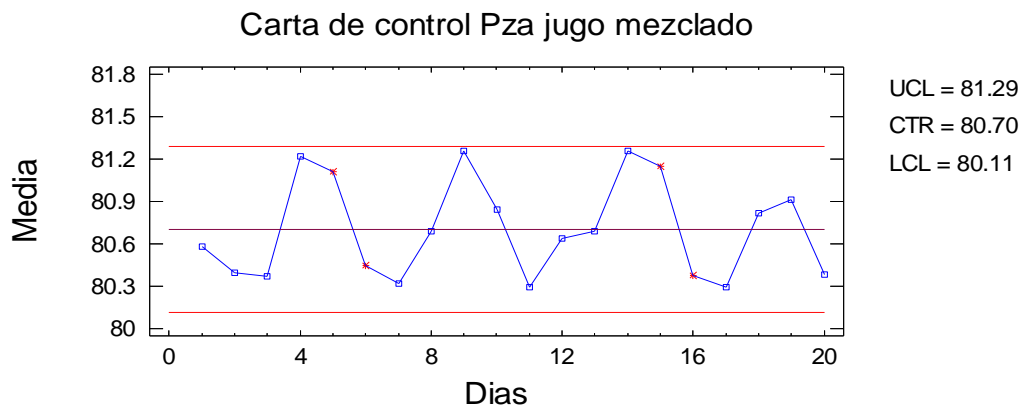
Fig. 3.3 Cartas de control de media y rango para el Brix del jugo mezclado.

En la carta de control se muestra una media igual a 14.61°Bx . y una desviación estándar igual a 0.32°Bx . De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, no se puede rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente se muestra en la primera carta que la variable se mueve dentro de los límites permisibles para que esta tenga un comportamiento normal, mientras que la segunda se puede observar que la variación en los puntos muestreados es pequeña, ya que no hay diferencias superiores a 1 punto, dando a entender que el proceso se mantuvo estable durante el periodo muestreado.

Según Hugot (1987) el Brix en el jugo mezclado debe encontrarse de $14 - 15^{\circ}\text{Bx}$. Dado que la media de esta variable para el periodo muestreado es de 14.61°Bx . Se puede asegurar que este parámetro cumple con lo establecido por los especialistas.

3.1.2.4 Análisis de la pureza del jugo mezclado.

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada muestran los siguientes resultados.



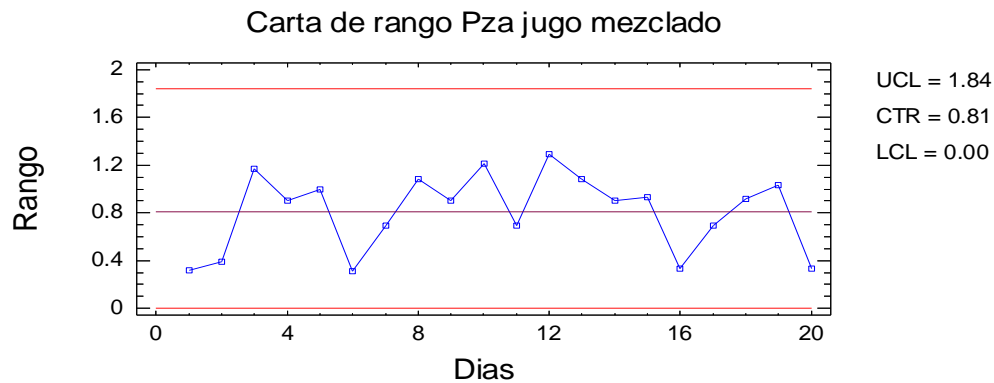


Fig. 3.4 Cartas de control de media y rango para la pureza del jugo mezclado.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 80.70% y una desviación estándar igual a 0.39%. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, no se puede rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Aunque la primera carta muestra que el proceso está dentro de control los puntos están relativamente cerca del límite superior como del inferior, mientras que la segunda se puede observar que la varianza en los puntos muestreados no es significativa, ratificando el estado de control estadístico del proceso.

La normativa del central plantea que la pureza del jugo mezclado debe encontrarse a lo sumo 1 punto por debajo de la del jugo primario, dado que la media de este es 80.70% y los valores normales de pureza del jugo mezclado durante este período fueron de 81.11%, podemos establecer que este parámetro se encuentra dentro de los estándares normados para esta industria.

3.1.2.5 Análisis de la Pol en bagazo.

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

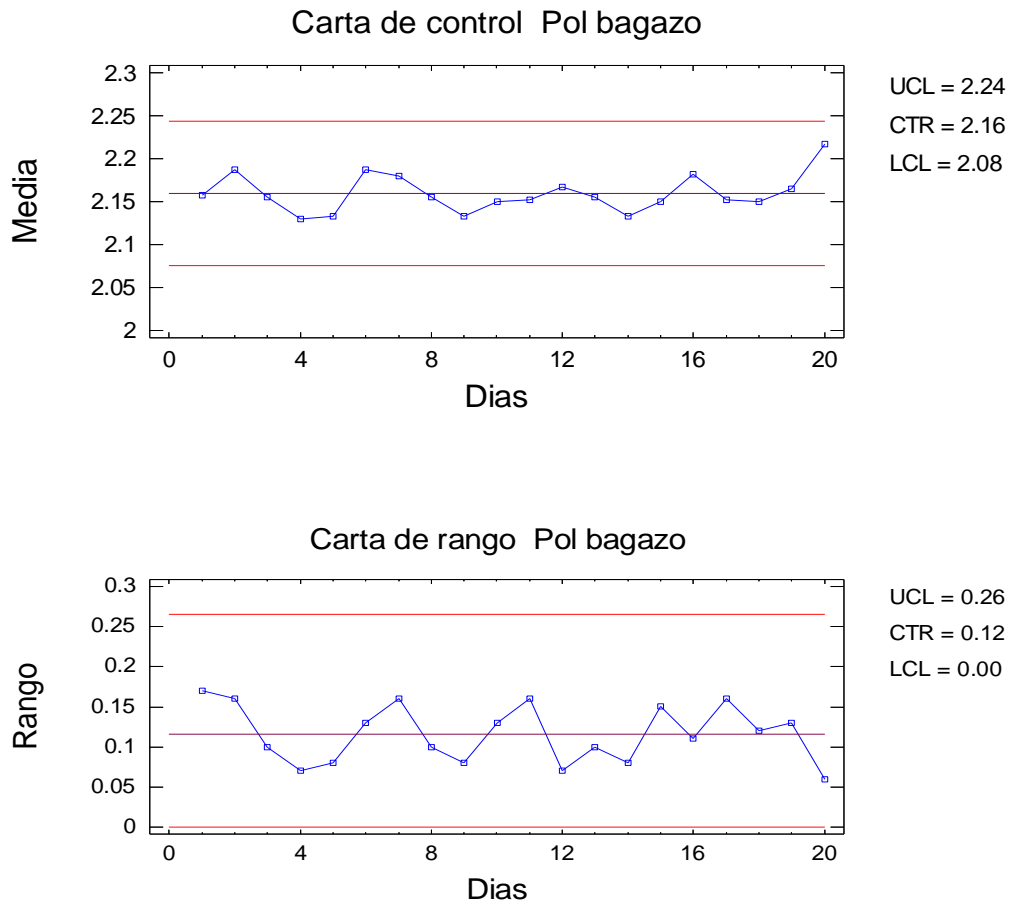


Fig. 3.5 Cartas de control de media y rango para la Pol en bagazo.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 2.16% y una desviación estándar igual a 0.06%. Se puede ver que ninguno de los puntos está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, no se rechaza la hipótesis de que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente se muestra en la primera carta que la variable se mueve dentro de los límites permisibles para que esta tenga un comportamiento normal y todos los puntos están muy cercanos a la

media, mientras que la segunda se puede observar que la varianza en los puntos muestreados no es significativa, ratificándose la estabilidad del proceso.

Aunque los especialistas plantean que en molinos bien ajustados y con una imbibición eficiente deben esperarse valores de Pol en bagazo entre 3 y 3.5% y aún inferiores, haciendo mínimas las pérdidas en bagazo (Honing, 1987). El análisis de este parámetro con respecto a la norma indica que está por encima del límite permisible ya que la media de este para el periodo estudiado es de 2.16% y la norma plantea un máximo de 2.10% incurriendo en una pérdida de azúcar por este concepto lo que disminuye la eficiencia productiva del central.

3.1.2.6 Análisis de la humedad del bagazo.

Las cartas de control obtenido para la variable mencionada muestran los siguientes resultados.

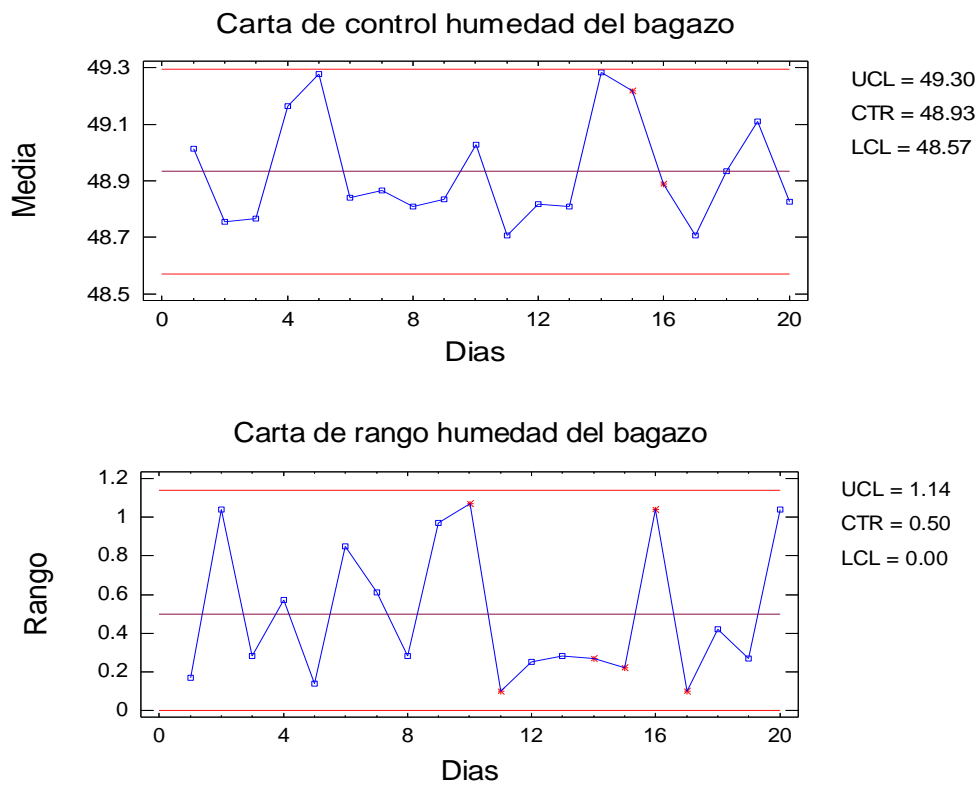


Fig. 3.6 Cartas de control de media y rango para la humedad del bagazo.

Se obtiene una media igual a 48.93% y una desviación estándar igual a 0.24%. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta mientras, ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, se acepta la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Aunque la primera carta muestra que el proceso está dentro de control los puntos están relativamente cerca del límite superior, mientras que la segunda se puede observar que la varianza en los puntos muestreados no es significativa, ratificando el estado de control estadístico del proceso.

Según Carrazana (1975) la presión en el último molino debe garantizar una humedad en el bagazo algo inferior al 50% mientras que Hugot (1987), señala que el % de humedad debe ser de 40% y para molinos deficientes 50%, ya que la media de esta variable durante el tiempo muestreado fue de 48.93% podemos apreciar que se encuentra dentro del rango que los especialistas dan como aceptable, aunque se encuentra muy próximo al límite. Teniendo en cuenta que este es el combustible que se usa en la generación de vapor es de vital importancia el correcto control tanto del proceso como con respecto a la norma de esta variable.

3.1.2.7 Análisis de la presión del último molino.

Las cartas de control obtenido para la variable mencionada muestran los siguientes resultados.

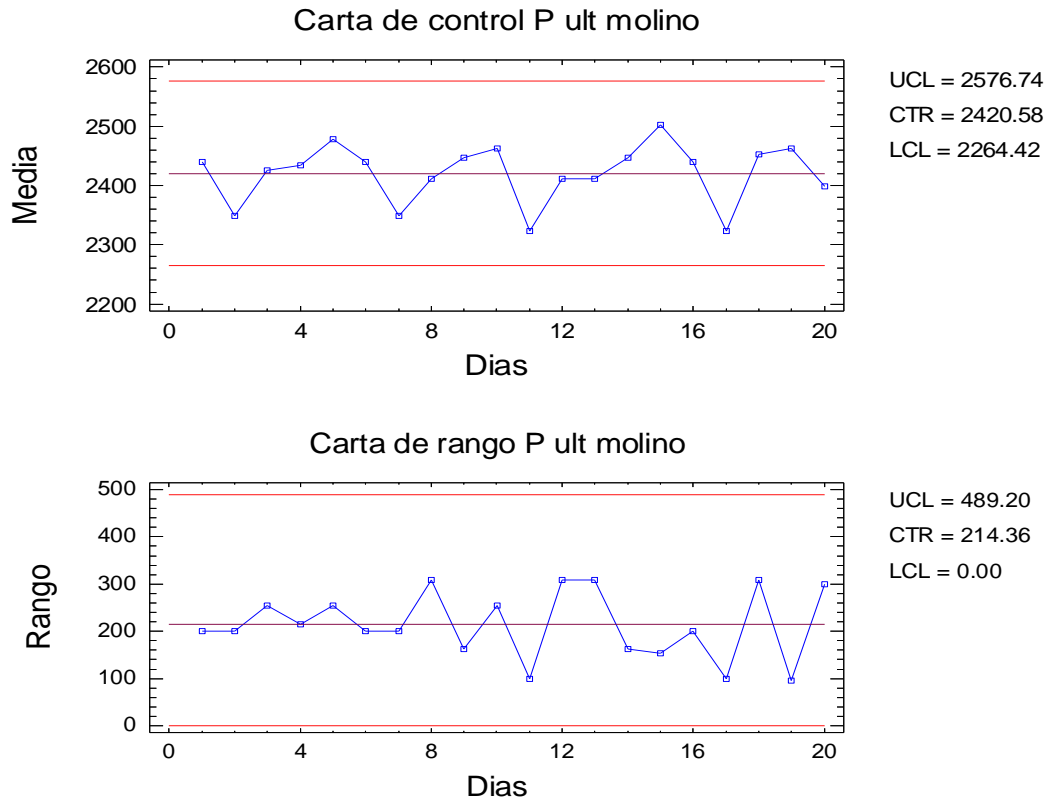


Fig. 3.7 Cartas de control de media y rango para la presión del último molino

Siendo la media igual a $2420.58 \text{ kg f/cm}^2$ y la desviación estándar igual a 104.11 kg f/cm^2 y teniendo en cuenta que para ambas cartas no se trasgreden los límites se acepta la hipótesis de que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

Aunque la variable se encuentra en control estadístico no es capaz de satisfacer las necesidades del proceso ya que no garantiza que los parámetros de humedad y Pol en bagazo se encuentren dentro de lo establecido para esta industria para un funcionamiento eficiente de la misma, por lo que podemos inferir que de continuar así pronto no será capaz de satisfacer las necesidades del proceso por

lo que otras etapas como la de generación de vapor se podrían ver afectadas y así toda la línea de producción ya que de esto dependen el resto de las etapas.

3.1.3 Análisis de regresión de las variables tecnológicas del área de extracción.

3.1.3.1 Análisis de regresión del modelo ajustado Bx jugo mezclado – agua imbibición

Análisis de regresión – modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: Bx jugo mezclado

Variable independiente: agua imbibición

P- valor= 0.12

Coefficiente de correlación = 0.36

R-cuadrado= 13.04 %

La grafica (ver Anexo 6) muestra los resultados de ajustar a un modelo lineal para describir la relación entre el agua imbibición y el Bx jugo mezclado. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Bx jugo mezclado} = 14.064 + 0.00121139 \cdot \text{agua imbibición}$$

Desde el P-valor en la tabla ANOVA es mayor o iguala a 0.10, no hay estadísticamente una relación significativa entre el Bx jugo mezclado y el agua de imbibición al 90% de nivel de confianza o superior.

La estadística R-cuadrada indica que el modelo ajustado explica el 13.04% de la variabilidad en el Bx jugo mezclado. El coeficiente correlación igual a 0.36, indica una relación relativamente débil entre las variables, por lo que se entiende que existe una discrepancia en los datos ya que el Brix del jugo mezclado depende en gran medida del agua de imbibición.

3.1.3.2 Análisis de regresión del modelo ajustado humedad bagazo – presión último molino

Análisis de regresión – modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: humedad del bagazo

Variable independiente: presión del último molino

P- valor= 0.05

Coefficiente de correlación= 0.44

R-cuadrado= 19.59 %

La grafica (ver Anexo 7) muestra los resultados de ajustar a un modelo lineal para describir la relación entre la Presión del último molino y la humedad del bagazo. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{humedad bagazo} = 45.7517 + 0.00133779 \cdot P \text{ ult molino}$$

Desde el P-valor en la tabla ANOVA es menor que 0.10, hay estadísticamente una relación significativa entre la humedad del bagazo y la presión del último molino al 90% nivel de confianza o superior.

La estadística R-cuadrada indica que el modelo ajustado explica el 19.59% de la variabilidad en la humedad del bagazo. El coeficiente correlación igual a 0.44, indica una relación relativamente débil entre las variables, esto no debería ser así, dado que la humedad del bagazo depende completamente de la presión del último molino.

3.2 Área de purificación.

3.2.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de purificación.

Tabla 3.2 Parámetros estadísticos del área.

	pH Ja	Ts Ja	Bx. Jc	Pza.Jc	pH Jc	Pol chz.
Media	8.02	102.63	14.73	80.77	6.77	5.48
Varianza	0.07	0.80	0.06	0.15	0.01	0.46
Des. estándar	0.24	0.90	0.25	0.32	0.08	0.70
Mínimo	7.50	101.00	14.42	80.19	6.60	4.44
Máximo	8.50	104.00	15.17	81.60	7.00	7.27
Asimetría	-0.72	-1.00	-0.19	0.23	0.40	1.70
Kurtosis	-0.10	-0.04	-1.11	-0.74	-0.06	0.90
Coef. variación	3.18	0.87	1.59	0.48	1.43	12.16

Fuente: *STARGRAFIC*

En la tabla anterior se muestran los resúmenes estadísticos para las variables del área de extracción. Incluye los valores de tendencia central, de variabilidad, y de desviación estándar. De interés particular aquí está la asimetría y kurtosis estandarizada que pueden usarse para determinar si la muestra viene de una distribución normal. Si los valores de estas estadísticas estuvieran fuera del rango de -2 a +2 indican que no presenta una distribución normal y tendería a invalidar cualquier prueba estadística. En este caso, el valor asimetría estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor de la kurtosis estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

3.2.2 Análisis de las variables tecnológicas en el área de purificación.

3.2.2.1 Análisis del pH jugo alcalizado

Los resultados obtenidos del análisis de la variable mencionada se muestran a continuación.

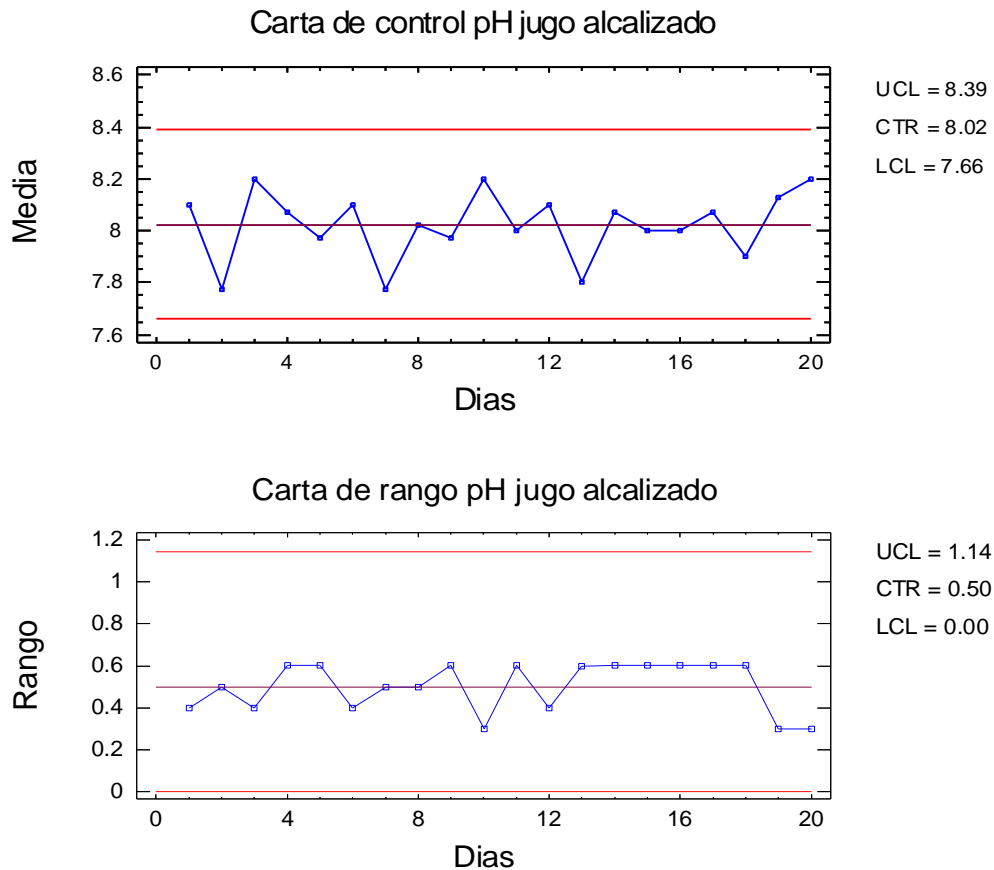


Fig. 3.8 Cartas de control de media y rango para el pH del jugo alcalizado.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 8.02 y una desviación estándar igual a 0.24. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no se puede rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de

confianza o superior. La primera carta muestra que el proceso se encuentra en control ya que los puntos oscilan alrededor de la media dentro de los límites permisibles, mientras que la segunda muestra como durante el periodo muestreado el rango de varios puntos se mantuvo constante manteniendo el control en el proceso.

El pH óptimo para la estabilidad de la sacarosa se sitúa entre 8 y 8.5 según Pedrosa (1983) y Hugot (1987). Dado que la variable presentó una media de 8.02 durante el periodo muestreado se encuentra dentro de los límites planteados por los especialistas, sin embargo El Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones (2010) plantea que la alcalización debe garantizar un pH estable en el rango de 0.4 unidades dentro del espectro de 7.5 a 8.1 por lo que no cumple con las regulaciones establecidas para esta variable por la industria.

3.2.2.2 Análisis de la temperatura de salida del jugo alcalizado

Las cartas de control obtenido para la variable mencionada muestran los siguientes resultados.

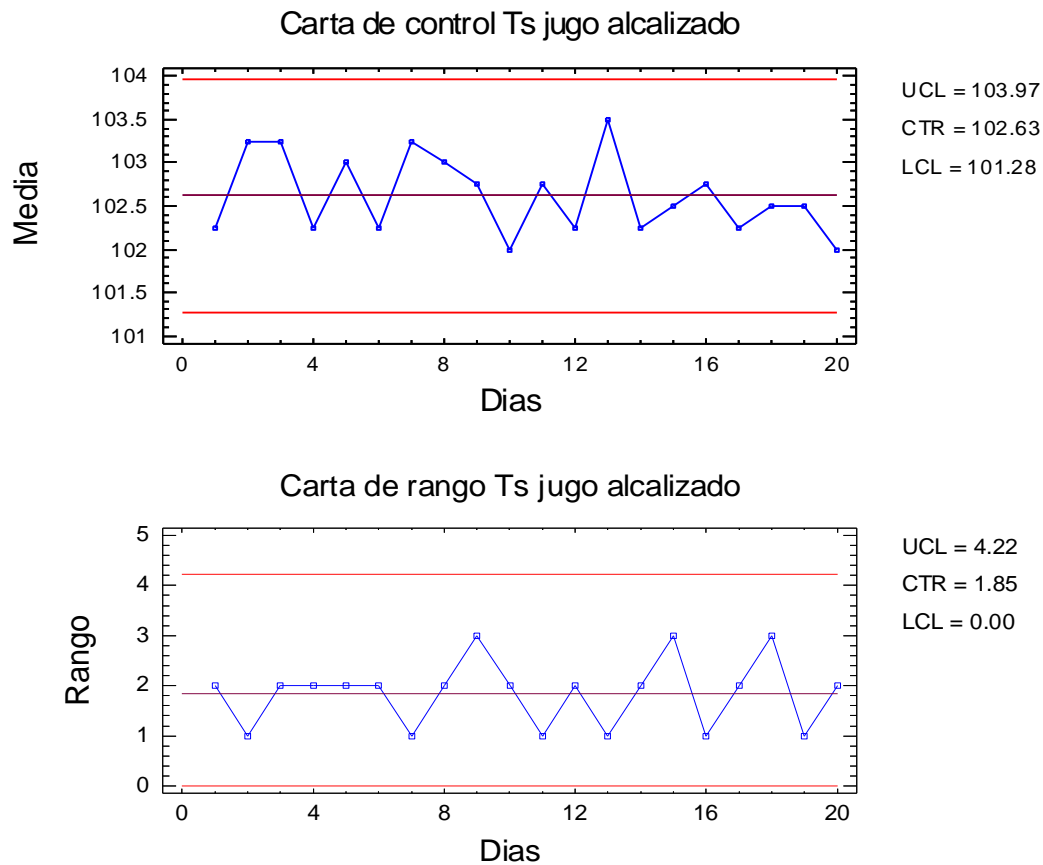


Fig. 3.9 Cartas de control de media y rango para la temperatura de salida del jugo alcalizado.

La carta de control muestra que la variable presenta una media igual a 102.63°C y una desviación estándar igual a 0.90°C . De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, no se rechaza la hipótesis de que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior.

Según los criterios de Pedrosa (1983) y Hugot (1987) la temperatura a la que debe calentarse el guarapo no debe ser superior a unos 4°C más que el punto de ebullición de éste, alrededor de 103°C , con ello no se desperdiciará calor, ni se producirían compuestos químicos indebidos, que puedan formarse a mayores

temperaturas. La media presentada por esta variable durante el periodo estudiado fue de 102.63°C lo que cumple con los criterios de los especialistas y la normativa del central garantizando que durante el proceso de clarificación no se formen turbulencias en este equipo que destruyan los flóculos con el fin de obtener un jugo claro y brillante.

3.2.2.3 Análisis Bx. jugo clarificado

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

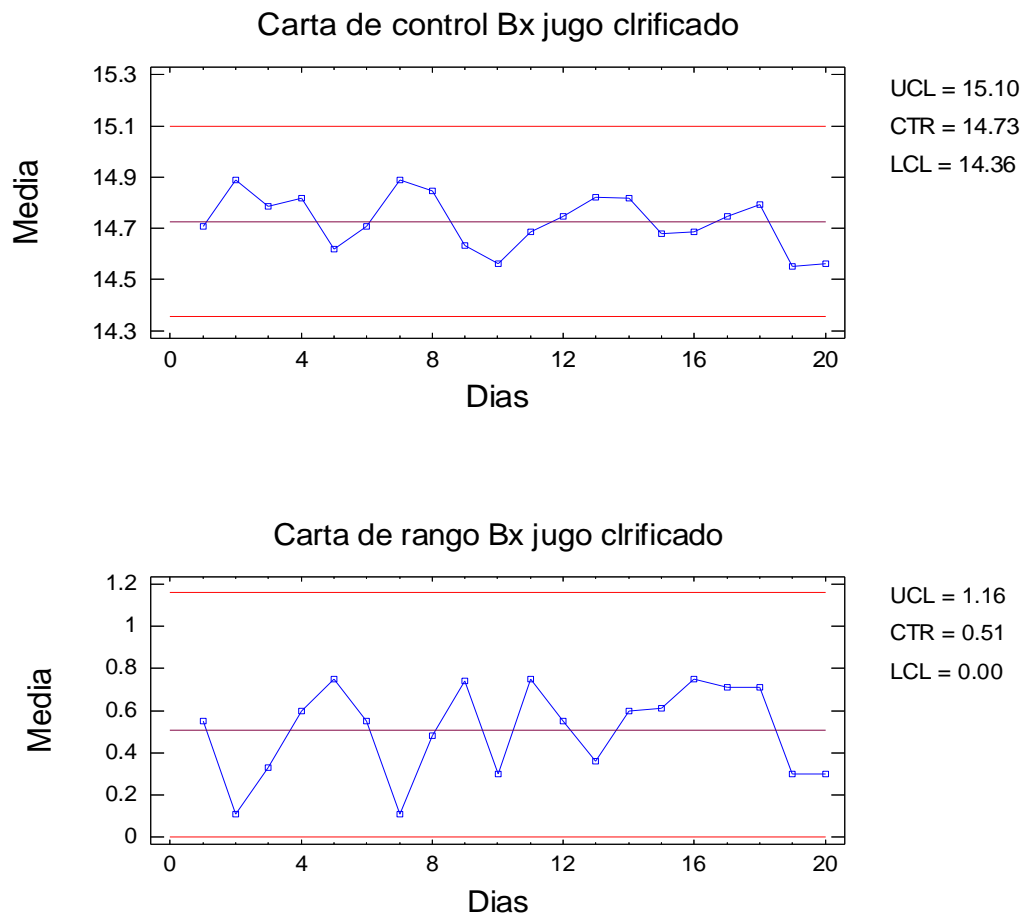


Fig. 3.10 Cartas de control de media y rango para el Brix del jugo clarificado.

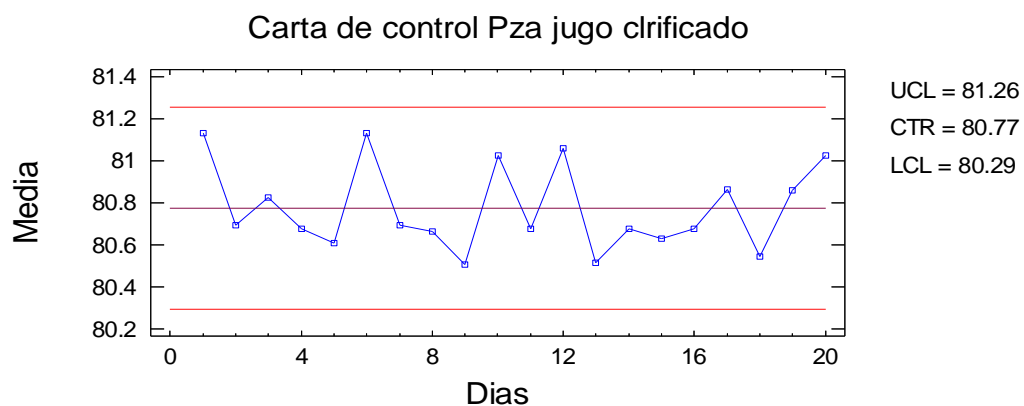
La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 14.73°Bx y una desviación estándar igual a 0.25°Bx. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá

de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente se muestra en la primera carta que la variable se mueve dentro de los límites permisibles para que esta tenga un comportamiento normal, mientras que la segunda se puede observar que la variación en los puntos muestreados no es significativa, ratificándose la estabilidad del proceso.

Según el Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones (2010) los valores habituales de Brix en el jugo clarificado se encuentran entre 14 y 18°Bx, ya que la media presentada por la variable durante el período muestreado fue de 14.73°Bx encontrándose dentro del rango establecido por lo que cumple con la norma establecida para la industria.

3.2.2.4 Análisis de la pureza jugo clarificado

Los resultados obtenidos del análisis de la variable mencionada se muestran a continuación.



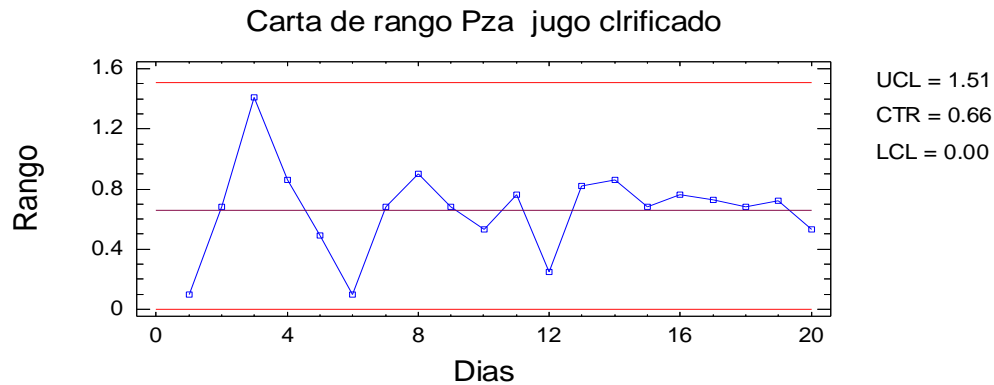


Fig. 3.11 Cartas de control de media y rango para la pureza del jugo clarificado

La carta de control muestra que la media presentada por la variable fue de 80.77% con una desviación estándar igual a 0.32%. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es pequeña corroborando que el proceso se encuentra en control estadístico.

Según el Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones (2010) la pureza del jugo clarificado debe encontrarse de 0.5 a 1.5 puntos por encima del mezclado dependiendo de la calidad del jugo en proceso. Dado que la media presentada por esta variable fue de 80.77% y los valores habituales de pureza del jugo mezclado obtenidos durante la zafra para el período muestreado fueron de 80.70% no se logró elevar lo suficiente la pureza en el clarificador por lo que no se cumplió con lo normado para esta variable.

3.2.2.5 Análisis del pH jugo alcalizado

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

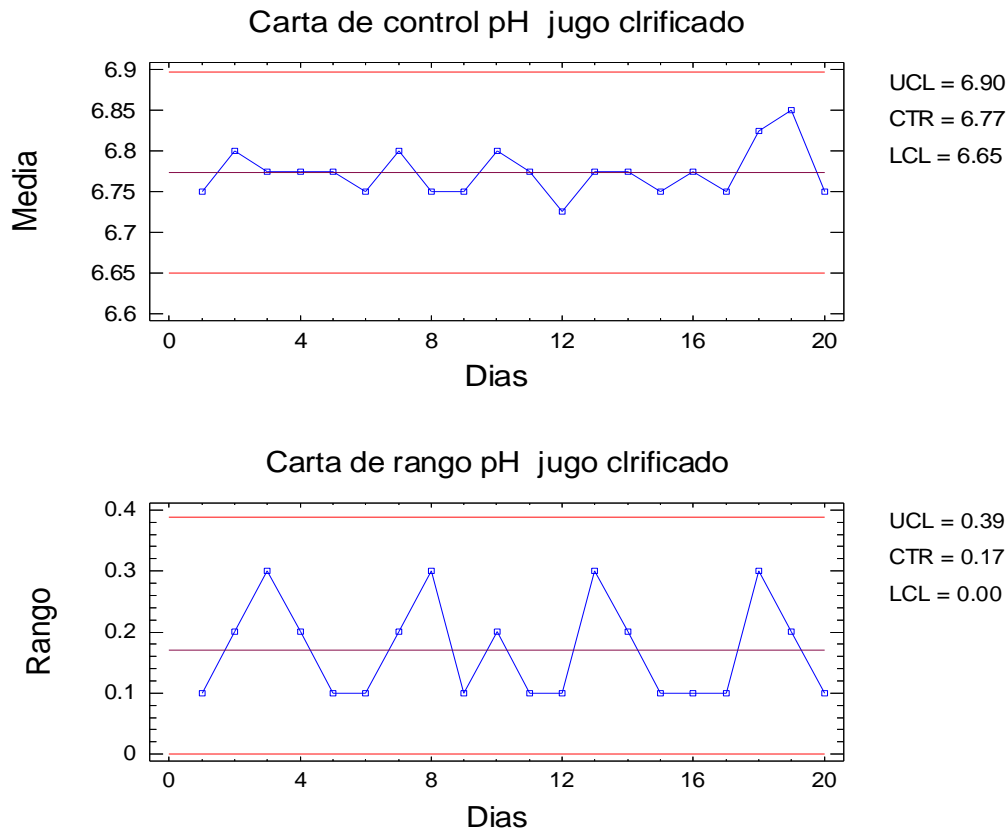


Fig. 3.12 Cartas de control de media y rango para el pH del jugo clarificado.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 6.77 y una desviación estándar igual a 0.08. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Ambas gráficas muestran que los puntos muestreados se encuentran en un estado de control estadístico.

Según el Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones (2010) el pH del jugo clarificado debe encontrarse de 6.8 a 7 presentando una

caída de 1 punto con respecto al alcalizado, ya que la media presentada por la variable es de 6.77 se encuentra fuera del rango establecido presentando una caída ligeramente superior a 1 ya que el pH del jugo alcalizado fue de 8.02. Teniendo en cuenta que la velocidad inversión de la sacarosa debe ser muy baja ya que el pH se encuentra muy cercano al límite inferior establecido que es de 6.8 – 7.2. No se considera alarmante este incumplimiento pero si de atención.

3.2.2.6 Análisis de la Pol en cachaza

Los resultados obtenidos del análisis de la variable mencionada se muestran a continuación.

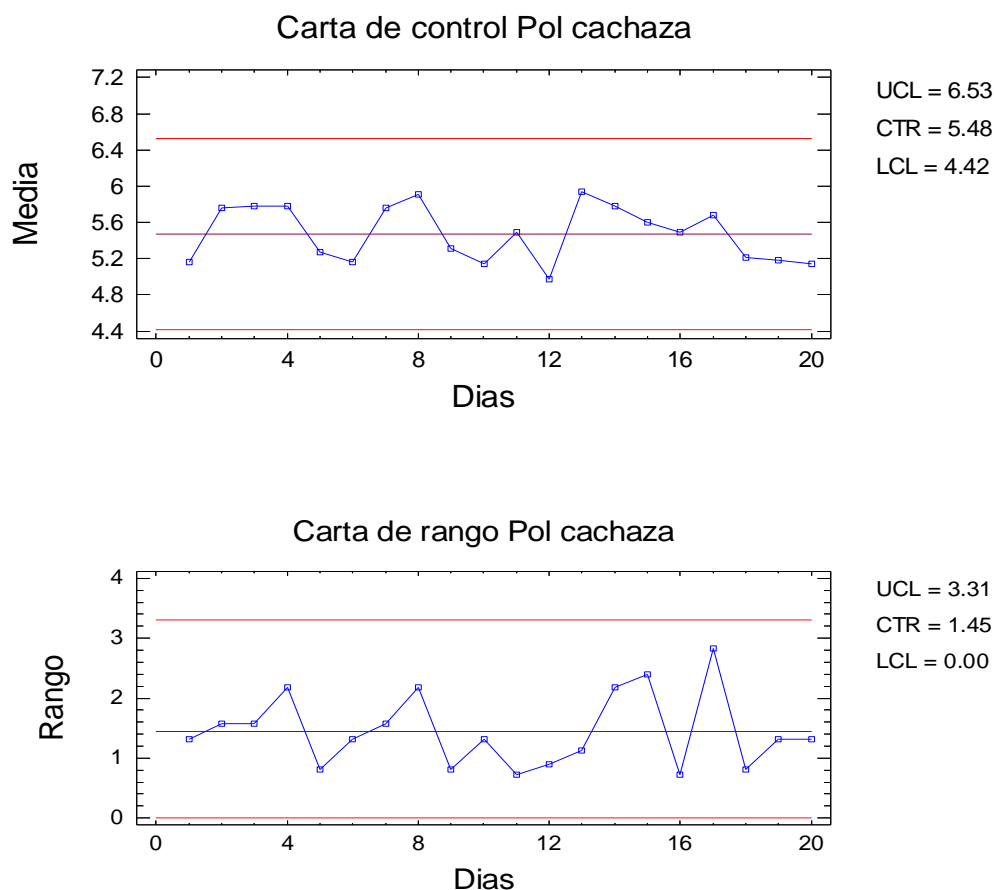


Fig. 3.13 Cartas de control de media y rango para Pol en cachaza

La variable controlada presentó una media igual a 5.48% y una desviación estándar igual a 0.70%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está

más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior.

De acuerdo con las normas de la industria plantean que la Pol en cachaza no debe ser superior a 2%, por lo que la variable no cumple con lo establecido ya que presenta una media de 5.48%, muy por encima de lo establecido incurriendo en una pérdida de azúcar a producir por este concepto, lo cual disminuye la eficiencia del proceso. De acuerdo con los criterios de los especialistas los mejores valores de Pol en cachaza se encuentran cercanos a 1% y dependen del tipo de filtro utilizado, de la cantidad de agua de lavado y de las características de la torta Jenkins (1971), otros investigadores plantean que los valores para lograr pérdidas no sensibles en el proceso no deben ser superiores a 3.5% según Martínez y Nemirovitch (1985) por lo que se ratifica lo explicado anteriormente.

3.3 Área de evaporación.

3.3.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de evaporación.

Tabla 3.3 Parámetros estadísticos del área.

	Bx. mel	Pza. mel	Pv. Cuerpo 4
Media	51.41	81.87	25.90
Varianza	13.04	0.19	0.29

Des. Estándar	2.98	0.41	0.53
Mínimo	44.86	80.91	25.00
Máximo	57.85	82.57	27.00
Asimetría	0.05	-0.84	-0.83
Kurtosis	-0.56	-0.27	0.46
Coef. variación	7.03	0.53	2.04

Fuente: *STARGRAFIC*

En la tabla anterior se muestran los resúmenes estadísticos para las variables del área de extracción. Incluye los valores de tendencia central, de variabilidad, y de desviación estándar. De interés particular aquí está la asimetría y kurtosis estandarizada que pueden usarse para determinar si la muestra viene de una distribución normal. Si los valores de estas estadísticas estuvieran fuera del rango de -2 a +2 indican que no presenta una distribución normal y tendería a invalidar cualquier prueba estadística. En este caso, el valor asimetría estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor de la kurtosis estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

3.3.2 Análisis de las variables tecnológicas en el área de evaporación.

3.3.2.1 Análisis del Brix de la meladura

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

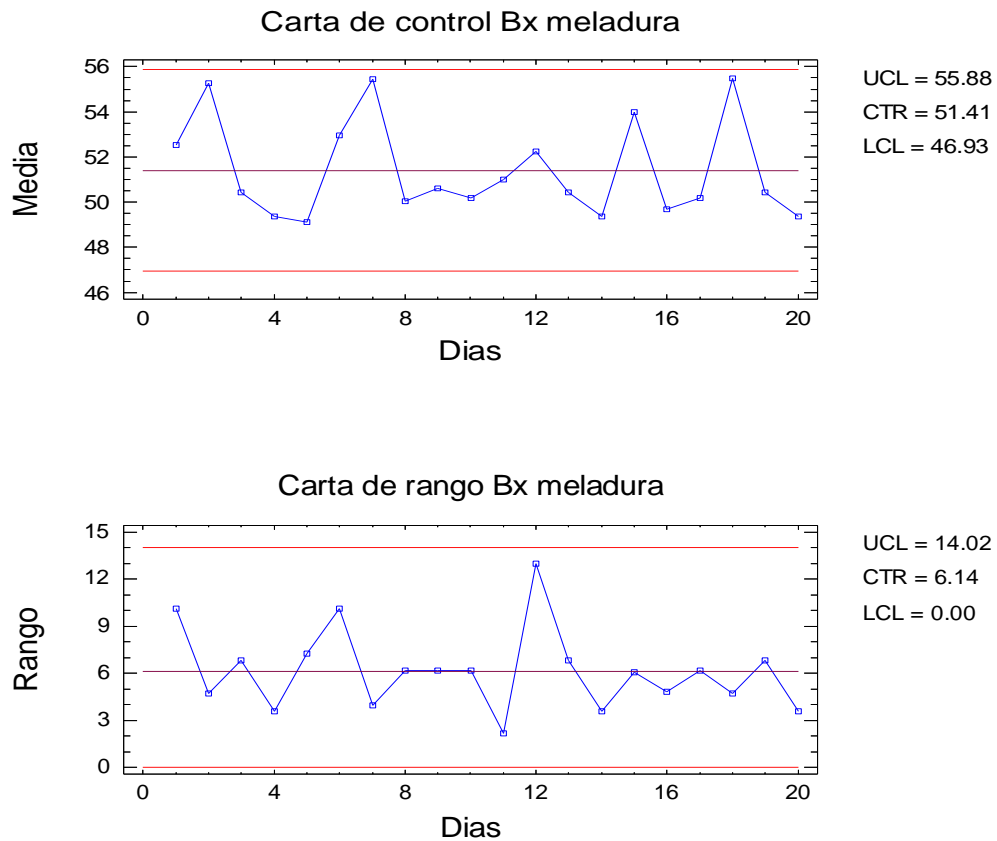


Fig. 3.14 Cartas de control de media y rango para Brix de la meladura

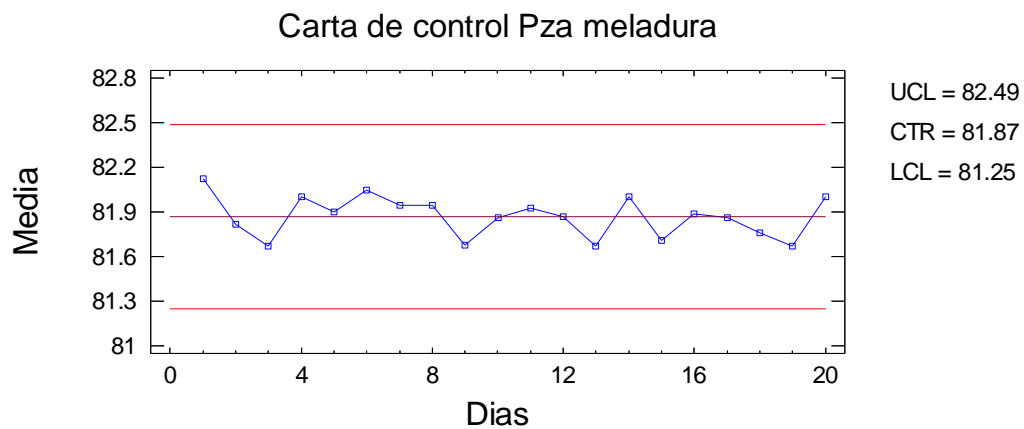
La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 51.41°Bx. y una desviación estándar igual a 2.98. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo

y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

Según la norma establecida para este parámetro el Brix de la meladura no debe ser menor de 62°Bx, y como esta variable presentó una media de 51.41°Bx durante el periodo muestreado no cumple con lo establecido para esta industria, por lo cual se verán afectadas las etapas posteriores del proceso. De acuerdo con los criterios de Morrel (1985) que plantea que debe estar entre 55 - 65°Bx y según Hugot (1987) el Brix de la meladura debe estar entre 60 - 68°Bx no se alcanzan los parámetros establecidos por los especialistas.

3.3.2.2 Análisis de la pureza de la meladura

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.



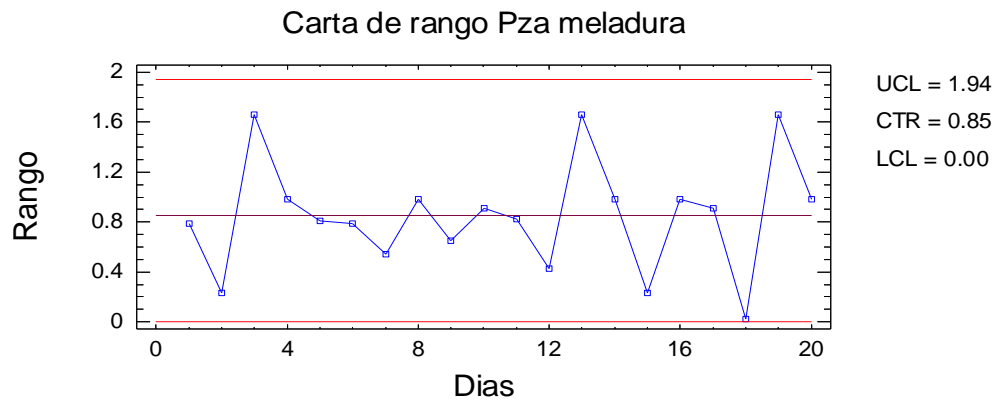


Fig. 3.15 Cartas de control de media y rango para la pureza de la meladura.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 81.87% y una desviación estándar igual a 0.41%. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente en la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

La norma del central plantea que la pureza de la meladura debe ser igual o superior a la pureza del jugo clarificado, ya que la media de este parámetro fue de 81.87% y la del jugo clarificado para el mismo periodo fue de 80.77% se cumple con lo establecido para la industria. Según el criterio de los especialistas que plantean que la pureza de la meladura debe ser de 86.1%, según Honing (1987), mientras por otra parte Rodríguez (1997) y Díaz (1999) en su estudio de las mieles finales cubanas consideran que la pureza de la meladura debe ser de 85% como

valor mínimo, el parámetro estudiado no alcanza los estándares establecidos aunque cumple con lo regulado para el central.

3.3.2.3 Análisis de la presión de vacío del último vaso

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.

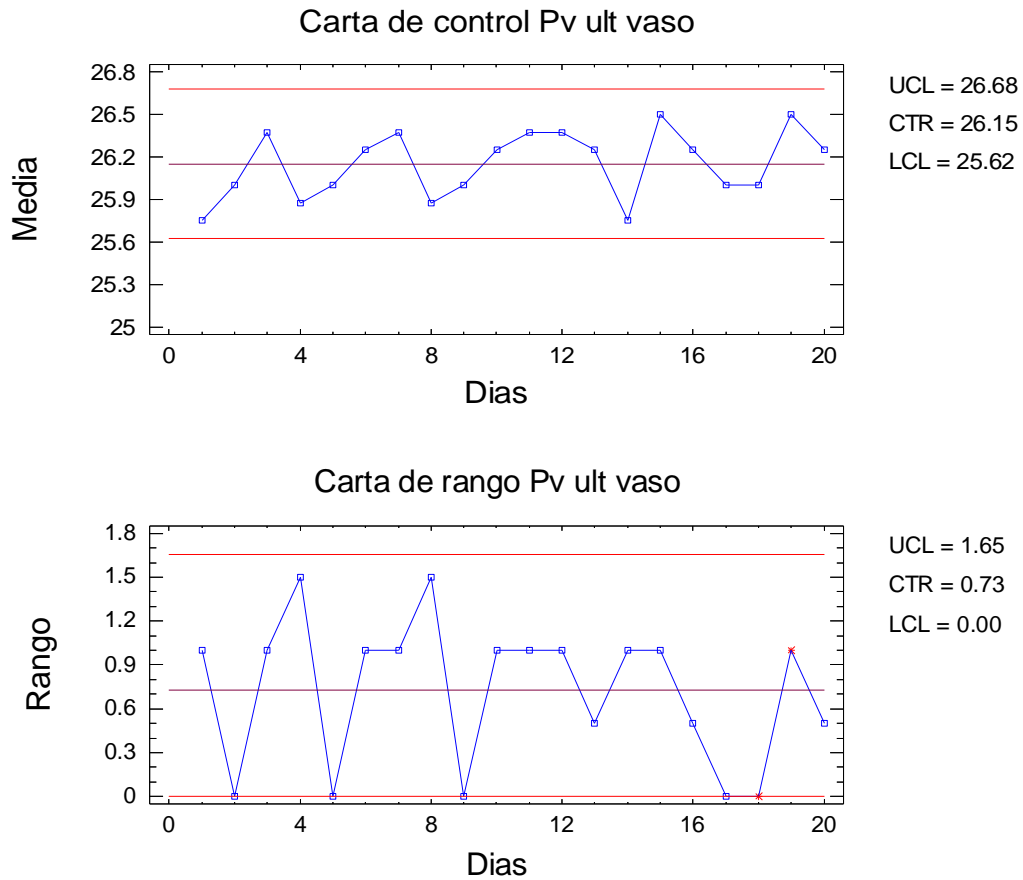


Fig. 3.16 Cartas de control de media y rango para la presión de vacío del último vaso

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 26.15" Hg y una desviación estándar igual a 0.35" Hg. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución

supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

La variable está en control estadístico sin embargo en el evaporador no se alcanza el Brix adecuado y la pureza está también fuera de norma, si la presión de vacío está por encima de las 25" Hg, el incumplimiento no se debe al valor del vacío en el cuerpo del último vaso, sino a otros factores entre los que pudiera citarse una mala operación en cuanto al nivel del jugo en los vasos o incumplimiento del tiempo de residencia, falta de vapor de calentamiento como ya se ha demostrado, y problemas de evaporación en el resto de los vasos que no pueden ser resueltos todos en el último vaso. Esto puede respaldarse con el criterio de Morrel (1985) que dice: los vasos del cuádruple deben trabajar a una presión de vacío suficiente para que estas condiciones permitan obtener las temperaturas de ebullición adecuadas y a su vez la evaporación del agua para obtener la concentración deseada, si estas presiones y temperaturas no están en el rango aumenta el tiempo de retención, elevación del color y mayor consumo de vapor.

3.4 Área de cristalización.

3.4.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de cristalización.

Tabla 3.4 Parámetros estadísticos del área.

	Pza. MCA	Caída Pza. A	Pza. MCB	Caída Pza. B	Pza. miel f	Red miel f	Índice agot
Media	83.75	10.37	71.89	18.77	53.17	15.88	1.98

Varianza	0.22	3.03	1.37	2.48	4.26	2.74	0.1
Des. Estándar	0.47	1.23	1.09	1.42	2.07	1.66	0.32
Mínimo	82.9	7.8	69.96	16.42	49.74	12.32	1.44
Máximo	84.83	13.84	73.67	22.13	56.78	18.22	2.55
Asimetría	-0.11	1.32	-1.2	1.01	-0.01	-0.77	-0.39
Kurtosis	0.24	-0.19	-0.78	-0.45	-0.98	-0.53	-0.72
Coef. Variación	0.55	17.01	1.63	8.37	4.62	10.43	16.24

Fuente: *STARGRAFIC*

En la tabla anterior se muestran los resúmenes estadísticos para las variables del área de extracción. Incluye los valores de tendencia central, de variabilidad, y de desviación estándar. De interés particular aquí está la asimetría y kurtosis estandarizada que pueden usarse para determinar si la muestra viene de una distribución normal. Si los valores de estas estadísticas estuvieran fuera del rango de -2 a +2 indican que no presenta una distribución normal y tendería a invalidar cualquier prueba estadística. En este caso, el valor asimetría estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor de la kurtosis estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

3.4.2 Análisis de las variables tecnológicas en el área de cristalización.

3.4.2.1 Análisis de la pureza de la MCA.

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

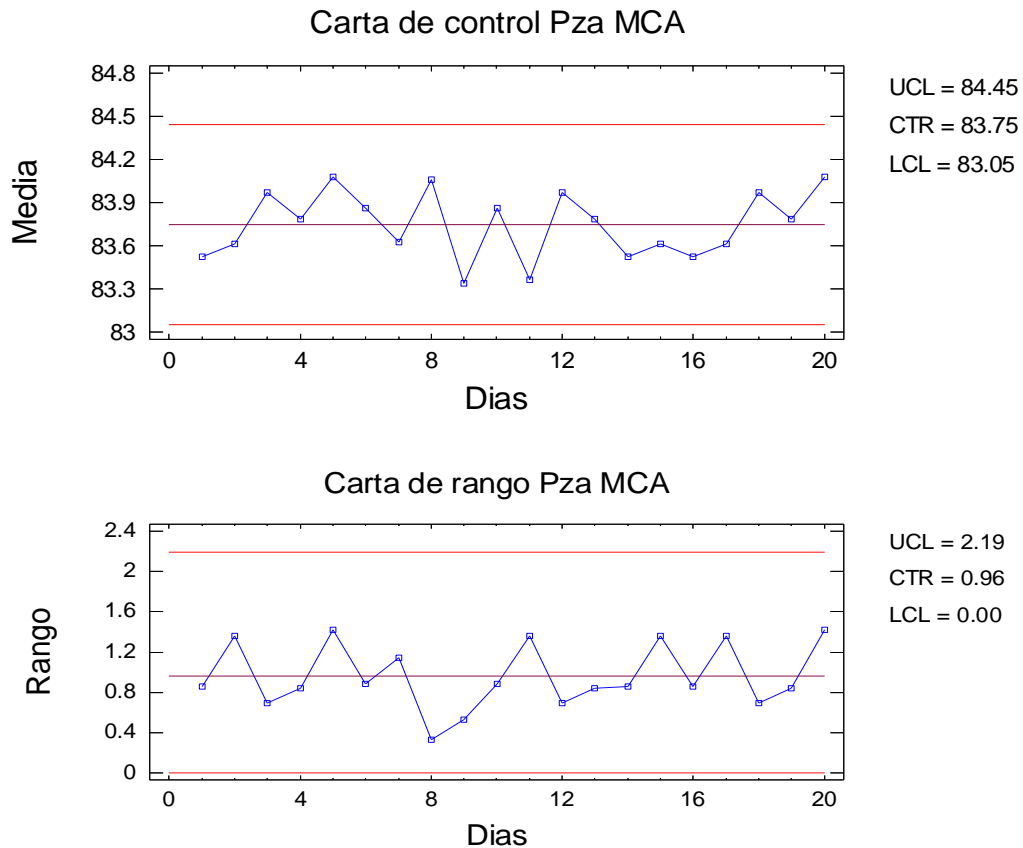


Fig. 3.17 Cartas de control de media y rango para la pureza de la MCA.

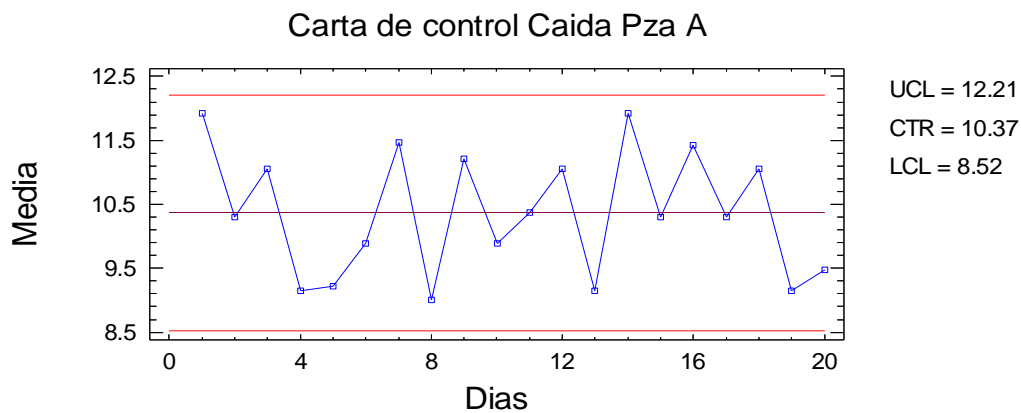
La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 83.75% y una desviación estándar igual a 0.47%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente en la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es

relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

Según las normas del central los valores normales de la pureza de la MCA deben estar entre la pureza de la meladura y la pureza de la semilla B, ya que los valores de estos parámetros durante el periodo muestreado fueron de 81.87% y 90.52% respectivamente podemos afirmar que este parámetro está en norma porque la media presentada fue de 83.75%. Según Herrero (1990) la pureza de la MCA debe estar entre 78 - 80%, por lo que de acuerdo con los especialistas esta variable se encuentra por encima de la norma, esto no influye de manera negativa en la industria ya que la pureza es cuanto representa la Pol en el Brix, por lo tanto es beneficioso alcanzar altos índices de pureza.

3.4.2.2 Análisis de la caída de pureza A

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada muestran los siguientes resultados.



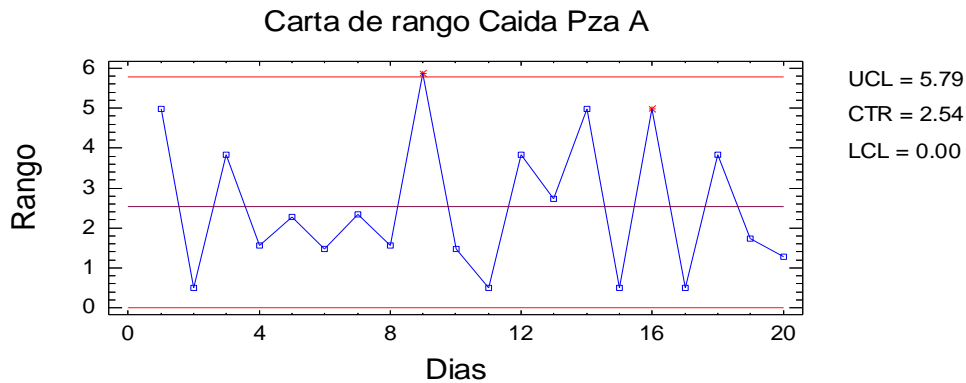


Fig. 3.18 Cartas de control de media y rango para caída de pureza A.

La carta de control muestra que la variable estudiada mostró durante el periodo registrado una media igual a 10.37% y una desviación estándar igual a 1.23%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras 1 está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros podemos declarar que el proceso está fuera de control estadístico con un 99% de confianza. La primera carta muestra la variación de la variable controlada dentro de los límites permisibles para que el proceso se encuentre en control, mientras que en la segunda carta se puede observar como la diferencia entre el valor máximo y mínimo en el noveno día del periodo muestreado esta fuera de los límites establecidos para que se mantenga el estado de control estadístico.

La norma del central plantea que la caída de pureza de la MCA a la miel A debe ser al menos del 10%, ya que la variable presentó una media de 10.37% se puede afirmar que la variable cumple con las normas establecidas para la industria.

3.4.2.3 Análisis de la pureza de la MCB.

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

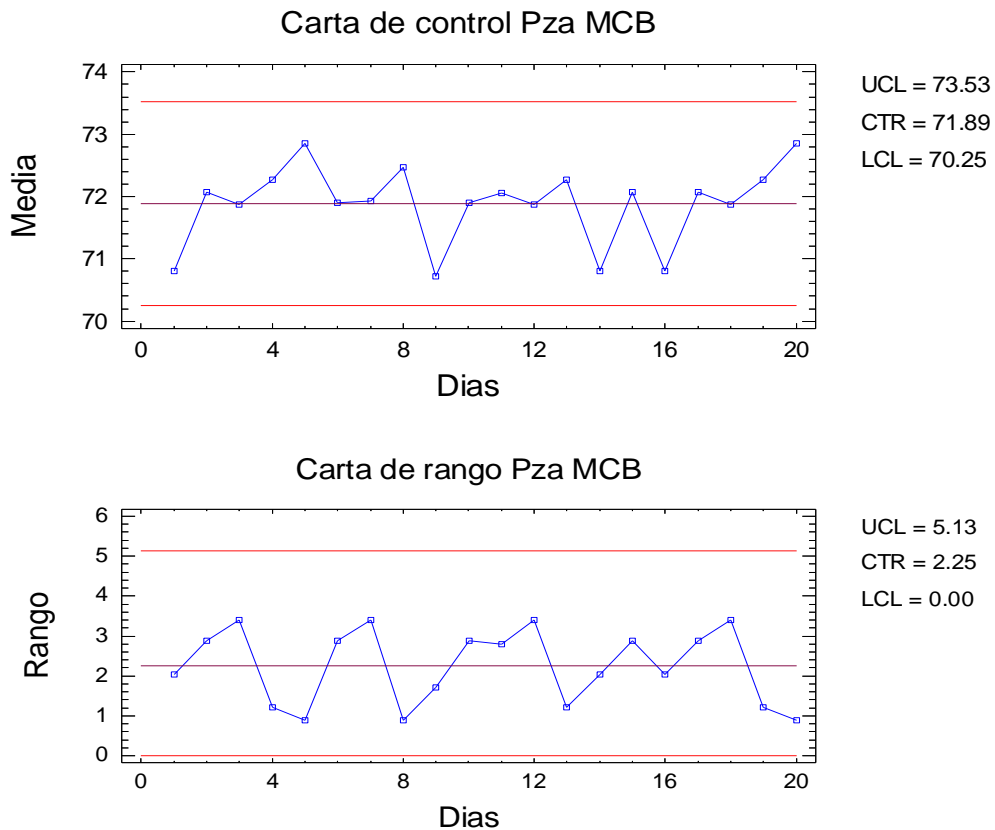


Fig. 3.19 Cartas de control de media y rango para la pureza de la MCB.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen de una distribución normal con una media igual a 71.89% y una desviación estándar igual a 1.09%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve alrededor de la media dentro de los límites permisibles para que el proceso se mantenga en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

La norma del central establece que los valores normales de la pureza de la MCB deben estar entre 74 y 76%, dado que la media de esta variable para el periodo muestreado fue de 71.89% no cumple con la norma estipulada para este parámetro en la industria ya que está por debajo del rango establecido, aunque según Herrero (1990) la pureza de la MCB debe estar entre 69 y 72% por lo que de acuerdo con el criterio de los especialistas está en un rango aceptable para los estándares de producción.

3.4.2.4 Análisis de la caída de pureza B.

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

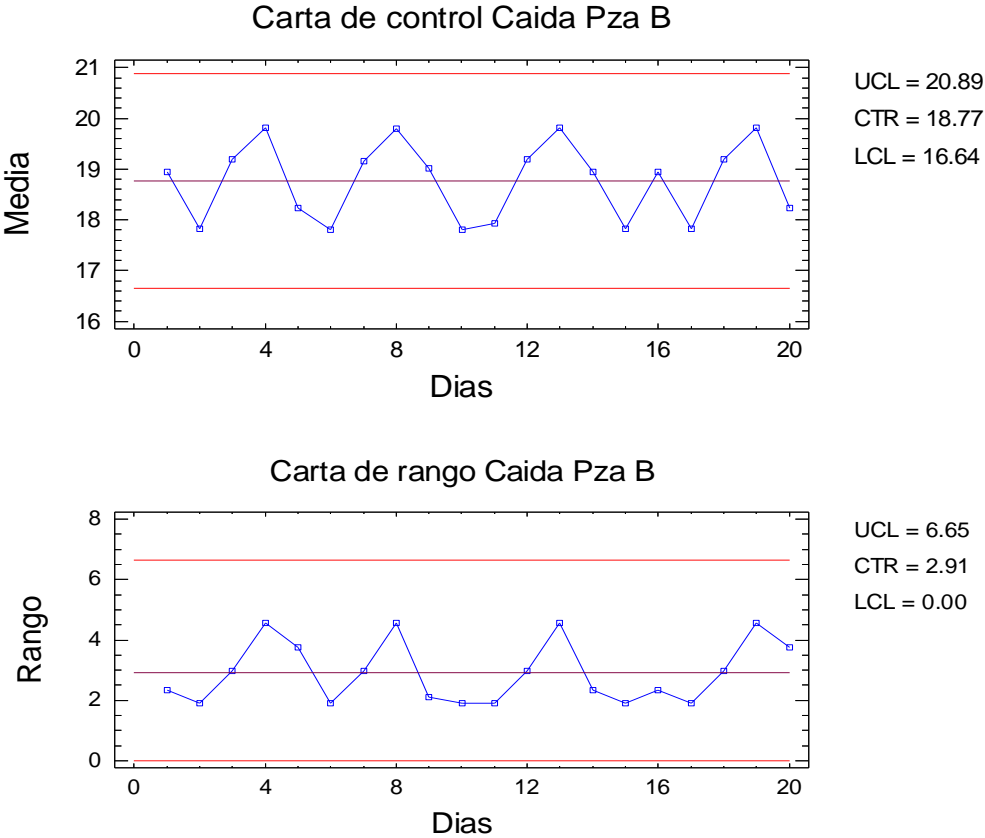


Fig. 3.20 Cartas de control de media y rango para la caída de pureza B.

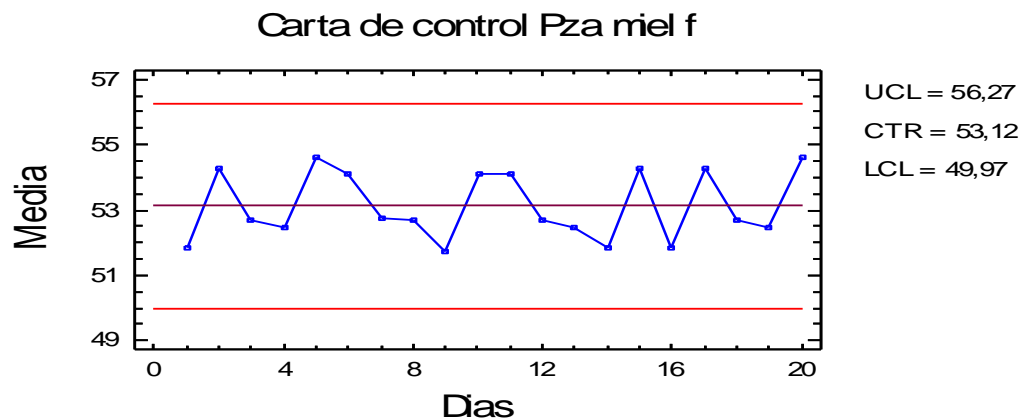
La carta de control de la variable registrada muestra que esta presentó una media igual a 18.77% y una desviación estándar igual a 1.42%. De los 20 puntos

mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente en la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

Según la norma del central la caída de pureza entre la MCB y la miel obtenida debe ser de al menos 18%, ya que la media de la variable estudiada durante este periodo fue de 18.77% se puede declarar que el parámetro analizado cumple con lo establecido.

3.4.2.5 Análisis de la pureza de la miel final.

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.



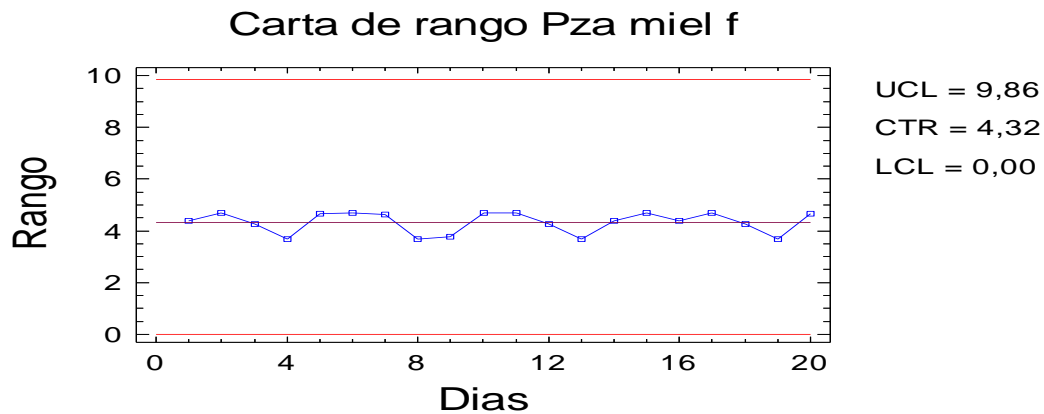


Fig. 3.21 Cartas de control de media y rango para la pureza de la miel final.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 53.12% y una desviación estándar igual a 2.07. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros podemos rechazar la hipótesis que el proceso está dentro de control estadístico con un 90% de confianza. Ambas gráficas muestran que los puntos muestreados se encuentran en un estado de control estadístico.

Según Honing (1987) la pureza de una miel final debe ser de alrededor de los 39.5% para un sistema de dos masas cocidas, mientras que la norma del central plantea que la miel final debe tener una pureza inferior a 38% para garantizar un eficiente trabajo de agotamiento de las mieles en la etapa de cristalización, ya que la media presentada por esta variable en el periodo muestreado fue de 53.12% no se logró este objetivo de acuerdo con los criterios de Honing (1987) y las regulaciones de operación tecnológica, permitiendo que hubieran pérdidas sensibles de azúcar por este parámetro en el proceso incurriendo en una violación de la disciplina tecnológica y en pérdidas económicas bajando la eficiencia del central por azúcar que se deja de producir.

3.4.3 Análisis de regresión de las variables tecnológicas del área de cristalización.

3.4.3.1 Análisis de regresión del modelo ajustado reductores miel final – Índice de agotamiento.

Análisis de regresión – modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: Pza. miel final

Variable independiente: Índice de agotamiento

P- valor= 0.48

Coefficiente de correlación = -0.17

R-cuadrado= 2.87 %

La grafica (ver Anexo 8) muestra los resultados de ajustar a un modelo lineal para describir la relación entre la Pureza de la miel final y el Índice de agotamiento. La ecuación del modelo ajustado es:

Pza. miel final = $35.3536 - 0.821097 \cdot I \text{ agot}$

Desde el P-valor en la tabla ANOVA es mayor o iguala a 0.10, no hay estadísticamente una relación significativa entre los reductores en la miel final y el pH jugo alcalizado al 90% de nivel de confianza o superior.

La estadística R-cuadrada indica que el modelo ajustado explica el 2.87% de la variabilidad en la Pureza de la miel final. El coeficiente correlación igual a -0.17, indica una relación débil entre las variables.

La relación entre el índice de agotamiento y la pureza de la miel obtenida como miel final debe ser inversamente proporcional, sin embargo los valores reportados y estadísticamente procesados indican que no existe relación entre estas variables

por lo cual se considera que los valores de ceniza y reductores no son confiables o el trabajo operacional en tachos es malo.

3.5 Área de centrifugación.

3.5.1 Pruebas de normalidad a las variables del área de centrifugación.

Tabla 3.5 Parámetros estadísticos del área.

	Pol Azúcar	Color Azúcar	Hum. Azúcar	Ceniza Azúcar
Media	99.34	9.91	0.18	0.13
Varianza	0.00	1.84	0.00	0.00
Des. Estándar	0.03	0.90	0.02	0.03
Mínimo	99.25	8.00	0.16	0.10
Máximo	99.39	13.00	0.20	0.18
Asimetría	-1.83	0.70	-0.30	1.16
Kurtosis	1.91	-0.16	-1.05	-1.12
Coef. variación	0.03	13.63	7.56	23.09

Tabla 3.5 Parámetros estadísticos del área. Continuación.

	Insolubles	Dextrana	Tamaño	Partículas
--	------------	----------	--------	------------

	Azúcar	Azúcar	Del grano	Ferromagnéticas
Media	0.03	236.98	73.78	4.42
Varianza	0.00	18.72	46.58	4.04
Des. Estándar	0.00	3.08	7.29	2.05
Mínimo	0.02	226	60.00	0.22
Máximo	0.03	244	85.00	6.00
Asimetría	-0.81	-1.53	-0.19	-1.84
Kurtosis	-1.84	0.59	-0.82	-0.3
Coef. Variación	19.33	1.83	9.29	44.82

Fuente: *STARGRAFIC*

En la tabla anterior se muestran los resúmenes estadísticos para las variables del área de extracción. Incluye los valores de tendencia central, de variabilidad, y de desviación estándar. De interés particular aquí está la asimetría y kurtosis estandarizada que pueden usarse para determinar si la muestra viene de una distribución normal. Si los valores de estas estadísticas estuvieran fuera del rango de -2 a +2 indican que no presenta una distribución normal y tendería a invalidar cualquier prueba estadística. En este caso, el valor asimetría estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor de la kurtosis estandarizada está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

3.5.2 Análisis de las variables tecnológicas en el área de centrifugación.

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.

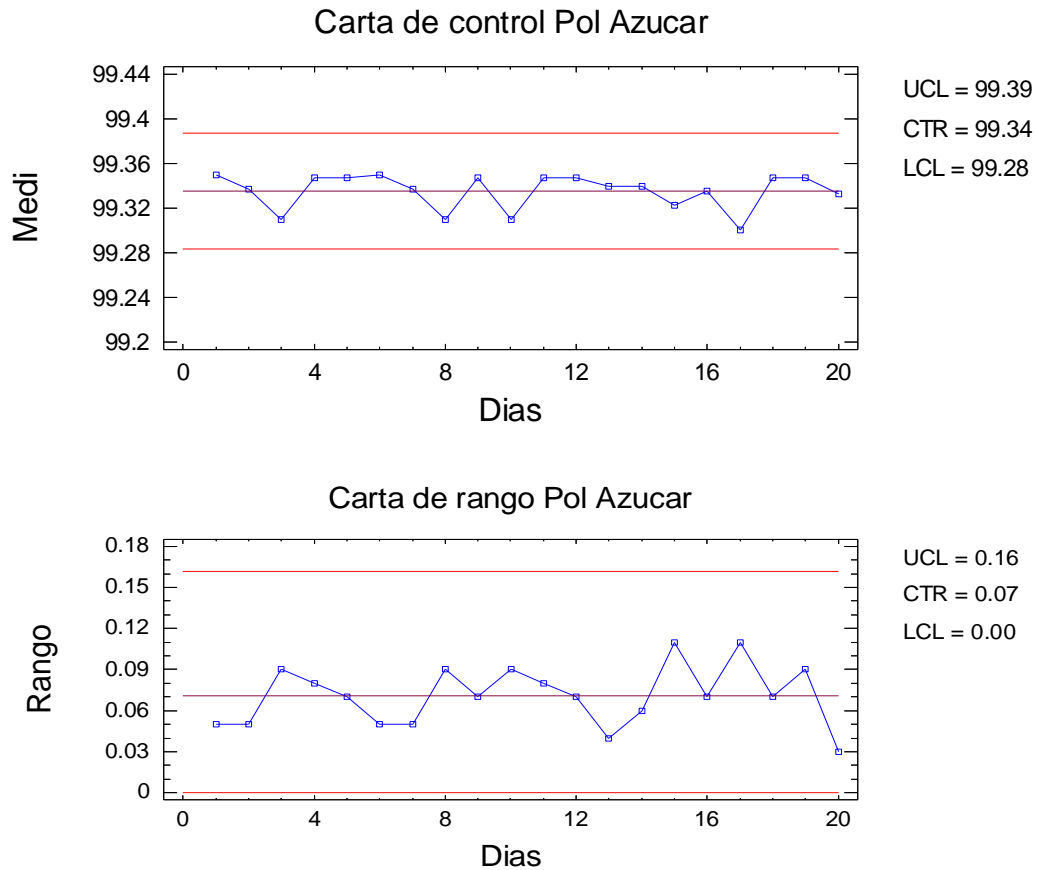


Fig. 3.22 Cartas de control de media y rango para la Pol del azúcar.

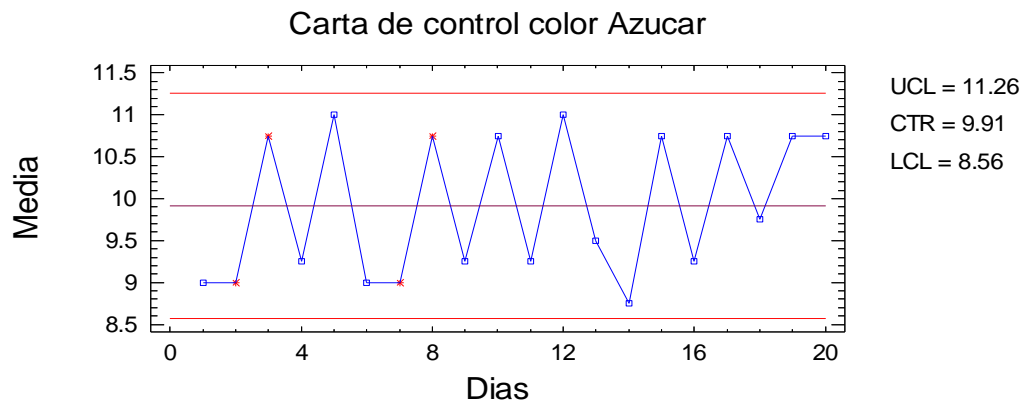
La carta de control muestra que la variable presentó una media igual a 99.34% y una desviación estándar igual a 0.03%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente en la primera carta se muestra como la variable

controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

De acuerdo con las Normas Cubanas – 85 (2011) el mercado mundial exige un contenido de Pol mayor que el 99% para el azúcar comercial, ya que el contenido de Pol en la azúcar durante el periodo muestreado fue de 99.34% este parámetro cumple con lo establecido según los estándares.

3.5.2.2 Análisis del color del azúcar

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.



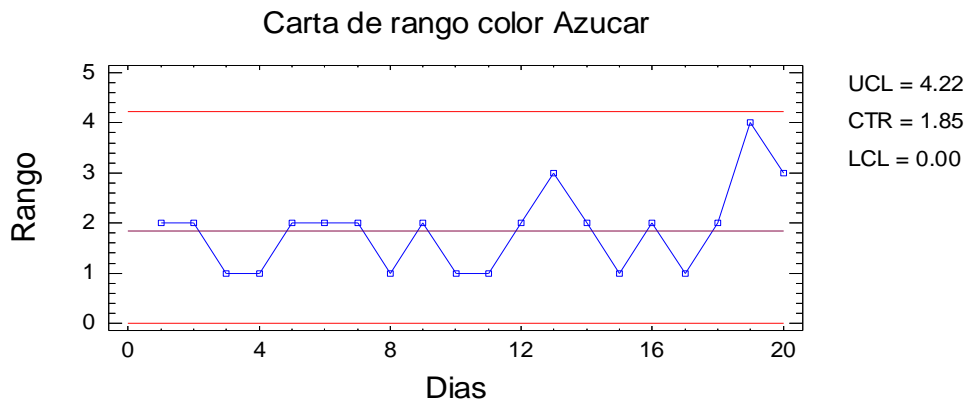


Fig. 3.23 Cartas de control de rango y media para el color del azúcar.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 9.91 HC y una desviación estándar igual a 0.9 HC. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

El color Horne debe presentar un valor máximo de 15 HC para cumplir los estándares de venta y distribución, ya que la media de este parámetro durante el periodo muestreado fue de 9.91 HC cumple con lo establecido por lo que se puede apreciar que no hubo daños sensibles a los reductores durante el proceso productivo que afectara la calidad del producto final y esto cumple con lo establecido por Enmienda (2001).

3.5.2.3 Análisis de la humedad del azúcar

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.

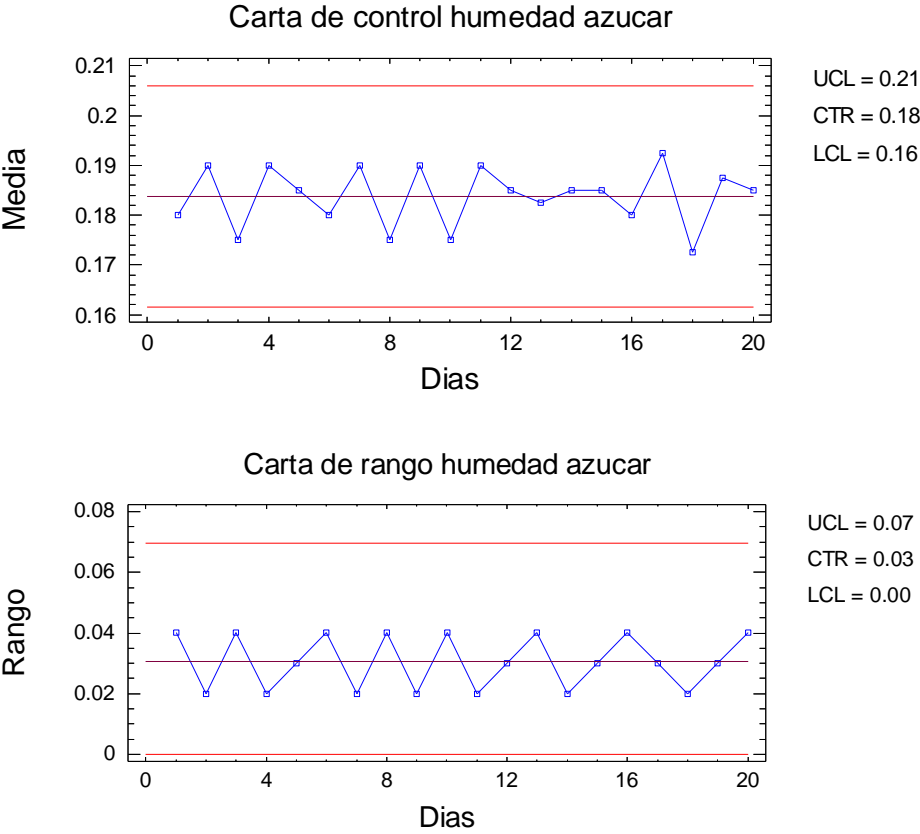


Fig.

3.24 Cartas de control de media y rango para la humedad del azúcar.

La media presentada por la variable fue de 0.18% con una desviación estándar igual a 0.02%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras que ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente se muestra en la primera carta que la variable se mueve dentro de los límites permisibles para que esta tenga un comportamiento normal, mientras que la segunda se puede observar que la varianza en los puntos muestreados no es significativa, ratificándose la estabilidad del proceso.

La humedad presente en la azúcar comercial no debe presentar un valor mayor a las 0.20% para cumplir con los estándares internacionales de la calidad del producto, ya que la media de esta variable durante el periodo muestreado fue de 0.18% la variable cumple con lo establecido según las Normas Cubanas - 85 (2011). Demostrando que la etapa de centrifugación logra extraer toda la humedad requerida.

3.5.2.4 Análisis de las cenizas del azúcar

Los resultados obtenidos del análisis de la variable mencionada se muestran a continuación.

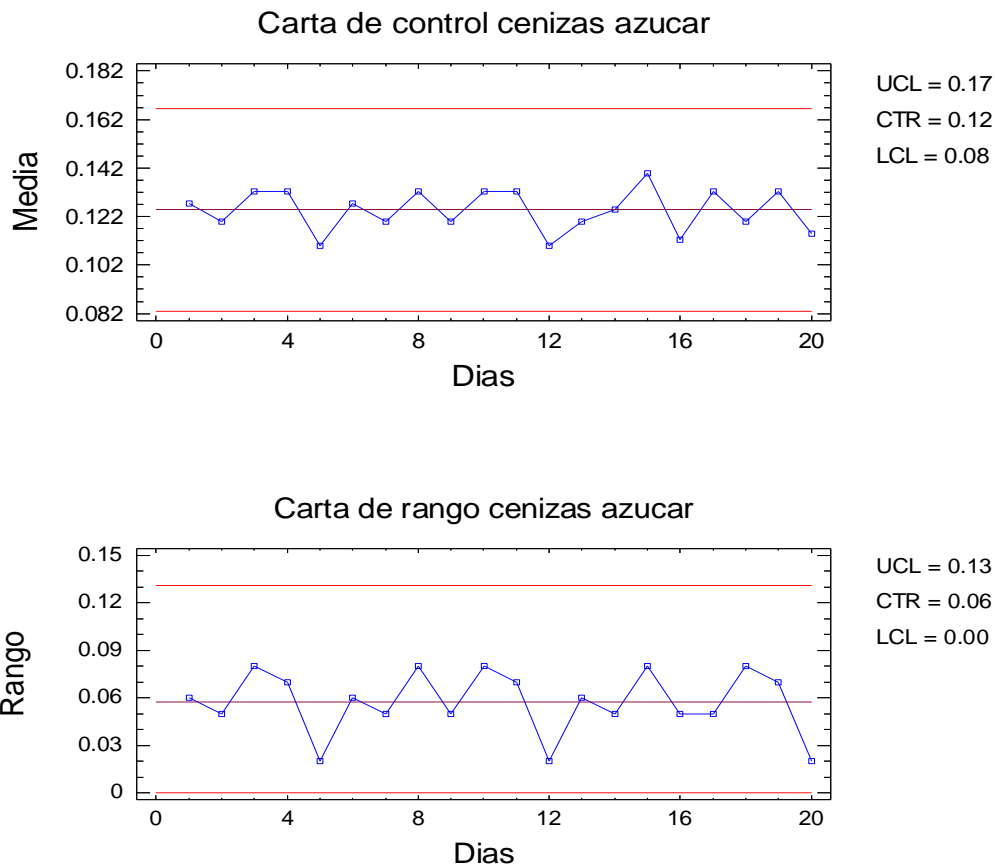


Fig. 3.25 Cartas de control de media y rango para las cenizas del azúcar.

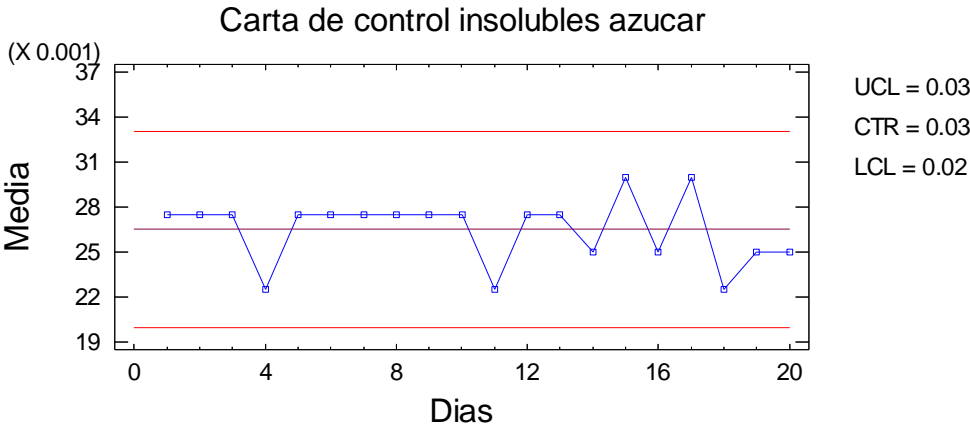
La carta de control mostró que la variable durante el periodo trabajado presentó una media igual a 0.13% y una desviación estándar igual a 0.03%. De los 20

puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

El valor máximo de cenizas en la azúcar comercial para cumplir los estándares de venta y distribución debe ser de 0.20%, dado que la media de este parámetro durante el periodo muestreado fue de 0.13% lo cual está muy por debajo de la norma garantizando los estándares de calidad establecido por la *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (1998)

3.5.2.5 Análisis de los insolubles del azúcar

A continuación se muestra las cartas de control obtenida para la variable mencionada.



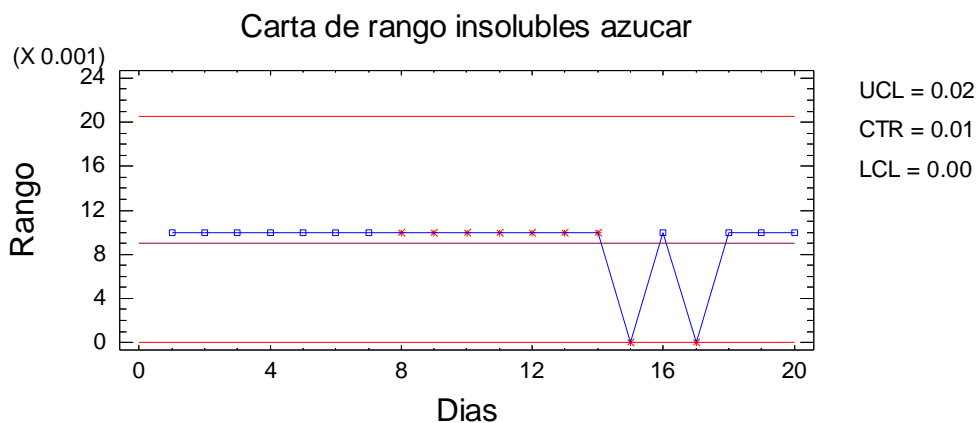


Fig. 3.26 Cartas de control de media y rango para insolubles del azúcar.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 0.03% y una desviación estándar igual a 0. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior, aunque esta muestra que la tendencia de los valores es a encontrarse sobre la media lo que indica poca variabilidad en el proceso.

El valor máximo de insolubles en la azúcar comercial para cumplir los estándares de venta y distribución debe ser de 0.04%, ya que la media para este parámetro durante el periodo muestreado fue de 0.03% el parámetro cumple con lo establecido en las Normas Cubanas – 85 (2011)

3.5.2.6 Análisis de la dextrana en azúcar

Los resultados obtenidos del análisis de la variable mencionada se muestran a continuación.

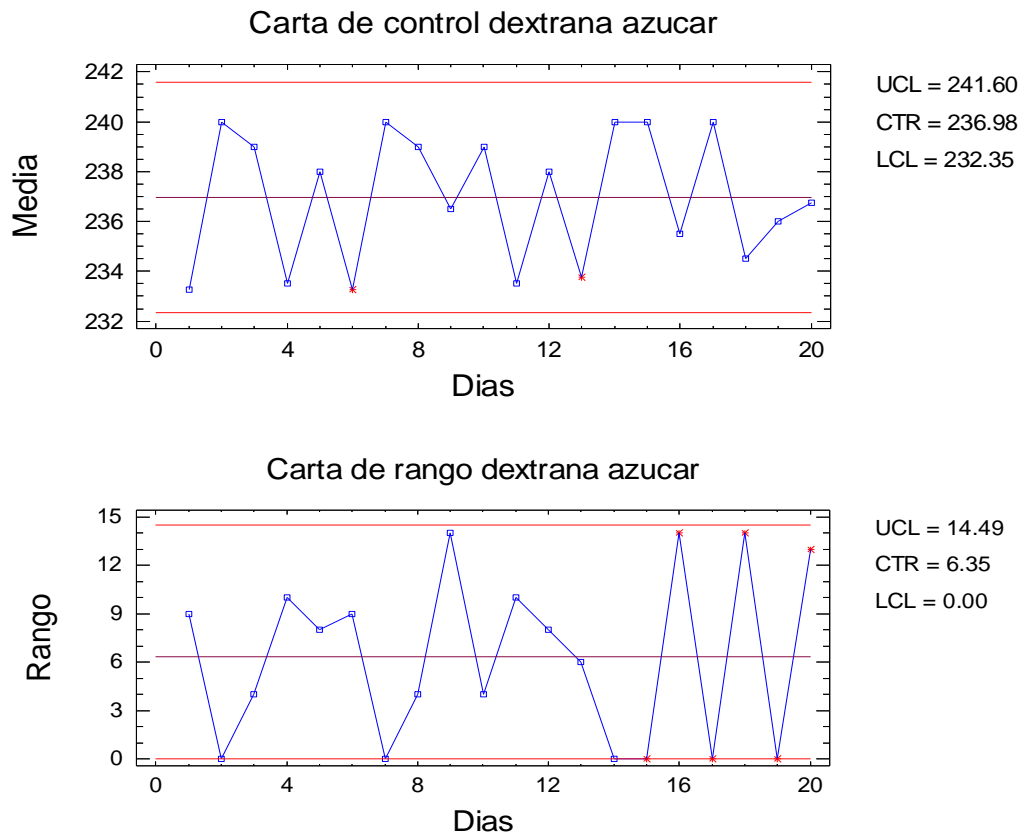


Fig. 3.27 Cartas de control de media y rango para la dextrana del azúcar.

La carta de control muestra que la variable durante el periodo estudiado presentó media igual a 236.98 ppm y una desviación estándar de 3.08 ppm. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

La dextrana presente en la azúcar comercial no debe presentar un valor mayor a las 300 ppm, por lo que la variable cumple con los criterios de Pérez (2006), ya que la media de este parámetro es de 236.98 ppm dando a entender que las medidas de asepsia son eficientes no dejando proliferar a los microorganismos por lo que no hay pérdidas sensibles de azúcar a producir por la acción de estos.

3.5.2.7 Análisis del tamaño del grano.

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.

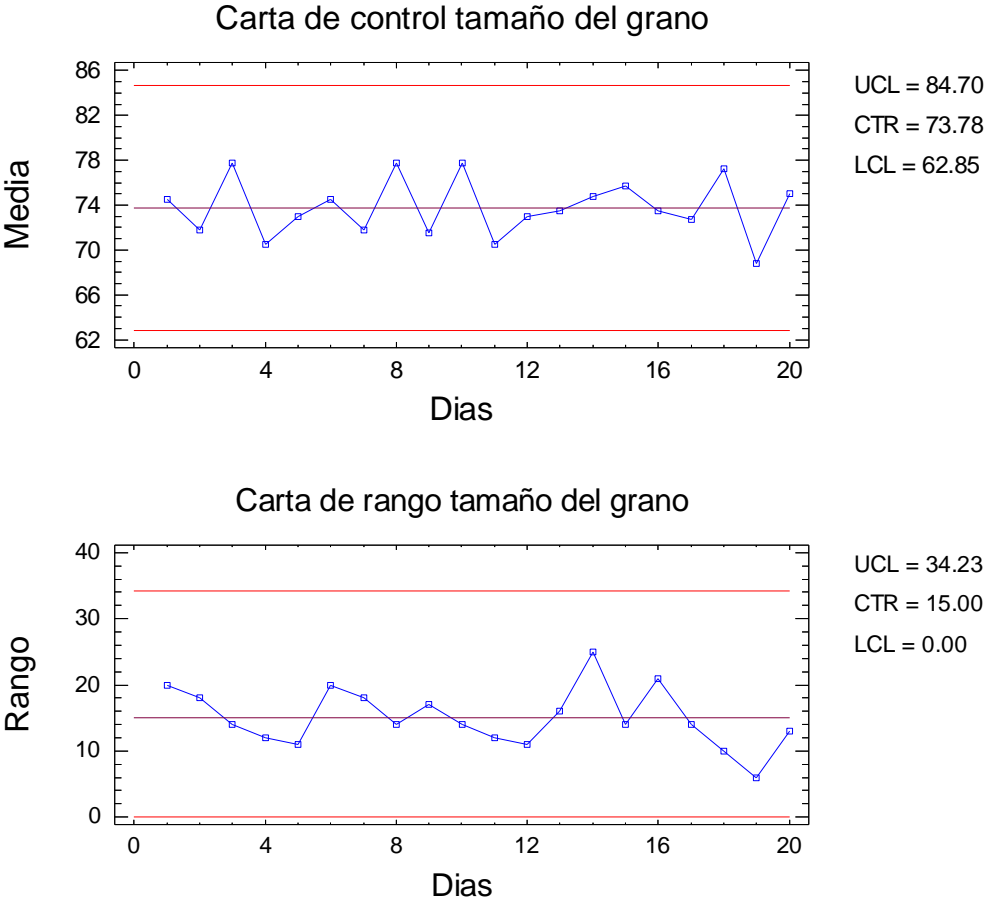


Fig. 3.28 Cartas de control de media y rango para el tamaño del grano.

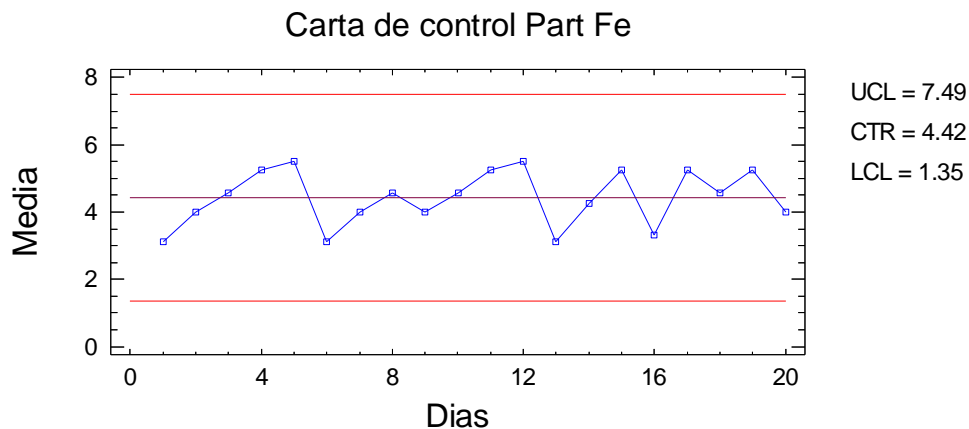
La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 73.78% y una desviación estándar igual a 7.29%. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los

límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. Estadísticamente en la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es relativamente pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

El tamaño del grano debe presentar un valor mínimo de 60% sobre malla 20 para cumplir los estándares de venta y distribución, dado que la media es de 73.78% se pudo apreciar que esta variable cumple con los criterios de Spencer, Meade (1963) y que la operación en la estación de tachos logra alcanzar los estándares para el crecimiento del grano.

3.5.2.8 Análisis de las partículas ferromagnéticas en el azúcar

Las cartas de control obtenidas para la variable mencionada se muestran a continuación.



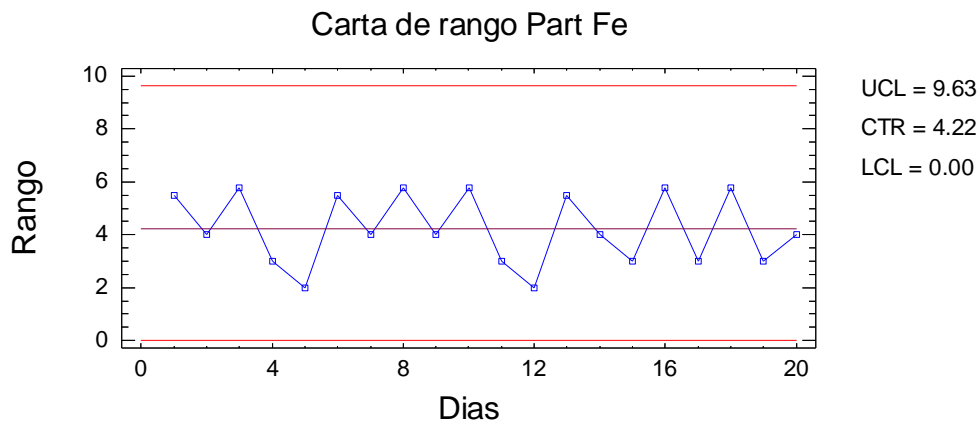


Fig. 3.29 Cartas de control de media y rango para las partículas ferromagnéticas en el azúcar.

La carta de control se construye bajo la asunción de que los datos vienen una distribución normal con una media igual a 4.42 ppm y una desviación estándar igual a 2.05 ppm. Estos parámetros se estimaron de los datos. De los 20 puntos mostrados en las cartas, ninguno está más allá de los límites en la primera carta, mientras ninguno está más allá de los límites en la segunda carta. Desde que la probabilidad de ver 1 o más puntos más allá de los límites sólo por casualidad es 0 si los datos vienen de la distribución supuesta, nosotros no podemos rechazar la hipótesis que el proceso está en un estado de control estadístico con un 90% de confianza o superior. En la primera carta se muestra como la variable controlada se mueve dentro de los límites permisibles para que el proceso esté en control, mientras que en la segunda se muestra que la diferencia del valor máximo y mínimo en el punto es pequeña ratificando que el proceso se encuentra en control estadístico.

El valor máximo de partículas Ferromagnéticas presentes en la azúcar comercial para cumplir los estándares de venta y distribución debe ser de 6 ppm, ya que la media de este parámetro en el periodo muestreado fue de 4.42 ppm se logran los parámetros establecidos por la *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (1998) cumpliendo con la norma establecida para la comercialización de este producto.

Conclusiones

1. A través del estudio estadístico realizado a los principales parámetros de la zafra 2016-2017 se determinan los principales incumplimientos tecnológicos, ocurridos en la producción de azúcar crudo en el Central Rene Fraga.
2. Mediante el análisis estadístico de los parámetros operacionales y su comparación con las normas tecnológicas se define que :
 - No se cumple con la disciplina tecnológica en el área de extracción del jugo debido a que no existe correlación entre los parámetros de interés en el área, además hay violaciones a la norma de algunos indicadores como la caña molida y la Pol en bagazo.
 - En el área de purificación del jugo no se cumple con la disciplina tecnológica debido a que hay violaciones a la norma de algunos indicadores como el pH del jugo alcalizado, la pureza y el pH del jugo clarificado y la Pol en cachaza.
 - Hay violaciones a la disciplina tecnológica en el área de evaporación del jugo debido a que no se cumple con la norma de algunos indicadores como el Brix y la pureza de la meladura.
 - No existe correlación entre los parámetros analizados en el área, por lo que no se cumple con la disciplina tecnológica en el área de cristalización, además hay violaciones a la norma de la pureza de la MCB y la pureza de la miel final.
 - Todos los parámetros analizados en el área de centrifugación cumplen con las normas internacionales de calidad establecidas para este producto.
3. Las principales afectaciones a la calidad del proceso se encuentran en las perdidas de la Pol en bagazo, en cachaza y en miel final por lo que se ve afectada la producción del central por azúcar que se deja de producir incurriendo en pérdidas económicas sensibles para la industria.

Recomendaciones

1. Es necesario tomar las medidas necesarias para lograr un mayor aprovechamiento de la capacidad de molienda y adecuar la cantidad de agua de imbibición a la cantidad de caña molida y su contenido de fibra.
2. Revisar los parámetros operacionales del filtro de cachaza, fundamentalmente las presiones de alto y bajo vacío e instalar vacuómetros para controlar este parámetro.
3. Elevar la molienda para garantizar el vapor suficiente para la estación de evaporación.
4. Realizar un trabajo de la evaluación del comportamiento de los reductores desde el jugo alcalizado hasta la meladura.
5. Elevar la eficiencia de agotamiento del sistema de dos masas cocidas o aplicar y evaluar otro sistema de masas cocidas que permita el agotamiento de la miel final.

Referencias bibliográficas

1. Abaurrea, Jesús, Cebrián, Ana Carmen. (2004). Fiabilidad y análisis de supervivencia, Universidad de Zaragoza.
2. Agüero, Carlos J. Pisa, Jorge R. y Andina, Roberto L. (2006). Investigación y Desarrollo. Consideraciones Sobre el Aprovechamiento Racional del Bagazo de Caña como Combustible. ISSN 1668-9178.
3. Aguilar Rivera, Noé. (2010). Perfil competitivo de la agroindustria azucarera de caña de azúcar. México: Editorial Veracruz.
4. Aracil, J. (1995). Dinámica de sistemas. 1ra ed. Madrid: Gráficas Marte, ISBN 84-68338.
5. Batule, E. (2009). El control Químico y de Proceso en la Industria Azucarera. San Salvador. ISBN-9977-54D56X
6. BAZDREAM. (2004). Biomasa como fuente de alimento, energía, derivados y su relación con la preservación del medioambiente. Revista ATAC. Editorial ATAC. Julio-Diciembre.
7. Blackwell L, John. (2002). Los Desarrollos Recientes en el Procesamiento del Azúcar. Revista I. S. J. No 1237.
8. Calidad del azúcar. (2010). Influencias de las etapas del proceso. Acciones del ingeniero. GEA, Matanzas.
9. Carrazana R.L. (1987). Análisis Agroindustrial Azucarero. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
10. CEN, (1979). NC 92-21:79: Control de Calidad. Procedimiento para Evaluar la Anormalidad de las Observaciones., Comité Estatal de Normalización (Cuba).
11. Clark, J. A. (1975). Tecnología General de la Producción de Azúcar Crudo. Dpto. de Capacitación del MINAZ.
12. CODEX STAN 212 -1999 (Enmienda-2001) Norma del CODEX para los azúcares.

13. **Conferencia del Azúcar en la Revista "The Economist" con el Gobierno de Cuba. (22-24 de Febrero de 1999).** La Agroindustria Azucarera en Cuba. Transformaciones y Perspectivas. **La Habana.**
14. Díaz Suárez, S. (1999). Comportamiento de los azúcares reductores en el proceso de obtención de azúcar crudo. Influencia en el agotamiento de la miel final. Tesis de Maestría.
15. Diehl M. and Stroebe W. (1991). Productivity Loss in Idea-Generating Groups: Tracking Down the Blocking Effect. *Journal of Personality and Social Psychology* 61 (3): 392–403
16. Domínguez Alonso, Félix. J. y Orosco, Jesús L. (2001) Purificación de Mieles Intermedias. Parte I. *Revista Avanzada Científica IDICT* ISSN 1029-3450
17. Espinosa Pedraja, R. (1984). *Sistemas de utilización del calor.* Editorial Pueblo y Educación.
18. Gálvez, G. (2003). Estado actual de la agricultura cubana, notas del curso de Maestría de Gestión de Cooperativas, FLACSO, UH, 30 pp.
19. García Díaz, Emilio. P. (1999). Mejoras al equipamiento del proceso tecnológico. CAI Manuel Martínez Prieto. Tomo III. Ciudad de la Habana.
20. García, J.M. (2013). *Dinámica de sistemas: Conceptos.* ISSN 1988 7205.
21. Ortiz, Gil y Marcos, Juan. (2007) Intensificación del proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar con el uso de surfactantes aniónicos en el agua de imbibición.
22. Goldberg, J. (2003). *Statistical Analysis.* En BREIT, K., et al. *The Gnumeric Manual. GNOME Documentation Project,* Capítulo 6, Sección 6.2.
23. González, J. (2009). Control de calidad en procesos.
24. Guerra, J. y Sevilla, E. (1985). *Introducción al análisis químico para procesos.*
25. Herrero Silva, V. (1990). *Manual práctico de fabricación de azúcar de caña.* La Habana, Cuba. Editorial Pueblo y Educación.
26. Himmenblau, David Mautne. (1978). *Fault detection and diagnosis in Chemical and petrochemical process.*

27. Honig, P. (1987). Principios de Tecnología Azucarera (Tomos I y II). Editorial Edición Revolucionaria.
28. Hugot E. (1987). Manual para ingenieros azucareros. Tomo I y II.
29. Jack, H. (2003). *Engineer On A Disk - Quality Control [on-line]*, Grand Valley State University, Allendale, MI (USA), disponible en <<http://claymore.engineer.gvsu.edu/eod/pdf/quality.pdf>>.
30. Jenkins, G. (1971). Introducción a la tecnología del azúcar de caña Tomo I. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
31. Manual de Instrucciones del Laboratorio y el Manual de Operaciones. (2010). El control químico, Capítulo 13, Sección 13.2.
32. Martínez, T. (1990) "Purificación de mieles intermedias". Informe técnico. (MINAZ), 1947 MINAZ. Clarificación de miel B en el CAI Amistad con los Pueblos. Informe técnico. Viceministro de Industria. (La Habana)
33. Martínez, N. y Nemirovitch, P. (1985). Proceso de purificación del jugo en la industria azucarera. Universidad de Camagüey, Facultad de Ingeniería Química.
34. Nova González, A. (2004.). Redimensionamiento y diversificación de la agroindustria azucarera cubana. Centro de Estudio de la Economía Cubana. Universidad de La Habana.
35. Pedrosa Puertas, R. (1983). Fabricación de Azúcar Crudo. Editorial Pueblo y Educación
36. Posada, E. D. (1987). Tecnología de la Producción Azucarera. ISPJAE.
37. *Methods Book with First Supplement (1998). International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. England.*
38. Morales Zamora, M. y Gonzales Suarez, E. (2016). Evaluación de la fiabilidad en una industria diversificada a partir de la reconversión de sus instalaciones. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
39. Morrel Torres, I. (1985). Tecnología azucarera. Editorial Pueblo y Educación
40. Rodríguez, M. (1997). Estudio de las mieles finales cubanas. Informe interno, ICIDCA.

41. Pérez Sanfiel, F. H. y col. (2006). Métodos Analíticos para Azúcar Crudo, Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ).
42. Rosa, Elena. (1996). Análisis de alternativas de inversión en la industria química considerando la fiabilidad de los equipos. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.
43. Spencer, E. F. and Meade, G. P. (1963) *Cane Sugar Handbook, 9th. ed., John Wiley and Sons, Inc.*
44. Sustaita, Gabriel. (2005). Modelo estratégico para la industria azucarera regional”. Tesis Final MBA, Universidad Católica del Norte Santo Tomás de Aquino, Fundación del Tucumán y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
45. *The Standard Laboratory Manual for Australian Sugar Mills,(1991) Volume 2, Analytical methods and tables, Bureau of Sugar Experiment Stations, Brisbane, Australia.*
46. Todinov, Michael. (2005). *Reliability and risk models setting reliability requirements. John Wiley & Sons Ltd, England.*
47. Yañez, Medardo; Joglar, Francisco; Modarres, Mohammad. (2002). *Generalized Renewal Process for Analysis of Repairable Systems with Limited failure experience. Reliability Engineering and System Safety Analysis Journal, Vol. 77,*

Anexo 1: Datos del área de extracción.

Corridas	Bx jugo mez	Pza jugo mez	agua imb	Pol bagazo	hum bagazo	P ult molino	caña molida	agua/ caña
1	14.10	80.78	501.08	2.07	48.96	2348.96	2707.07	18.51
2	13.85	80.51	197.19	2.24	49.11	2449.11	1988.07	9.92
3	14.33	80.46	358.05	2.11	48.94	2413.94	2404.16	14.89
4	14.61	80.56	409.43	2.21	49.05	2549.05	2071.35	19.77
1	14.68	80.25	395.83	2.19	48.26	2348.26	2335.07	16.95
2	14.82	80.23	442.73	2.22	49.30	2449.30	1627.40	27.20
3	14.26	80.48	327.60	2.25	48.69	2248.69	2438.58	13.43
4	14.52	80.62	392.86	2.09	48.77	2348.77	2153.52	18.24
1	14.30	79.93	409.38	2.16	48.70	2348.70	1555.46	26.32
2	15.01	80.14	249.65	2.11	48.67	2348.67	2897.76	8.62
3	15.38	80.30	500.44	2.21	48.75	2603.75	2659.97	18.81
4	14.70	81.10	456.98	2.14	48.95	2398.95	2777.54	16.45
1	14.72	81.22	472.46	2.16	48.87	2295.87	2563.05	18.43
2	14.60	80.64	461.61	2.09	49.17	2511.17	2686.81	17.18
3	14.60	81.49	537.63	2.14	49.18	2479.18	1974.70	27.23
4	14.54	81.54	480.44	2.13	49.44	2449.44	2304.92	20.84
1	14.54	81.37	290.42	2.17	49.35	2349.35	2282.46	12.72
2	14.57	80.44	466.53	2.09	49.22	2603.22	2396.99	19.46
3	14.55	81.44	504.09	2.10	49.33	2449.33	2509.45	20.09
4	14.80	81.20	566.13	2.17	49.21	2509.21	2634.33	21.49
1	13.85	80.51	197.19	2.24	49.11	2449.11	2071.35	9.52
2	14.33	80.46	358.05	2.11	48.94	2413.94	2335.07	15.33

3	14.61	80.56	409.43	2.21	49.05	2549.05	1627.40	25.16
4	14.68	80.25	395.83	2.19	48.26	2348.26	2438.58	16.23
1	14.82	80.23	442.73	2.22	49.30	2449.30	2153.52	20.56
2	14.26	80.48	327.60	2.25	48.69	2248.69	1555.46	21.06
3	14.52	80.62	392.86	2.09	48.77	2348.77	2897.76	13.56
4	14.30	79.93	409.38	2.16	48.70	2348.70	2659.97	15.39
1	15.01	80.14	461.61	2.11	48.67	2348.67	2777.54	16.62
2	15.38	80.30	537.63	2.21	48.75	2603.75	2563.05	20.98
3	14.70	81.10	480.44	2.14	48.95	2398.95	2686.81	17.88
4	14.72	81.22	290.42	2.16	48.87	2295.87	1974.70	14.71
1	14.60	80.64	249.65	2.09	49.17	2511.17	2304.92	10.83
2	14.60	81.49	500.44	2.14	48.38	2479.18	2282.46	21.93
3	14.54	81.54	456.98	2.13	48.44	2449.44	2396.99	19.06
4	14.54	81.37	472.46	2.17	49.35	2349.35	2509.45	18.83
1	14.57	81.44	327.60	2.09	49.22	2603.22	2634.33	12.44
2	14.55	81.44	392.86	2.10	49.33	2449.33	2071.35	18.97
3	14.68	80.25	409.38	2.19	48.26	2348.26	2335.07	17.53

4	14.82	80.23	249.65	2.22	49.30	2449.30	1627.40	15.34
1	14.26	80.48	466.53	2.25	48.69	2248.69	2438.58	19.13
2	14.52	80.62	504.09	2.09	48.77	2348.77	2153.52	23.41
3	14.30	79.93	395.83	2.16	48.70	2348.70	1555.46	25.45
4	15.01	80.14	442.73	2.11	48.67	2348.67	2897.76	15.28
1	15.38	80.30	500.44	2.21	48.75	2603.75	2659.97	18.81
2	14.70	81.10	456.98	2.14	48.95	2398.95	1974.70	23.14
3	14.72	81.22	472.46	2.16	48.87	2295.87	2304.92	20.50
4	14.30	79.93	409.38	2.16	48.70	2348.70	2282.46	17.94
1	15.01	80.14	249.65	2.11	48.67	2348.67	2396.99	10.42
2	15.38	80.30	500.44	2.21	48.75	2603.75	2509.45	19.94
3	14.70	81.10	456.98	2.14	48.95	2398.95	2634.33	17.35
4	14.72	81.22	472.46	2.16	48.87	2295.87	2071.35	22.81
1	14.60	80.64	461.61	2.09	49.17	2511.17	2335.07	19.77
2	14.60	81.49	537.63	2.14	49.18	2479.18	1627.40	33.04
3	14.54	81.54	480.44	2.13	49.44	2449.44	2438.58	19.70
4	14.54	81.37	290.42	2.17	49.35	2349.35	2153.52	13.49
1	14.57	81.44	327.60	2.09	49.22	2603.22	1555.46	21.06
2	14.55	81.44	392.86	2.10	49.33	2449.33	2897.76	13.56
3	14.80	81.20	409.38	2.17	49.21	2509.21	2659.97	15.39
4	13.85	80.51	249.65	2.24	49.11	2449.11	1627.40	15.34
1	14.33	80.46	466.53	2.11	48.94	2413.94	2438.58	19.13
2	14.61	80.56	504.09	2.21	49.05	2549.05	2153.52	23.41
3	14.68	80.25	566.13	2.19	48.26	2348.26	1555.46	36.40
4	14.82	80.23	197.19	2.22	49.30	2449.30	2897.76	6.80

1	14.26	80.48	500.44	2.25	48.69	2248.69	2659.97	18.81
2	14.52	80.62	456.98	2.09	48.77	2348.77	2777.54	16.45
3	14.30	79.93	472.46	2.16	48.70	2348.70	2563.05	18.43
4	15.01	80.14	461.61	2.11	48.67	2348.67	2686.81	17.18
1	15.38	80.30	358.05	2.21	48.75	2603.75	1974.70	18.13
2	14.70	81.10	409.43	2.14	48.95	2398.95	2304.92	17.76
3	14.72	81.22	395.83	2.16	48.87	2295.87	2282.46	17.34
4	14.60	80.64	442.73	2.09	49.17	2511.17	2396.99	18.47
1	14.60	81.49	537.63	2.14	49.18	2479.18	2509.45	21.42
2	14.80	81.20	566.13	2.17	49.21	2509.21	2634.33	21.49
3	13.85	80.51	197.19	2.24	49.11	2449.11	2071.35	9.52
4	14.33	80.46	358.05	2.11	48.94	2413.94	2335.07	15.33
1	14.61	80.56	409.43	2.21	49.05	2549.05	2707.07	15.12
2	14.68	80.25	395.83	2.19	48.26	2348.26	1988.07	19.91
3	14.82	80.23	442.73	2.22	49.30	2449.30	2404.16	18.42
4	14.26	80.48	327.60	2.25	48.69	2248.69	2071.35	15.82

Fuente: Sabana de datos del central Rene Fraga

Anexo 2: Datos área de purificación.

Corridas	pH jugo alc	Ts int(°C)	Bx jugo cla	Pza jugo cla	pH jugo cla	Pol cach
1	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
2	8.20	102.00	14.64	81.15	6.70	4.44
3	8.30	101.00	14.46	81.12	6.70	5.33
4	7.90	103.00	15.01	81.08	6.80	5.14
1	8.00	103.00	14.87	80.90	6.70	4.97
2	7.60	103.00	14.95	80.33	6.80	5.43

3	8.00	103.00	14.90	81.01	6.90	6.08
4	7.50	104.00	14.84	80.53	6.80	6.55
1	8.10	104.00	14.59	80.19	6.60	5.69
2	8.50	103.00	14.92	81.17	6.90	5.88
3	8.10	102.00	14.73	81.60	6.90	4.98
4	8.10	104.00	14.91	80.35	6.70	6.56
1	8.20	103.00	15.02	81.09	6.90	5.57
2	8.10	103.00	14.71	80.76	6.80	7.27
3	7.70	102.00	15.07	80.62	6.70	5.09
4	8.30	101.00	14.47	80.23	6.70	5.18
1	7.90	104.00	14.46	80.91	6.80	4.88
2	7.70	103.00	15.17	80.42	6.80	5.69
3	8.00	103.00	14.43	80.46	6.70	5.48
4	8.30	102.00	14.42	80.65	6.80	5.03
1	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
2	8.20	102.00	14.64	81.15	6.70	4.44
3	8.30	101.00	14.46	81.12	6.70	5.33
4	7.90	103.00	15.01	81.08	6.80	5.14
1	8.00	103.00	14.87	80.90	6.70	4.97
2	7.60	103.00	14.95	80.33	6.80	5.43
3	8.00	103.00	14.90	81.01	6.90	6.08
4	7.50	104.00	14.84	80.53	6.80	6.55
1	8.10	104.00	14.59	80.19	6.60	5.69
2	8.20	103.00	15.02	81.09	6.90	5.57
3	8.10	103.00	14.71	80.76	6.80	7.27

4	7.70	102.00	15.07	80.62	6.70	5.09
1	8.30	101.00	14.47	80.23	6.70	5.18
2	7.90	104.00	14.46	80.91	6.80	4.88
3	7.70	103.00	15.17	80.42	6.80	5.69
4	8.00	103.00	14.43	80.46	6.70	5.48
1	8.30	102.00	14.42	80.65	6.80	5.03
2	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
3	8.20	102.00	14.64	81.15	6.70	4.44
4	8.30	101.00	14.46	81.12	6.90	5.33
1	7.70	103.00	15.17	80.42	6.80	5.69
2	8.00	103.00	14.43	80.46	6.70	5.48
3	8.30	102.00	14.42	80.65	6.80	5.03
4	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
1	8.20	102.00	14.64	81.15	6.70	4.44
2	8.30	101.00	14.46	81.12	6.70	5.33
3	7.90	103.00	15.01	81.08	6.80	5.14
4	8.00	103.00	14.87	80.90	6.70	4.97
1	7.60	103.00	14.95	80.33	6.80	5.43
2	8.00	103.00	14.90	81.01	6.90	6.08
3	7.50	104.00	14.84	80.53	6.80	6.55
4	8.10	104.00	14.59	80.19	6.60	5.69
1	8.20	103.00	15.02	81.09	6.90	5.57
2	8.10	103.00	14.71	80.76	6.80	7.27
3	7.70	102.00	15.07	80.62	6.70	5.09
4	8.30	101.00	14.47	80.23	6.70	5.18

1	8.10	103.00	14.71	80.76	6.80	7.27
2	7.70	102.00	15.07	80.62	6.70	5.09
3	8.30	101.00	14.47	80.23	6.70	5.18
4	7.90	104.00	14.46	80.91	6.80	4.88
1	7.70	103.00	15.17	80.42	6.80	5.69
2	8.00	103.00	14.43	80.46	6.70	5.48
3	8.30	102.00	14.42	80.65	6.80	5.03
4	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
1	8.20	102.00	14.64	81.15	6.70	4.44
2	8.30	101.00	14.46	81.12	6.70	5.33
3	7.70	103.00	15.17	80.42	6.80	5.69
4	8.10	103.00	14.71	80.76	6.80	7.27
1	7.70	102.00	15.07	80.62	6.70	5.09
2	8.30	101.00	14.47	80.23	7.00	5.18
3	7.90	104.00	14.46	80.91	6.80	4.88
4	7.70	103.00	15.17	80.42	6.80	5.69
1	8.00	103.00	14.43	80.46	7.00	5.48
2	8.30	102.00	14.42	80.65	6.80	5.03
3	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
4	8.20	102.00	14.64	81.15	6.80	4.44
1	8.30	101.00	14.46	81.12	6.70	5.33
2	8.30	102.00	14.42	80.65	6.80	5.03
3	8.00	103.00	14.72	81.18	6.80	5.76
4	8.20	102.00	14.64	81.15	6.70	4.44

Fuente: Sabana de datos del central Rene Fraga

Anexo 3: Datos del área de evaporación.

Corridas	Bx mel	Pza mel	PV cuerp 4
1	57.41	82.27	26.00
2	47.27	82.36	25.00
3	51.56	81.57	26.00
4	53.88	82.29	26.00
1	55.59	81.98	26.00
2	54.50	81.76	26.00
3	57.85	81.75	26.00
4	53.14	81.77	26.00
1	49.44	80.91	26.00
2	46.30	82.57	27.00
3	52.93	81.44	26.00
4	53.12	81.77	26.50
1	50.53	82.02	26.00
2	46.95	81.37	26.50
3	50.09	82.28	25.00
4	49.94	82.35	26.00
1	51.79	81.54	26.00
2	52.11	81.53	26.00
3	44.86	82.18	26.00
4	47.69	82.34	26.00
1	55.59	81.98	26.00
2	57.41	82.27	26.00
3	47.27	82.36	27.00

4	51.56	81.57	26.00
1	53.88	82.29	27.00
2	55.59	81.98	26.00
3	54.50	81.76	26.50
4	57.85	81.75	26.00
1	53.14	81.77	26.50
2	46.95	81.37	25.00
3	50.09	82.28	26.00
4	49.94	82.35	26.00
1	51.79	81.54	26.00
2	53.12	81.77	26.00
3	50.53	82.02	26.00
4	46.95	81.37	26.00
1	50.09	82.28	26.00
2	53.12	81.77	26.00
3	50.53	82.02	26.00
4	46.95	81.37	27.00
1	50.09	82.28	26.00
2	49.94	82.35	27.00
3	51.79	81.54	26.00
4	52.11	81.53	26.50
1	44.86	82.18	26.00
2	53.14	81.77	26.50
3	57.85	81.75	26.00
4	53.14	81.77	27.00

1	49.44	80.91	26.00
2	46.30	82.57	26.50
3	52.93	81.44	26.00
4	53.12	81.77	26.50
1	50.53	82.02	25.00
2	46.95	81.37	26.00
3	50.09	82.28	26.00
4	49.94	82.35	26.00
1	51.79	81.54	26.00
2	53.12	81.77	27.00
3	57.85	81.75	26.00
4	53.14	81.77	27.00
1	46.95	81.37	26.00
2	50.09	82.28	26.50
3	49.94	82.35	26.00
4	51.79	81.54	26.50
1	53.12	81.77	26.00
2	50.53	82.02	26.00
3	46.95	81.37	26.00
4	50.09	82.28	26.00
1	57.85	81.75	26.00
2	53.14	81.77	26.00
3	57.85	81.75	26.00
4	53.14	81.77	26.00
1	49.44	80.91	27.00

2	46.30	82.57	26.00
3	52.93	81.44	27.00
4	53.12	81.77	26.00
1	50.53	82.02	26.50
2	46.95	81.37	26.00
3	50.09	82.28	26.50
4	49.94	82.35	26.00

Fuente: Sabana de datos del central Rene Fraga

Anexo 4: Datos área de cristalización.

Corridas	Pza MCA	Caida Pza A	Pza MCB	Caida Pza B	Pza miel f	Red miel f	I agot
1	83.55	13.47	70.01	20.27	31.86	15.91	1,53
2	83.05	13.84	71.10	19.39	31.87	16.20	1,56
3	83.58	11.53	70.04	18.16	30.45	17.30	2,55
4	83.91	8.85	72.05	17.93	31.06	17.00	2,37
1	83.90	10.31	72.85	17.58	33.11	13.82	1,44
2	83.38	10.32	72.73	16.90	34.79	15.35	1,89
3	84.26	10.05	69.96	18.81	36.65	14.19	1,45
4	82.90	10.55	72.76	18.00	35.26	14.38	1,84
1	83.96	12.22	73.67	19.86	35.01	14.24	1,90
2	83.59	12.73	70.27	17.91	34.08	18.04	2,31
3	84.04	10.39	71.03	20.89	34.86	18.04	2,31
4	84.28	8.89	72.54	18.13	33.87	15.63	2,00
1	84.01	8.43	72.94	22.13	34.15	13.74	1,92

2	83.95	9.98	72.33	21.37	33.20	12.32	1,72
3	84.00	8.72	72.06	17.57	32.40	16.30	1,93
4	83.17	9.44	71.73	18.22	34.43	16.01	2,29
1	84.06	7.80	72.98	19.40	33.71	16.83	2,15
2	84.01	10.07	72.30	20.17	34.94	16.44	2,19
3	83.41	9.67	72.94	16.93	33.84	18.22	2,15
4	84.83	9.36	73.20	16.42	35.03	17.56	2,08
1	83.91	8.85	72.05	17.93	31.06	17.00	2,37
2	83.90	10.31	72.85	17.58	33.11	13.82	1,44
3	83.38	10.32	72.73	16.90	34.79	15.35	1,89
4	84.26	10.05	69.96	18.81	36.65	14.19	1,45
1	82.90	10.55	72.76	18.00	35.26	14.38	1,84
2	83.96	12.22	73.67	19.86	35.01	14.24	1,90
3	83.59	12.73	70.27	17.91	34.08	18.04	2,31
4	84.04	10.39	71.03	20.89	34.86	18.04	2,31
1	84.28	8.89	72.54	18.13	33.87	15.63	2,00
2	84.01	8.43	72.94	22.13	34.15	13.74	1,92
3	83.95	9.98	72.33	21.37	33.20	12.32	1,72
4	84.00	8.72	72.06	17.57	32.40	16.30	1,93
1	83.17	7.98	71.73	18.22	34.43	16.01	2,29
2	83.55	11.47	70.01	20.27	31.86	15.91	1,53
3	83.05	13.84	71.10	19.39	31.87	16.20	1,56
4	83.58	11.53	70.04	18.16	30.45	17.30	2,55
1	83.91	8.85	72.05	17.93	31.06	17.00	2,37
2	83.90	10.31	72.85	17.58	33.11	13.82	1,44

3	83.38	10.32	72.73	16.90	34.79	15.35	1,89
4	84.26	10.05	69.96	18.81	36.65	14.19	1,45
1	82.90	10.55	72.76	18.00	35.26	14.38	1,84
2	83.38	10.32	72.73	16.90	34.79	15.35	1,89
3	84.26	10.05	69.96	18.81	36.65	14.19	1,45
4	82.90	10.55	72.76	18.00	35.26	14.38	1,84
1	83.96	12.22	73.67	19.86	35.01	14.24	1,90
2	83.59	12.73	70.27	17.91	34.08	18.04	2,31
3	84.04	10.39	71.03	20.89	34.86	18.04	2,31
4	84.28	8.89	72.54	18.13	33.87	15.63	2,00
1	84.01	8.43	72.94	22.13	34.15	13.74	1,92
2	83.95	7.98	72.33	21.37	33.20	12.32	1,72
3	84.00	10.72	72.06	17.57	32.40	16.30	1,93
4	83.17	9.44	71.73	18.22	34.43	16.01	2,29
1	83.55	13.47	70.01	20.27	31.86	15.91	1,53
2	83.05	13.84	71.10	19.39	31.87	16.20	1,56
3	83.58	11.53	70.04	18.16	30.45	17.30	2,55
4	83.91	8.85	72.05	17.93	31.06	17.00	2,37
1	83.90	10.31	72.85	17.58	33.11	13.82	1,44
2	83.38	10.32	72.73	16.90	34.79	15.35	1,89
3	84.26	10.05	69.96	18.81	36.65	14.19	1,45
4	82.90	10.55	72.76	18.00	35.26	14.38	1,84
1	83.55	11.47	70.01	20.27	31.86	15.91	1,53
2	83.05	13.84	71.10	19.39	31.87	16.20	1,56
3	83.58	11.53	70.04	18.16	30.45	17.30	2,55

4	83.91	8.85	72.05	17.93	31.06	17.00	2,37
1	83.90	10.31	72.85	17.58	33.11	13.82	1,44
2	83.38	10.32	72.73	16.90	34.79	15.35	1,89
3	84.26	10.05	69.96	18.81	36.65	14.19	1,45
4	82.90	10.55	72.76	18.00	35.26	14.38	1,84
1	83.96	12.22	73.67	19.86	35.01	14.24	1,90
2	83.59	12.73	70.27	17.91	34.08	18.04	2,31
3	84.04	10.39	71.03	20.89	34.86	18.04	2,31
4	84.28	8.89	72.54	18.13	33.87	15.63	2,00
1	84.01	9.43	72.94	22.13	34.15	13.74	1,92
2	83.95	7.98	72.33	21.37	33.20	12.32	1,72
3	84.00	9.72	72.06	17.57	32.40	16.30	1,93
4	83.17	9.44	71.73	18.22	34.43	16.01	2,29
1	84.06	8.80	72.98	19.40	33.71	16.83	2,15
2	84.01	10.07	72.30	20.17	34.94	16.44	2,19
3	83.41	9.67	72.94	16.93	33.84	18.22	2,15
4	84.83	9.36	73.20	16.42	35.03	17.56	2,08

Fuente: Sabana de datos del central Rene Fraga

Anexo 5: Datos del área de centrifugación.

Corridas	Pol Azúcar	Color Azúcar	humedad Azúcar	Ceniza Azúcar
1	99.35	9.00	0.16	0.10
2	99.32	8.00	0.20	0.10
3	99.36	10.00	0.18	0.16
4	99.37	9.00	0.18	0.15

1	99.34	8.00	0.18	0.10
2	99.34	8.00	0.18	0.10
3	99.31	10.00	0.20	0.15
4	99.36	10.00	0.20	0.13
1	99.25	11.00	0.20	0.15
2	99.34	11.00	0.17	0.10
3	99.34	11.00	0.17	0.18
4	99.31	10.00	0.16	0.10
1	99.38	9.00	0.18	0.10
2	99.36	9.00	0.18	0.10
3	99.30	10.00	0.20	0.16
4	99.35	9.00	0.20	0.17
1	99.39	11.00	0.18	0.10
2	99.35	10.00	0.17	0.10
3	99.32	12.00	0.20	0.12
4	99.33	11.00	0.19	0.12
1	99.35	9.00	0.16	0.10
2	99.32	8.00	0.20	0.10
3	99.36	10.00	0.18	0.16
4	99.37	9.00	0.18	0.15
1	99.34	8.00	0.18	0.10
2	99.34	8.00	0.18	0.10
3	99.31	10.00	0.20	0.15
4	99.36	10.00	0.20	0.13
1	99.25	11.00	0.20	0.15

2	99.34	11.00	0.17	0.10
3	99.34	11.00	0.17	0.18
4	99.31	10.00	0.16	0.10
1	99.38	9.00	0.18	0.10
2	99.34	8.00	0.18	0.10
3	99.31	10.00	0.20	0.15
4	99.36	10.00	0.20	0.13
1	99.25	11.00	0.20	0.15
2	99.34	11.00	0.17	0.10
3	99.34	11.00	0.17	0.18
4	99.31	10.00	0.16	0.10
1	99.38	9.00	0.18	0.10
2	99.36	9.00	0.18	0.10
3	99.30	10.00	0.20	0.16
4	99.35	9.00	0.20	0.17
1	99.39	11.00	0.18	0.10
2	99.35	10.00	0.17	0.10
3	99.32	12.00	0.20	0.12
4	99.33	11.00	0.19	0.12
1	99.33	11.00	0.19	0.12
2	99.35	9.00	0.16	0.10
3	99.32	8.00	0.20	0.10
4	99.36	10.00	0.18	0.16
1	99.37	9.00	0.18	0.15
2	99.34	8.00	0.18	0.10

3	99.34	8.00	0.18	0.10
4	99.31	10.00	0.20	0.15
1	99.36	10.00	0.20	0.13
2	99.25	11.00	0.20	0.15
3	99.34	11.00	0.17	0.10
4	99.34	11.00	0.17	0.18
1	99.31	10.00	0.16	0.10
2	99.38	9.00	0.18	0.10
3	99.34	8.00	0.18	0.10
4	99.31	10.00	0.20	0.15
1	99.36	10.00	0.20	0.13
2	99.25	11.00	0.20	0.15
3	99.25	11.00	0.20	0.15
4	99.34	11.00	0.17	0.10
1	99.34	11.00	0.17	0.18
2	99.31	10.00	0.16	0.10
3	99.38	9.00	0.18	0.10
4	99.36	9.00	0.18	0.10
1	99.30	10.00	0.20	0.16
2	99.35	9.00	0.20	0.17
3	99.39	11.00	0.18	0.10
4	99.35	13.00	0.17	0.10
1	99.32	12.00	0.20	0.12
2	99.33	11.00	0.19	0.12
3	99.33	11.00	0.19	0.12

4 99.35 9.00 0.16 0.10

Fuente: Sabana de datos del central Rene Fraga

Corridas	Insolubles	Dextrana	Tamaño grano	Partículas Fe
1	0.03	231.00	68.00	2.00
2	0.03	231.00	80.00	0.50
3	0.03	231.00	65.00	6.00
4	0.02	240.00	85.00	4.00
1	0.02	240.00	78.00	6.00
2	0.03	240.00	60.00	2.00
3	0.03	240.00	76.00	5.00
4	0.03	240.00	73.00	3.00
1	0.03	240.00	68.00	6.00
2	0.03	240.00	82.00	6.00
3	0.03	240.00	80.00	6.00
4	0.02	236.00	81.00	0.22
1	0.02	226.00	77.00	6.00
2	0.03	236.00	71.00	6.00
3	0.02	236.00	65.00	3.00
4	0.02	236.00	69.00	6.00
1	0.03	236.00	70.00	6.00
2	0.03	236.00	71.00	6.00
3	0.03	244.00	70.00	6.00
4	0.02	236.00	81.00	4.00

1	0.03	231.00	68.00	2.00
2	0.03	231.00	80.00	0.50
3	0.03	231.00	65.00	6.00
4	0.02	240.00	85.00	4.00
1	0.02	240.00	78.00	6.00
2	0.03	240.00	60.00	2.00
3	0.03	240.00	76.00	5.00
4	0.03	240.00	73.00	3.00
1	0.03	240.00	68.00	6.00
2	0.03	240.00	82.00	6.00
3	0.03	240.00	80.00	6.00
4	0.02	236.00	81.00	0.22
1	0.02	226.00	77.00	6.00
2	0.03	240.00	60.00	2.00
3	0.03	240.00	76.00	5.00
4	0.03	240.00	73.00	3.00
1	0.03	240.00	68.00	6.00
2	0.03	240.00	82.00	6.00
3	0.03	240.00	80.00	6.00
4	0.02	236.00	81.00	0.22
1	0.02	226.00	77.00	6.00
2	0.03	236.00	71.00	6.00
3	0.02	236.00	65.00	3.00
4	0.02	236.00	69.00	6.00
1	0.03	236.00	70.00	6.00

2	0.03	236.00	71.00	6.00
3	0.03	244.00	70.00	6.00
4	0.02	236.00	81.00	4.00
1	0.02	236.00	81.00	4.00
2	0.03	231.00	68.00	2.00
3	0.03	237.00	80.00	0.50
4	0.03	231.00	65.00	6.00
1	0.02	240.00	85.00	4.00
2	0.02	240.00	78.00	6.00
3	0.03	240.00	60.00	2.00
4	0.03	240.00	76.00	5.00
1	0.03	240.00	73.00	3.00
2	0.03	240.00	68.00	6.00
3	0.03	240.00	82.00	6.00
4	0.03	240.00	80.00	6.00
1	0.02	236.00	81.00	0.22
2	0.02	226.00	77.00	6.00
3	0.03	240.00	60.00	2.00
4	0.03	240.00	76.00	5.00
1	0.03	240.00	73.00	3.00
2	0.03	240.00	68.00	6.00
3	0.03	240.00	68.00	6.00
4	0.03	240.00	82.00	6.00
1	0.03	240.00	80.00	6.00
2	0.02	236.00	81.00	0.22

3	0.02	226.00	77.00	6.00
4	0.02	236.00	71.00	6.00
1	0.02	236.00	65.00	3.00
2	0.02	236.00	69.00	6.00
3	0.03	236.00	70.00	6.00
4	0.03	236.00	71.00	6.00
1	0.03	244.00	70.00	6.00
2	0.02	236.00	81.00	4.00
3	0.02	236.00	81.00	4.00
4	0.03	231.00	68.00	2.00

Fuente: Sabana de datos del central Rene Fraga

Anexo 6: Gráfico del modelo ajustado Bx jugo mezclado – agua imbibición.

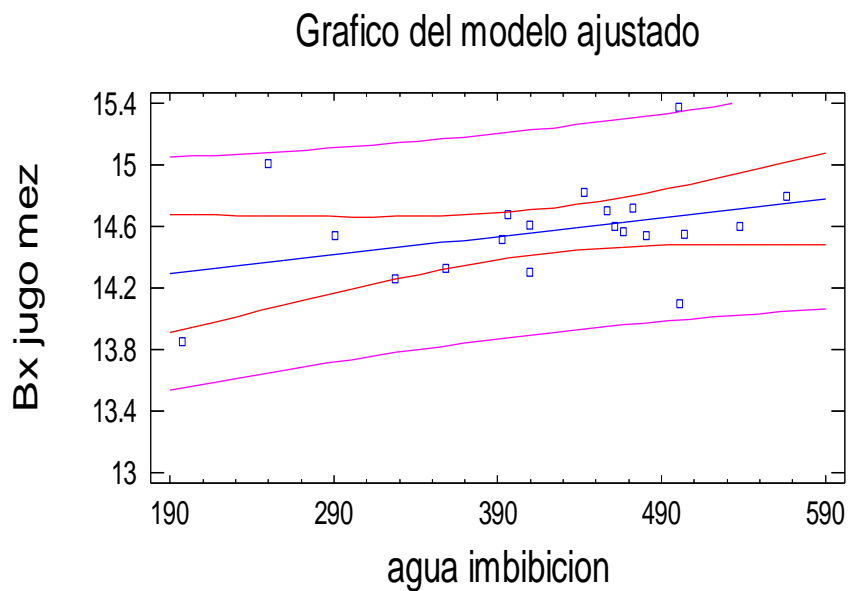


Fig. 2 Gráfico del modelo ajustado Bx jugo mezclado – agua imbibición

Anexo 7: Gráfico del modelo ajustado humedad bagazo – presión último molino

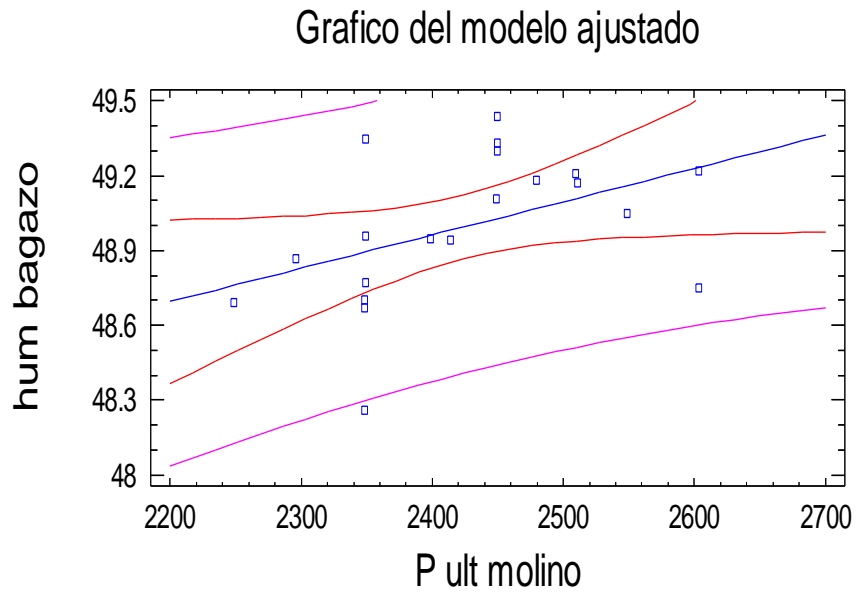


Fig. 3 Gráfico del modelo ajustado humedad bagazo – presión último molino

Anexo 8: Gráfico del modelo ajustado Pza. en la miel final – Índice de agotamiento

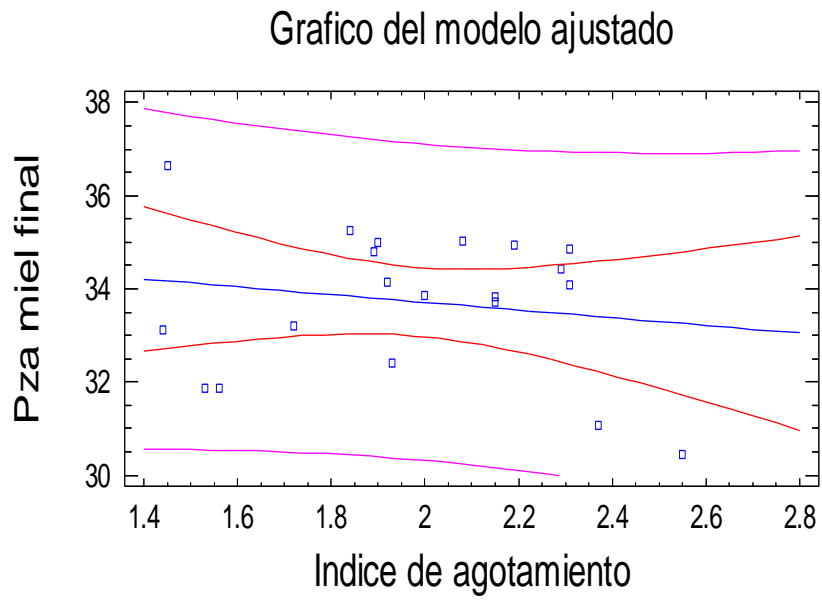


Fig. 4 Gráfico del modelo ajustado pureza en la miel final – Índice de agotamiento