

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



“DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN
PÉRDIDAS INDETERMINADAS EN EL PROCESO
TRATAMIENTO DE JUGO EN UN INGENIO AZUCARERO”

Trabajo de graduación presentado por:
Juana Elizabeth Hernández Sicá
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

Guatemala,
2016

**“DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN
PÉRDIDAS INDETERMINADAS EN EL PROCESO
TRATAMIENTO DE JUGO DE EN UN INGENIO
AZUCARERO”**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

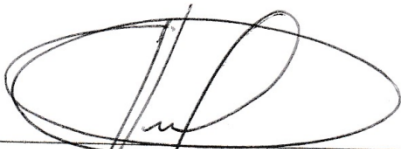


“DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS EN
PÉRDIDAS INDETERMINADAS EN EL PROCESO
TRATAMIENTO DE JUGO EN UN INGENIO AZUCARERO”

Trabajo de graduación presentado por:
Juana Elizabeth Hernández Sicá
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología
Industrial

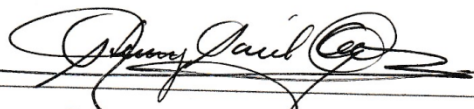
Guatemala,
2016

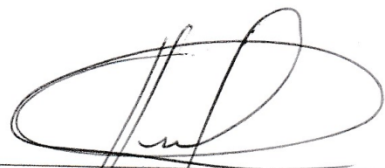
Vo.Bo:

(f) 
Ing. Julio Fernando Marcucci Fagiani

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Fernando Rafael Rivera Turcios

(f) 
Ing. Henry Saúl Aguilar Sarceño

(f) 
Ing. Julio Fernando Marcucci Fagiani

Fecha de aprobación: Guatemala 29 de enero de 2016

ÍNDICE

LISTA DE ILUSTRACIÓN.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO.....	3
III. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
IV. JUSTIFICACIÓN.....	6
V. OBJETIVOS.....	7
A. Objetivo general	7
B. Objetivos específicos.....	7
VI. MARCO TEÓRICO	8
A. QUÉ ES UN INGENIO AZUCARERO	8
1. INDUSTRIA AZUCARERA EN GUATEMALA.....	8
2. PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR.....	8
B. PÉRDIDAS DE SACAROSA CUANTIFICABLES.....	10
1. Pérdidas determinadas.....	11
C. POSIBLES VARIABLES DE MAYOR IMPACTO DE PÉRDIDA INDETERMINADAS	11
1. Purificación física del jugo	14
2. Sulfitación.....	14
3. Alcalización	15
4. Preparación de lechada de CAL.....	15
5. Clarificación.....	15
D. EVAPORACIÓN DEL JUGO	16
E. IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES ASOCIADAS CON PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA ETAPA DE PURIFICACIÓN Y CLARIFICACIÓN DE JUGO	18
F. IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES ASOCIADAS CON PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA ETAPA DE EVAPORACIÓN.....	19
G. IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES ASOCIADAS CON PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE MELADURA	20
H. FACTORES QUE AFECTAN LA ECONOMÍA DE VAPOR Y LA CAPACIDAD.....	21

I. PÉRDIDAS DE SACAROSA POR EFECTO TÉRMICO	21
1. Pérdidas de sacarosa en los evaporadores.....	21
2. Método de Vukov	22
VII. MARCO METODOLÓGICO.....	24
VIII. DELIMITACIONES.....	25
IX. ANTECEDENTES.....	26
J. PÉRDIDAS EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE JUGO.....	27
1. Pérdidas físicas.....	27
K. Rebalse de tanques.....	27
1. Tanque de jugo alcalizado.....	27
2. Tanque flash.....	28
3. Tanque de meladura a clarificar.....	29
4. Tanque de jugo claro.....	30
5. Tanque cachaza.....	31
L. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE REBALSE DE TANQUES EN ZAFRA 2014-2015.....	33
1. Tanque de jugo alcalizado.....	35
2. Tanque flash 1	38
3. Tanque flash 2.....	42
4. Tanque de meladura a clarificar.....	45
5. Tanque de jugo claro.....	48
6. Tanque de cachaza	51
7. Alto vacío.....	54
8. Bajo vacío	57
9. Filtro A.....	61
10. Filtrado B	64
M. Estimación de costos de pérdidas en temperatura y pH.....	67
X. ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
A. Resumen del rebalse de los tanques en el proceso de tratamiento de jugo.....	70
B. Comparación de datos de temperatura y pH reales con datos simulados.....	73
1. Temperatura efecto A.....	73
2. Temperatura efecto B.....	75
3. Temperatura efecto C.....	77
4. Temperatura efecto D.....	79
5. Temperatura efecto E.....	81

6. Valor de pH en jugo de caña	82
XI. CONCLUSIONES.....	85
XII. RECOMENDACIONES	87
XIII. CONTACTO.....	88
XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
XV. ANEXOS	90
XVI. GLOSARIO	92

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de proceso de fábrica	13
Ilustración 2. Proceso de tratamiento de jugo.....	17
Ilustración 3. Tanque de jugo alcalizado	28
Ilustración 4. Tanque flash 1-2.....	29
Ilustración 5. Tanque de meladura a clarificar	30
Ilustración 6. Tanque de jugo claro	31
Ilustración 7. Tanque cachaza	32
Ilustración 8. Informe de resumen del tanque alcalizado	35
Ilustración 9. Flujo de tándems entrando a tanque alcalizado	37
Ilustración 10. Tanque flash 1	39
Ilustración 11. Flujo calentador 7 entrando al tanque flash 1	40
Ilustración 12. Informe de resumen tanque flash 2	42
Ilustración 13. Flujo del calentador 8 entrando al tanque de flash 2	44
Ilustración 14. Tanque de meladura a clarificar	45
Ilustración 15. Flujo del tanque de reacción que entran al tanque de meladura.....	47
Ilustración 16. Informe de resumen de tanque jugo claro	48
Ilustración 17. Suma de calentadores que entran en el tanque de jugo claro	50
Ilustración 18. Informe de resumen de tanque cachazón.....	52
Ilustración 19. Flujo que entra al tanque de cachaza.....	53
Ilustración 20. Informe de resumen de alto vacío	53
Ilustración 21 Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío.....	53
Ilustración 22. Informe de resumen de bajo vacío.....	53
Ilustración 23. Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de filtro de bajo vacío	53
Ilustración 24. Informe de resumen filtrado A	61

Ilustración 25. Flujo de filtro de prensa que entra al tanque de filtro A.....	53
Ilustración 26. Informe de resumen filtrado B	53
Ilustración 27. Flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro B.....	53
Ilustración 28. Pérdida de sacos por día	53
Ilustración 29. pH jugo claro	53
Ilustración 30. Horas de rebalse de los tanques.....	71
Ilustración 31. Pérdida total de los tanques	72
Ilustración 32. Costo por galón	73
Ilustración 33. Temperatura efecto A.....	74
Ilustración 34. Temperatura simulada efecto A.....	74
Ilustración 35. Pérdida simulada efecto A.....	75
Ilustración 36. Temperatura efecto B	53
Ilustración 37. Temperatura simulada efecto B.....	53
Ilustración 38. Pérdida simulada efecto B.....	53
Ilustración 39. Temperatura efecto C	53
Ilustración 40. Temperatura simulada efecto C.....	53
Ilustración 41. Pérdida simulada efecto C.....	53
Ilustración 42. Temperatura efecto D.....	53
Ilustración 43. Temperatura simulada efecto D.....	80
Ilustración 44. Pérdida simulada efecto D.....	80
Ilustración 45. Temperatura efecto E	81
Ilustración 46. Temperatura simulada efecto E.....	81
Ilustración 47. Pérdida simulada efecto E	82
Ilustración 48. Valor de pH en jugo de caña	82

Ilustración 49. Simulación pH.....	83
Ilustración 50. Pérdida pH.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntos identificados en el proceso de purificación de jugo.....	19
Tabla 2. Puntos identificados en el proceso de evaporación	20
Tabla 3. Puntos identificados con pérdidas en el proceso de clarificación.....	20
Tabla 4. Datos zafra 2012.....	26
Tabla 5. Modelo de la estimación de costos	34
Tabla 6. Tiempo de rebalse del tanque alcalizado.....	36
Tabla 7. Calculo de pérdida en costos monetarios tándem A Y B	38
Tabla 8. Tiempo de rebalse del tanque flash 1	39
Tabla 9. Calentador 7	41
Tabla 10. Tanque flash 2	43
Tabla 11. Costo de pérdidas del calentador 8.....	44
Tabla 12. Tanque de meladura a clarificar	46
Tabla 13. Tanque reacción 1 y 2.....	48
Tabla 14. Tanque de jugo claro	49
Tabla 15. Suma de calentadores	51
Tabla 16. Tanque de cachazón	52
Tabla 17. Flujo del tanque de cachaza.....	54
Tabla 18. Alto vacío	55
Tabla 19. Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío.....	57
Tabla 20. Bajo vacío.....	58
Tabla 21. Flujo del filtro rotativo que entra al filtro de bajo vacío	53
Tabla 22. Filtrado A	53
Tabla 23. Flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro A.....	53
Tabla 24. Filtro B	65

Tabla 25. Filtro de prensa.....	67
Tabla 26. Resumen de rebalses de los tanques	53

RESUMEN

Esta evaluación se ha realizado debido a la necesidad de determinar las pérdidas de sacarosa en el área de tratamiento de jugo, en un ingenio azucarero a través de un seguimiento minucioso con los instrumentos de medición y monitoreo en el área de tratamiento de jugo.

Se llevó a cabo un monitoreo en el área de tratamiento de jugo para conocer los puntos críticos de pérdidas de mayor impacto por inversión, físicas y medición de cachaza. Se verificaron y calibraron los instrumentos de medición con el propósito de determinar el comportamiento que tienen estos parámetros físicos-químicos en la calidad de los jugos y conocer las pérdidas generadas, mala medición en la cachaza, y pérdidas físicas de la sacarosa.

Con los datos recopilados de laboratorio durante los 181 días de zafra, se realizaron cálculos detallados en los tanques de tratamiento de jugo, donde se hicieron análisis estadísticos para determinar la media de los tanques y así determinar la eficiencia de cada tanque, con estos datos se obtuvo el tanque que dio mayor pérdida en el periodo de la zafra 2014-2015, se determinó el tanque que tiene más horas pérdidas, y que es más caro en costos monetarios, para tener prioridad.

Estos datos estadísticos se obtuvieron con el programa de minitab, a través también se determinó el comportamiento de la temperatura, simulando datos para evaluar si al reducir la temperatura se obtienen menos pérdida, se evaluó el comportamiento de los sensores de pH, el cual cuenta con dos sensores para la medición del pH.

Se utilizó el método de Vukov para la determinación de la pérdida por inversión. Ya que es uno de los métodos más utilizados en la industria azucarera.

I. INTRODUCCIÓN

En las industrias azucareras, se ha dado el problema de la pérdida de sacarosa por pérdidas físicas, químicas, y las pérdidas indeterminadas en todas las áreas, donde se procesa el azúcar.

La evaluación de la pérdida determinada e indeterminada de la sacarosa se centró en el área de tratamiento de jugo, donde se dan problemas de pérdidas que generan grandes costos, por lo que se utilizó el método de Vukov para determinar la variable de la pérdida, para la determinación física se evaluaron los tanques de proceso de tratamiento de jugo.

Para conocer las pérdidas que se dieron durante el periodo de zafra 2014-2015, se tomaron datos recopilados de laboratorio en los 181 días de zafra. Como iniciativa se evaluó todo lo relacionado con la pérdida de sacarosa para determinar la pérdida por costo monetario en la producción, ya que existen varias formas en la cual la sacarosa se degrada, esto se debe al proceso de tratamiento de jugo que es sometida la sacarosa a una serie de procesos químicos.

Se ha encontrado que las relaciones de Vukov son aplicables a soluciones de sacarosa tanto impura como pura, con la salvedad de que la actividad del ión hidrógeno o pH, debe ser el que corresponda a la temperatura de operación. Dentro del proceso de tratamiento de jugo la sacarosa es expuesto a temperaturas altas que permite que la concentración de sacarosa se disminuya, también es afectado por el tiempo que tarda en cruzar todo el proceso.

Las variables que provocan las pérdidas en el proceso de tratamiento de jugo es la temperatura, el tiempo de retención en los tanques, pH y la concentración de sacarosa, glucosa y fructosa. Para llevar a cabo el estudio de las variables se tomó en cuenta el flujo por toneladas que contiene cada tanque, y los efectos que incrementan el punto de ebullición del jugo en el proceso.

Los resultados obtenidos fueron estadísticos que se obtuvieron de los datos de laboratorio, y los cálculos realizados en con el método de Vukov, según los datos estadísticos se determinó que los tanques de mayor pérdida en costos monetario es el tanque de cachaza, por las partículas de sacarosa que contiene, y las pérdidas de sacos de azúcar por proceso de inversión y de pH. Se simularon datos para determinar donde se da la mayor pérdida por inversión en los efectos de la temperatura, según el resultado de la simulación es que la pérdida mayor de sacarosa se da en los primeros dos efectos de la temperatura. Esto es por las condiciones existentes, temperaturas altas, gran volumen de operación y por el tiempo de retención que se da en la operación.

El trabajo se llevó a cabo en la zafra 2014-2015, en los 181 días de zafra de noviembre a mayo, investigando acerca de los temas, monitoreando las áreas de derrames, evaluando los

instrumentos de medición de temperatura y pH, tabulando los datos estadísticos para obtener los resultados deseados.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO

Las pérdidas indeterminadas en una fábrica de azúcar son la diferencia de la cantidad de sacarosa entrante en el jugo con la cantidad de sacarosa cristalizada que es convertida en azúcar y las pérdidas determinadas (pérdidas de bagazo y miel final).

El objetivo de este proyecto es reducir las pérdidas indeterminadas mediante una mejora en el programa de revisión y calibración de instrumentos críticos que actúan en el cálculo de pérdidas determinadas, y una mejora en el monitoreo y comunicación en el proceso de tratamiento de jugo de las siguientes pérdidas indeterminadas:

- Pérdidas físicas
- Pérdidas por inversión
- Pérdidas por errores de medición en bagazo, cachaza y melaza

Se plantearán alternativas para los puntos críticos de pérdidas de sacarosa, en el área de tratamiento de jugo, con el objetivo de implementarse a corto plazo, reduciendo con esto las pérdidas de azúcar de forma que estas tiendan hacia el límite inferior del rango de pérdidas considerado como aceptable para el proceso, lo cual permitirá obtener beneficios económicos importantes al incrementar el recobrado de azúcar en el proceso de producción. Así mismo se realizará monitoreo de las variables y un plan preventivo de instrumentos de medición se hará sobre el periodo de zafra 2014-2015 y el periodo de reparación 2015.

III. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el ingenio azucarero, el problema que se da son las pérdidas determinadas e indeterminadas, en todos los procesos, esto provoca descontrol en el producto final, es importante determinar las variables, para proponer alternativas a la reducción de pérdidas y obtener una mejora en la producción final. Actualmente no se lleva un control objetivo que exponga eficientemente las oportunidades de mejora en cada uno de estos procesos.

Durante la zafra 2013-2014 los problemas que se tuvieron, fueron derrames, estabilización de la operación y medición de variables críticas de pérdidas determinadas, esto se da en todos los procesos, desde que entra la caña en patio y pasa por extracción hasta recuperación de azúcar, en el área de tratamiento de jugo, se dan los problemas de derrames de jugo por el mal mantenimiento durante la reparación, problemas en las válvulas y en las tuberías que provocan pérdidas indeterminadas.

Temperatura de vapor de escape, esto provoca la destrucción de sacarosa por efecto térmico. Y en los tiempos de residencia en equipos clarificación, evaporación, los transmisores de flujo y la programación del cálculo del tiempo de residencia son de suma importancia ya que a mayor tiempo de residencia mayor pérdida por inversión térmica y química. También se da la disminución de pérdidas físicas en los niveles de evaporadores.

Dentro de retos planteados se encuentra:

1. Reducción de derrames

a. Causas

- Mala operación mecánica o falla del sistema.
- Falta de coordinación de procesos

2. Reducción de pérdidas por inversión

a. Causas

- Mala operación
- Falta de coordinación de procesos

3. Mejorar confiabilidad de mediciones de bagazo, cachaza, agua, jugo, azúcar, melaza.

b. Causas

- Equipo obsoleto
- Cumplimiento de programa de calibraciones

IV. JUSTIFICACIÓN

Es importante hacer un plan piloto de comunicación de variables críticas en el proceso de tratamiento de jugo y un plan preventivo de revisión de instrumentos de medición de pérdidas determinadas que ayude a minimizar las pérdidas indeterminadas y mejore el porcentaje de recuperación de sacarosa, minimizando así los costos de operación y mejorando la competitividad de la empresa.

En el área de tratamiento de jugo se tiene problemas con la contaminación microbiológica en los lodos, acción de dextranas en los jugos, entre otros, programas de limpieza y mantenimiento.

Las pérdidas indeterminadas en la zafra 2013-2014 fueron de 0.55%, el principal objetivo es determinar las variables para reducir las pérdidas a 0.45% para la zafra 2014-2015 en el proceso de tratamiento de Jugo, esto en costos esquivale a \$ 241,500.00 en 525 toneladas.

Conociendo las variables se puede diseñar una estrategia adecuada para reducir pérdidas.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Determinar las variables de mayor impacto en las pérdidas del proceso de tratamiento de jugo, que aportan a las pérdidas indeterminadas para la zafra 2014-2015 mediante una comunicación eficiente de oportunidades de mejora operativas y un control preventivo de la instrumentación del proceso.

B. Objetivos específicos

1. Determinar un modelo o plan de manejo de jugo, lo necesario para poder reducir las pérdidas de tiempo perdido.
2. Identificar las variables de pérdidas térmicas en tratamiento de jugo con el control de la atemperación del programa de Vukov para darle seguimiento.
3. Evaluar las pérdidas indeterminadas por inversión.

VI. MARCO TEÓRICO

A. QUÉ ES UN INGENIO AZUCARERO

El ingenio azucarero contiene instalaciones para procesar caña de azúcar con el objeto de obtener azúcar, alcohol y otros productos. Tiene su antecedente en el trapiche, cuya escala de producción era muy pequeña, y a su vez, el ingenio vino a ser sustituido por los grandes centrales azucareros que se desarrollaron en el siglo XX. Aunque la caña de azúcar no es un cultivo autóctono americano, fue introducido en América por los españoles, portugueses y otros europeos, se adaptó rápidamente a las tierras intertropicales americanas, hasta el punto de que los mayores productores mundiales de azúcar se encuentran en este continente. (Ramos, 2009)

1. INDUSTRIA AZUCARERA EN GUATEMALA. En Guatemala el cultivo de la caña de azúcar es uno de los más antiguos. El cultivo del azúcar ayudó a introducir el uso de tecnología, pues precisaba de instalaciones para el procesamiento de la caña, por un lado, y de la infraestructura de comunicación y transporte necesaria para sacar el producto a los centros de distribución y consumo, habiendo sido uno de los avances de los primeros años de la conquista de Guatemala.

Actualmente, la agroindustria azucarera se ha convertido en una de las principales fuentes de divisas para el país y generadora de abundantes empleos en la economía guatemalteca. Sus doce ingenios y las cinco organizaciones que la integran contribuyen decisivamente al desarrollo de medio centenar de municipios del país y de más de un millón de personas, con lo que se constituye en un factor determinante para el progreso de Guatemala. (Industria Azucarera en Guatemala)

2. PROCESO DE LA FABRICACIÓN DE AZÚCAR. El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo.

El proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos:

- **Extracción:** La caña es desmenuzada con cuchillas rotatorias y una desfibadora antes de molerla para facilitar la extracción del jugo que se hace pasándola en serie, entre los filtros, o mazas de seis molinos. Se utiliza agua en contracorriente para ayudar a la extracción que llega a 94 o 95% del azúcar contenida en la caña. El remanente queda en el bagazo residual que es utilizado como combustible en las calderas, así como materia prima para la fabricación de tableros de bagazo.
- **Clarificación:** La clarificación consiste en calentar el jugo y decantarlo. La decantación se lleva a cabo en los clarificadores en los cuales las impurezas, en forma de barro, van al fondo y el jugo clarificado se extrae por la parte superior. El barro o cachaza, contiene todavía azúcar y requiere ser pasada por filtros rotativos al vacío de los cuales se recuperan una cantidad de jugo, que retorna al proceso y se retira una torta de cachaza que es devuelta al campo.
- **Evaporadores:** El jugo claro, pasa a los evaporadores en los cuales se elimina alrededor del 80% del agua contenida en el jugo, que con esta operación se convierte en meladura. Los evaporadores trabajan en múltiples efectos, que el vapor producido por la evaporación de agua en el primer efecto es utilizado para calentar el segundo y así, sucesivamente, hasta llegar al quinto efecto que entrega sus vapores al condensador. El condensador es enfriado por agua en recirculación desde el estanque de enfriamiento.
- **Cristalización:** La meladura pasa a los tachos donde continúa la evaporación de agua, lo que ocasiona la cristalización del azúcar. Es decir que, al seguir eliminando agua, llega un momento en el cual la azúcar disuelta en la meladura se deposita en forma de cristales de sacarosa. Los tachos trabajan con vacío para efectuar la evaporación a baja temperatura y evitar así la caramelización del azúcar.
- **Separación:** En los tachos se obtiene una masa, denominada masa cocida, que es mezcla de cristales de azúcar y miel. La separación se hace por centrifugación en las máquinas destinadas a esa labor. De las centrifugas sale azúcar cruda y miel. La miel se retorna a los tachos para dos etapas adicionales de cristalización que termina con los conocimientos, o melaza. El azúcar de tercera se utiliza como pie para la cristalización del segundo conocimiento y el azúcar de segunda para el conocimiento de primera.

- Refinación: El azúcar de primera es refundida o redisuelta con agua; luego es aireado en un recipiente a presión y pasa a las clarificadoras donde las impurezas flotan y el licor clarificado es extraído por la parte inferior.

El licor clarificado es pasado por los filtros de lecho profundo donde se eliminan el resto de las impurezas, y de allí el filtrado es entregado a los tachos de refinado. Igual que en los tachos de crudo en estos tachos se elimina agua y se obtiene azúcar refinada cristalizada. La miel es retornada al conocimiento de crudo para mezclarse con la meladura y la azúcar húmeda de las centrifugas pasa a los secadores y de allí al envase. (Rein, 2012)

B. PÉRDIDAS DE SACAROSA CUANTIFICABLES

Las pérdidas cuantificables son aquellas que se presentan en el reporte de fábrica como resultado del desarrollo de los balances de materiales del proceso.

En toda industria química de proceso, la composición química de la materia prima es determinante para desarrollar la tecnología de proceso.

La caña de azúcar y la composición del jugo es muy variable, ya que se dispone y efectúa la extracción de diferentes variedades y bajo diferentes condiciones del suelo y climáticas, por lo que se debe establecer una tecnología flexible para obtener el máximo de eficiencia y de recuperación de azúcar.

Las pérdidas se clasifican en:

- Pérdidas determinadas, el control normal de una fábrica azucarera determina las pérdidas mecánicas o directas que tienen lugar en el bagazo, la cachaza y la miel final.
- Pérdidas indeterminadas se clasifican en químicas o aquellas en las cuales hay una descomposición de la sacarosa en azúcares reductores; por destrucción de los mismos, o por inversión química o biológica de la primera.

También se puede presentar pérdida de sacarosa por fallas en los procedimientos de liquidación de los equipos por fin de molienda o por derrames involuntarios al piso de materiales azucarados. (Ramos, 2009)

1. Pérdidas determinadas.

a. Bagazo: la pérdida de azúcar en el bagazo es parte del control de los molinos y es cuidadosamente vigilada tanto por la fuerza de ingeniería como del departamento de operación. Se considera pérdida en bagazo aquella sacarosa que no pudo ser extraída de la fibra de caña por las mazas de los molinos.

b. Cachaza: La pérdida en cachaza es aquella que no pudo ser extraída por los filtros ni diluida en el agua de lavado de los mismos. La cantidad de azúcar que se pierde en la torta del filtro puede llegar a ser hasta un cuarto de la que se pierde en el bagazo, pero en muchas fábricas la pérdida en la torta del filtro es mucho más baja en proporción con la pérdida en el bagazo. Cuando esta cantidad sea alta, un control más intensivo de la pérdida de azúcar en la torta del filtro dará como resultado un ahorro considerable.

c. La melaza o miel final: es un jarabe denso de color oscuro que se obtiene como subproducto del proceso de cocimiento y cristalización no puede extraerse más sacarosa por métodos físicos convencionales. (Rein, 2012)

C. POSIBLES VARIABLES DE MAYOR IMPACTO DE PÉRDIDA INDETERMINADAS

1. Alcalización del jugo: en este proceso la adición de cal es un requerimiento básico para neutralizar la acidez natural del jugo de caña. Si el jugo no se neutraliza, ocurrirá destrucción y pérdida de sacarosa por inversión, el exceso de cal descompone la glucosa presente en el jugo, formando ácidos orgánicos que destruirán sacarosa.

2. Calentamiento del jugo: la sacarosa es bastante estable en un medio neutro (pH 7.0) y puede soportar temperaturas hasta cierto límite sin alteraciones apreciables. El jugo se calienta hasta una temperatura ligeramente encima de su punto de ebullición, es decir 215-220° F (102-104°C). La temperatura está por debajo, tendrá una formación de floculó incompletas y el jugo clarificado será opaco. La temperatura muy alta, producirá destrucción de azúcares invertidos, lo que aumenta pérdida de sacarosa en la miel.

3. Clarificación del jugo: cuando la alcalización es deficiente, habrá inversión química y la destrucción de sacarosa se producirá por el medio ácido. Esta alteración sufre la sacarosa durante la inversión en la clarificación.

4. Inversión: con la acidez normal del jugo que circula en el evaporador, las pérdidas por inversión pueden ser de 0.1% hora, a 120° C.

5. Contaminación de los condensados: por rompimiento de tubos en la calandria en los evaporadores de jugo.

6. Tiempo de retención: son paradas largas que no se liquidan los cuerpos, o en varias paradas cortas que interrumpen la operación continúa.

7. Bajo vacío: que puede ocasionar altas temperaturas en el jugo.

8. Niveles de jugo: que pueden ocasionar arrastre que contaminan el agua condensada con pérdidas de sacarosa.

9. Arrastres: existe la posibilidad de pequeñas ligeras, y la corriente de vapor, goyas de jugo o meladura por las rápidas corrientes de los vapores producto de la evaporación.

10. Pérdidas físicas: Una administración pobre y un manejo descuidado pueden resultar en pérdidas de sacarosa muy significativas. El derramamiento de jugo, las fugas en los tubos, canales y bombas, el lavado sin cuidado y el mezclado el jugo con la lubricación de las mazas o sistemas de enfriamiento, son obviamente pérdidas físicas de sacarosa que necesitan ser prevenidas mediante una observación cuidadosa y atención detallada. (Rein, 2012, pág. 170)

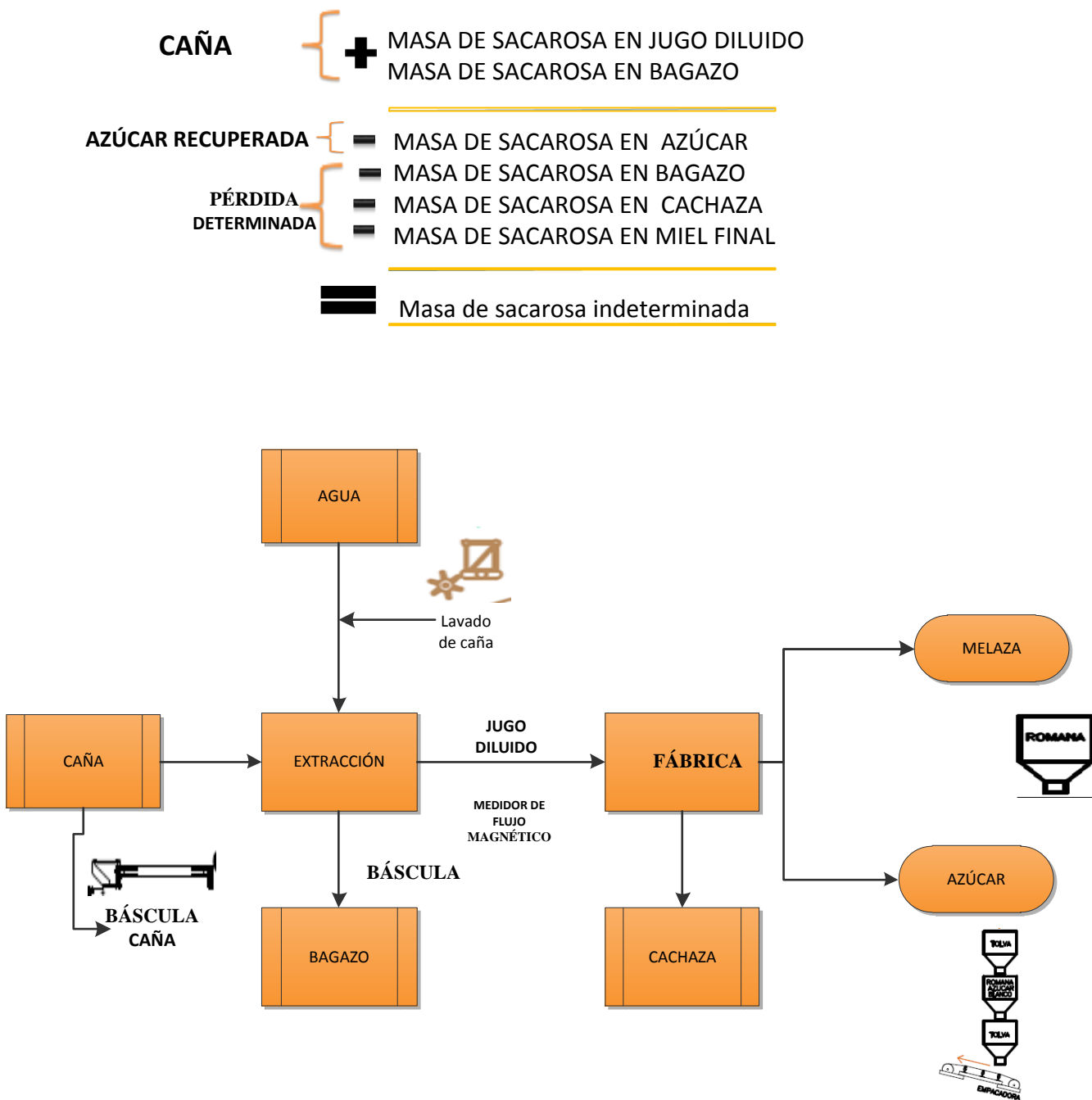
11. Por inversión térmica: las pérdidas térmicas, se desarrollan, por problemas de ineficiencia en el proceso azúcar, ya sean generadas por pérdidas de vapor, fugas a través de trampas e incluso por una mala instalación de equipos de vapor. (Ingenio Azucarero)

12. Instrumento de medición: es un aparato que se usa para comparar magnitudes físicas mediante un proceso de medición. Como unidades de medida se utilizan objetos y sucesos previamente establecidos como estándares o patrones y de la medición resulta un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia. Los instrumentos de medición son el medio por el que se hace esta lógica conversión. (Cristian Beltrán)

13. Medición de flujo: La necesidad de medir flujo en líquidos y gases se satisface con medidores de flujo, generalmente dispositivos electromecánicos que llevan una turbina inmersa en el fluido, haciendo girar un disco rasurado que produce pulsos. (Guzmán)

14. Medidores de flujo magnéticos: Instrumento de medida para la medición de caudal. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. Ha sido diseñado especialmente para las siguientes aplicaciones: Toma de agua, Tratamiento de agua, Redes de distribución de agua (gestión de reconocimiento de fugas). (Cristian Beltrán)

Ilustración 1. Diagrama de proceso de fábrica



Fuente: Autor

1. Purificación física del jugo. El jugo extraído por haberse obtenido por un contacto directo entre las masas del molino y la caña, presenta un alto porcentaje de sólidos, generalmente bagazo, bagacillo y arena, que debe ser retirada antes de ser enviado para la clarificación, por esto el jugo sufre un tratamiento preliminar para la eliminación de partículas grandes presentes. Este material indeseable (no azúcares) presente en suspensión en el jugo es bastante variable, en calidad y cantidad según el tipo de transporte de la caña.

2. Sulfitación. La sulfitación es el proceso más difundido para el mejoramiento de la clarificación básica por defecación. El jugo entra por la parte superior de la torre y cae por gravedad a un tanque de dosificación donde se le ajustará su pH; mientras que en sentido contrario, de abajo hacia arriba, recorren gases de azufre los cuales son capturados por el jugo en su descenso por la torre.

La acción de mezclar los gases de azufre con el jugo (sulfitación del jugo) tiene las siguientes finalidades:

Disminuye el color del jugo porque las materias promotoras son reducidas por la liberación de H⁺. La formación de color es debido a la reacción de Maillard que ocurre entre azúcares invertidos y aminoácidos, ahora un fuerte agente reductor como el ácido sulfuroso inhibe su reacción, dándole además mayor claridad y brillantez al azúcar, por la precipitación de albuminas coloidales; las cuales son las características principales del llamado Azúcar Sulfatado (que aunque es blanco, es diferente al azúcar refinado).

Los gases de azufre por su carácter ácido son fuertemente bactericidas y se usan para la destrucción de una serie de bacterias, hongos y microorganismos que entran con la caña los cuales ejercen una acción perjudicial sobre la sacarosa pues la desdoblan (inversión) destruyendo sus moléculas. La inversión desdobla la sacarosa en glucosa y fructuosa, elementos que en esa forma no pueden emplearse (o aprovecharse en el azúcar comercial), ya que el único azúcar que cristaliza es el primero.

3. Alcalización. Como la operación de sulfitación conlleva una disminución del pH del jugo (acidificación) y a valores bajos este se favorece la inversión de la sacarosa, por lo tanto se hace necesario neutralizar el jugo lo cual se consigue mediante la adición de lechada de cal (cal disuelta en agua y a una concentración de 10 a 14 ° Be (grados Baume)), o también con la adición de sacarato de calcio.

Además de neutralizar el jugo, la principal característica de este proceso que se denomina 'alcalización', es la defecación, ya que los iones de calcio reaccionan con la mayoría de las impurezas que lleva el jugo formando unos sólidos que precipitan separándolos fácilmente.

4. Preparación de lechada de CAL

a. Cal. El óxido de calcio, también conocido como 'cal virgen' es el más efectivo agente purificador del jugo de caña, de costo moderado y fácil consecución. Su pureza debe ser por encima del 85%, ya que valores elevados de impurezas contribuyen a la formación de incrustaciones, afectan el color del jugo y retardan la decantación.

b. Aditivos de la clarificación. Es el proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la agregación entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad.

c. Los floculantes. Se emplean para aumentar la aglomeración de los flóculos, aumentar la velocidad de sedimentación, compactación y reducción del volumen de cachaza; mejorando además la turbiedad del jugo clarificado.

d. Calentamiento. El jugo ya sulfitado y alcalizado, mediante el uso de bombas, se pasa por una serie de calentadores donde se le sube la temperatura primero a 70 - 75 ° C (primer calentamiento) y después hasta 98-102°C (el jugo inicialmente viene a una temperatura de unos 30-34 ° C), con el propósito de acelerar la reacción para la defecación, protegiendo el jugo haciendo una pasteurización, desnaturalizar las proteínas y eliminar el aire disuelto o el bagacillo.

5. Clarificación. El jugo proveniente de los calentadores a una temperatura 98-102°C es enviado a unos tanques de flasheo o torre de prefloculación.

a. pH: el control de pH busca controlar la inversión o pérdidas de sacarosa, mantener el jugo de sedimentación adecuado, y evitar exceso de cal que no reaccionan y que además de afectar el color del jugo permanecerán dentro del proceso como incrustación cálcica en los evaporadores.

D. EVAPORACIÓN DEL JUGO

El jugo claro posee un contenido alto de agua (agua de la misma caña y agua que se introdujo en el proceso para la recuperación de azúcar, del bagazo en el molino y en la torta de cachaza en

los filtros), la cual es indispensable disminuir y esto se consigue mediante la evaporación de la misma.

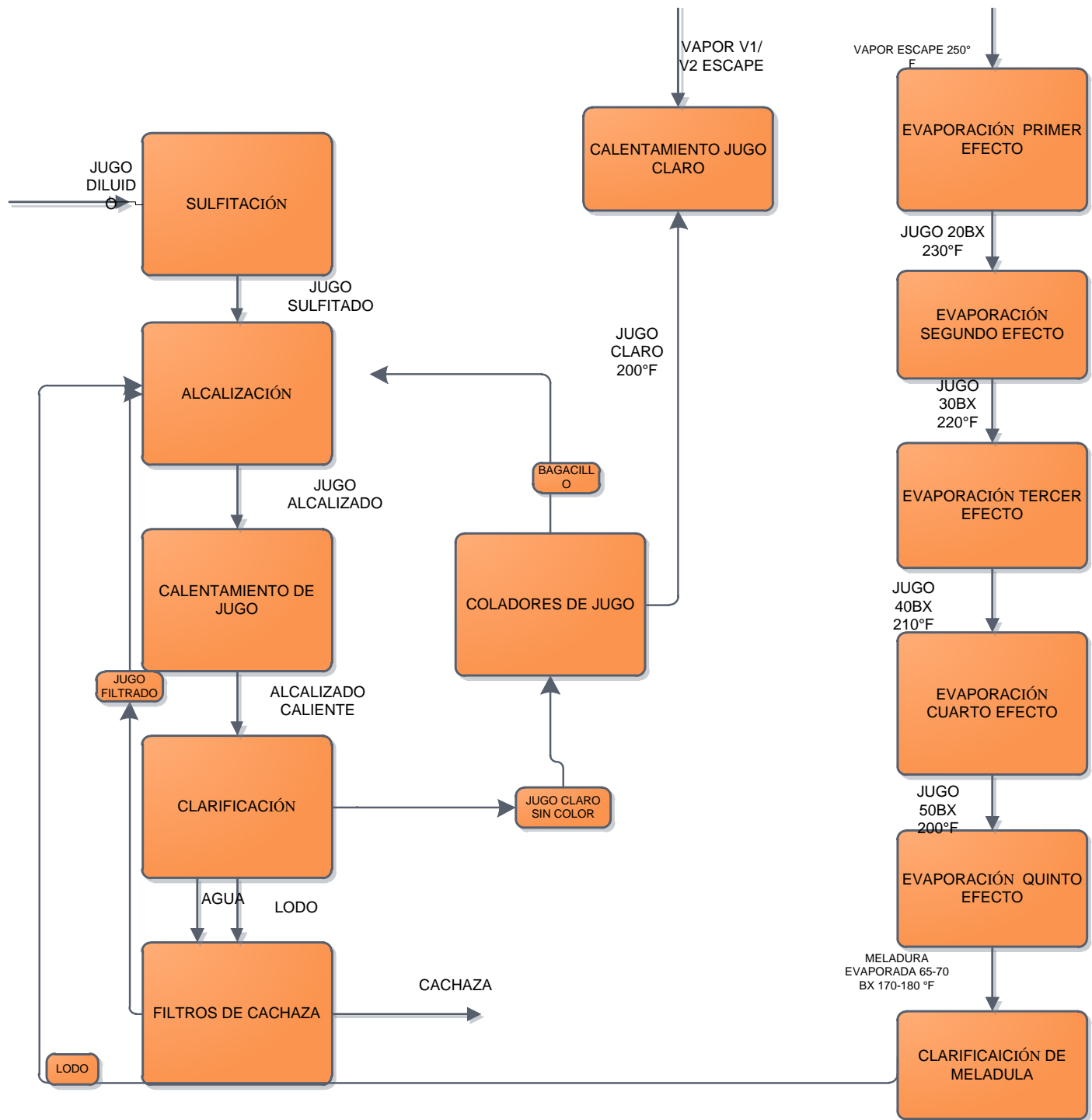
El jugo sale de los clarificadores y mediante el uso de bombas se pasa mediante una serie de equipos que trabajan con vapor y vacío (el vapor para calentar el jugo y hacerle hervir disminuyéndole el agua y vacío para bajarle la presión y hacerle fluir).

Dentro de los evaporadores el jugo hierve y va perdiendo agua por evaporación de la misma pasando el jugo de un evaporador a otro por diferencia de presión (de medida que pasa de un evaporador a otro la presión es menor y se facilita el flujo, pues por ley natural los flujos tienden a ir de lugares de mayor hacia lugares de menor presión, la menor presión se consigue mediante la aplicación de vacío en el último evaporador o concentrador).

Al final del tren de evaporadores, al jarabe o meladura obtenido (el jugo así concentrado se conoce con esos nombres) tiene una concentración que le da aspecto viscoso y de color carmelita oscuro por efecto de la misma concentración. (Rein, 2012)

TRATAMIENTO DE JUGO

Ilustración 2. Proceso de tratamiento de jugo



Fuente: Autor

E. IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES ASOCIADAS CON PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA ETAPA DE PURIFICACIÓN Y CLARIFICACIÓN DE JUGO

En el área de purificación y clarificación de jugo pueden identificarse los siguientes puntos y factores de generación de pérdidas de sacarosa:

1. El primer factor de generación de pérdidas de sacarosa. Es el cambio de temperatura del jugo lo cual acelera las reacciones de descomposición de la sacarosa y de los azúcares reductores formando productos coloreados. Se ha comprobado que una elevación de 10 °C en la temperatura provoca un incremento de aproximadamente tres veces en la velocidad de inversión de la sacarosa. Todas las operaciones de calentamiento llevadas a cabo durante esta etapa del proceso implican la aceleración de las reacciones de inversión de sacarosa. Dichas etapas son el precalentamiento del jugo en el calentador de placas líquido - líquido, los calentamientos primario y secundario, la rectificación del jugo alcalizado, el calentamiento final del jugo claro en el intercambiador de placas vapor - líquido y en general durante todo el proceso de purificación del jugo.
2. La segunda variable que genera pérdidas de sacarosa. Es el proceso de sulfitación del jugo, el cual provoca un descenso del pH del jugo hasta aproximadamente 5.0 pH, lo cual promueve la actividad microbiana y la reacción de inversión de sacarosa.
3. El tercer punto identificado. Es el tanque flash donde bajo ciertas condiciones es posible la generación de pérdidas de sacarosa por sobrecalentamiento del jugo o una elevación incontrolada del nivel del tanque lo cual provoca arrastre de jugo hacia la atmósfera y posibles derrames por la abertura superior del tanque.
4. El cuarto punto identificado. Es la filtración de la torta de cachaza en los filtros al vacío, operación que está controlada por la eficiencia de los filtros lo cual limita la recuperación de jugo de la cachaza, permaneciendo en ésta todavía cierta cantidad de sacarosa.
5. Otro punto de generación de pérdidas de sacarosa. Se encuentra en las aguas de condensados del calentamiento de jugo y evaporadores, las cuales son constantemente monitoreadas por el departamento de laboratorio. (Rein, 2012)

Tabla 1. Puntos identificados en el proceso de purificación de jugo

Causa o factor asociado	EFEECTO	Punto identificado como generador de pérdidas de sacarosa
Incremento en la temperatura del jugo sobre el rango normal de operación	Comienzo de la descomposición térmica de la sacarosa	Pre calentamiento, calentamiento primario y secundario del jugo
Descenso del pH e incremento en la temperatura del jugo	Inversión de la sacarosa	Torres de sulfitación
Alcalizado del jugo a pH muy alto o muy bajo	Inversión de la sacarosa o destrucción de los azúcares reductores formados	Rectificación

Fuente: Autor

F. IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES ASOCIADAS CON PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA ETAPA DE EVAPORACIÓN

En este ciclo de evaporación se identifican dos factores principales que generan pérdidas de sacarosa durante ésta operación:

El primer factor es la alta temperatura de operación mantenida en los evaporadores ya que ésta acelera la reacción de inversión, la cual es la principal responsable de las pérdidas de sacarosa durante esta etapa del proceso. Las altas temperaturas de operación en los evaporadores provoca la inversión de la sacarosa y la destrucción de los azúcares reductores por efecto térmico y a su vez da como resultado una mayor disociación del agua lo que produce un incremento en la concentración de iones H⁺ y por tanto, un mayor descenso en el pH a medida que avanza el ciclo de evaporación. Esta disminución en el pH favorece aún más el proceso de inversión lo que resulta en mayores pérdidas de sacarosa.

El segundo factor de importancia en las pérdidas de sacarosa en esta etapa del proceso consiste en el arrastre de azúcar provocado por una operación ineficiente durante el ciclo de evaporación o por un inadecuado diseño de los equipos de separación. En el caso de detectarse arrastres de sacarosa en los condensos de los evaporadores, estos son enviados al sistema de drenaje.

Se resumen los puntos identificados como generadores de pérdidas de sacarosa en la etapa de evaporación. Además, se presentan las causas o factores asociados con dichas pérdidas y los efectos de éstas sobre el proceso industrial. (Rein, 2012)

Tabla 2. Puntos identificados en el proceso de evaporación

Causa o factor asociado	EFEECTO	Punto identificado como generador de pérdidas de sacarosa
Incremento de la temperatura y descenso del pH del jugo	Pérdidas de sacarosa por inversión	Torres de sulfitación
Inadecuado y mantenimiento de los separadores de arrastre de los evaporadores	Arrastres de sacarosa en las aguas condensa de los evaporadores	Rectificación

Fuente: Autor

G. IDENTIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES ASOCIADAS CON PÉRDIDAS DE SACAROSA EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE MELADURA

En la etapa de clarificación de meladura la principal operación asociada con pérdidas de sacarosa es el calentamiento de la meladura en el calentador de placas. Dicha operación promueve la reacción de inversión de la sacarosa por efecto de la temperatura, lo cual provoca la descomposición de la sacarosa y de los azúcares reductores formando productos coloreados que deben ser eliminados mediante la adición de floculantes. Por otro lado, la adición de ácido fosfórico a la meladura cruda favorece la formación de azúcares reductores debido al fuerte efecto del ácido. (Rein, 2012)

Tabla 3. Puntos identificados con pérdidas en el proceso de clarificación de meladura

Causa o factor asociado	EFEECTO	Punto identificado como generador de pérdidas de sacarosa
Incremento de la temperatura de la meladura	Descomposición de la sacarosa	Calentador de placas
Descenso del pH por la adición de ácido fosfórico	Inversión de la sacarosa	Tanque de racción

Fuente: Autor

H. FACTORES QUE AFECTAN LA ECONOMÍA DE VAPOR Y LA CAPACIDAD

La economía que se genera en los evaporadores de vapor se determina como el número de Kg de agua evaporada por Kg del vapor de escape suministrado al primer efecto. Es el arreglo con lo cual los evaporadores se encuentren configurados determina la cantidad de vapor que la fábrica consume, y generalmente está determinado por las condiciones locales que fijan la disponibilidad de vapor y de bagazo. Usualmente se justifica adaptar la estación de evaporadores a estas condiciones, dado que las inversiones requeridas en los evaporadores son pequeñas en comparación con los costos de otras alternativas, sea en términos de combustible suplementario o el transporte de desecho de excesos de bagazo. (Rein, 2012)

I. PÉRDIDAS DE SACAROSA POR EFECTO TÉRMICO

1. Pérdidas de sacarosa en los evaporadores. Son operados con temperaturas elevadas, debido a esta razón se favorece la inversión de la sacarosa, aunque las mayores pérdidas de temperaturas se encuentran en el primer efecto y segundo efecto. Muchas de las reacciones que ocurren en la sacarosa dependen de la temperatura y otras por el pH, ésta resulta ser importante en el proceso, según Peter Rein.

Las pérdidas por inversión son difíciles de calcular en el proceso a partir de los cambios que se generan en la pureza durante el proceso, ya que estas pérdidas son de la misma magnitud de los errores analíticos. El pH también genera problemas en la pureza y el tiempo de retención. El problema de retención se da por el tiempo que pasa el jugo en el proceso de evaporación, habrá mayor probabilidad que la sacarosa se degrade.

Durante el proceso que debe de pasar la sacarosa y el almacenamiento del azúcar, tiende a la descomposición debida al calor, formándose poliméricos y coloreados, este es el proceso donde la sacarosa se forma en caramelo por la reacción del calor.

2. Método de Vukov. Vukov (1985) estableció que la hidrolisis de la sacarosa, también denominada inversión de la sacarosa, es una reacción de primer orden respecto a la sacarosa, con una constante de velocidad de reacción proporcional a la actividad del ion hidrogeno dentro de amplios límites.

El método de Vukov involucra la constante de velocidad de la inversión de la sacarosa, donde la pérdida se determinara en el proceso de tratamiento de jugo, en función de cuatro variables, la concentración de sacarosa, la temperatura de operación del equipo, el pH del jugo dentro del equipo y el tiempo que el jugo de caña permanece en el equipo (tiempo de residencia). En el caso de la temperatura se estudiará en qué parte del equipo se encuentra el medidor y de esta forma conocer si existe o no una elevación del punto de ebullición (EPE), por lo que la lectura del medidor de temperatura se debe modificar y presentarse como la temperatura existente en el evaporador. La lectura que normalmente se obtiene de pH en el jugo, es la lectura del jugo bajo las condiciones de laboratorio de los ingenios, por tal razón se debe realizar una corrección para que la lectura de pH sea bajo condiciones de operación. Para determinar las pérdidas de sacarosa es necesario conocer:

Densidad por medio de la ecuación de Peacock

$$p = \left(1 + \frac{B(B+200)}{54000}\right) \left(1 - \frac{0.036(T-20)}{(160-T)}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: B=brix; T=Temperatura (CO)

Concentración de Sacarosa en g/cm³

$$[\text{Sac}]_{\text{g/cm}^3} = \frac{[\text{Sac}] * p}{100} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde: = concentración de la sacarosa; = concentración en porcentaje de sacarosa; = densidad obtenida por ecuación de Peacock.

El cálculo de EPE se realiza por medio de una hoja electrónica programada con base en la Tabla No. 39 del libro del Dr. Larrahondo.

$$T_{\text{vaso}} = T_{\text{operacion}} + \text{EPE}$$

Ecuación 3

$$x = \frac{T_{\text{entrada}} + T_{\text{vaso}}}{2}$$

$$T_{\text{evap}} = \frac{T_{\text{entrada}} + T_{\text{vaso}}}{2}$$

Ecuación 4

Cálculo del brix y pH de operación

$$\text{Brix evaporador} = \frac{\text{Brix entrada} + \text{brix salida}}{2} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\text{pH lab} = \frac{\text{pH}_{\text{entrada}} + \text{pH}_{\text{salida}}}{2} \quad \text{Ecuación 6}$$

Corrección de pH a temperatura del vaso del evaporador

$$pH_{\text{operación}} = pH_{\text{lab}} \frac{dpH}{dT} (T_{\text{Evap}} - T_{\text{lab}}) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\frac{dpH}{dT} = 0.0339 + 0.015pH - 0.0017pH^2 \quad \text{Ecuación 8}$$

Encontrar la constante de velocidad de la inversión de sacarosa

$$\log_{10}k = 16,91 + \log_{10}(p - [\text{Sac}]) - \frac{5670}{T} - pH_{\text{operación}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\%[\text{Sac}]_{\text{pérdida}} = 100(1 - e^{-kt}) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$K = 10^{(\log_{10}k)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde: ρ = densidad de la solución por medio de Peacock (g/cm³); [Sac] = concentración de sacarosa en g/cm³; T = temperatura en grados K; % [Sac] Pérdida = pérdida de sacarosa en evaporación. (Rein, 2012)

VII. MARCO METODOLÓGICO

Entre las variables a controlar en el área de tratamiento de jugo son las pérdidas que se dan por: PH de jugo alcalizado y pH de meladura, ya que a menor variabilidad de pH's esto va ayudar a reducir pérdidas por inversión química, entre más alto pH implica destrucción de sacarosa y aumento de color, a menor pH tenemos más producciones de mieles y pérdida en miel final.

A. Pérdidas determinadas

1. Se determinará la confiabilidad de mediciones de pérdidas determinadas en bagazo, cachaza y melaza mediante la siguiente metodología:
 - a. Programa de revisión y determinación de equipo obsoleto.
 - b. Realización de programa y control de cumplimiento de revisiones preventivas y ajustes.
 - c. Realización de recomendaciones de equipos que necesiten reemplazo.

B. Pérdidas físicas

1. Se establecerá la incorporación de un monitor de pérdidas de azúcares, encargado de revisar derrames y problemas operativos
2. Se establecerá ruta de inspección
3. Se realizará un reporte de variables de pérdidas del monitor de turno.
4. Se realizará un programa de concientización de pérdidas de personal operativo.

C. Pérdidas químicas

1. Programa de monitoreo y comunicación de variables de mayor impacto de pérdidas indeterminadas químicas.
2. Programa de concientización de operadores de variables críticas del proceso.

D. Pérdidas térmicas:

1. Programa de monitoreo y comunicación de variables de mayor impacto de pérdidas indeterminadas térmicas.
2. Programa de concientización de operadores de variables críticas del proceso.

VIII. DELIMITACIÓN

A. Delimitación

Las áreas a estudiar en el proceso de azúcar son:

Pérdidas químicas, físicas y térmicas en el proceso de tratamiento de jugo.

El proceso de tratamiento de jugo comprende sulfitación de jugo, alcalización del jugo, calentamiento de jugo, clarificación de jugo y evaporación de jugo.

Instrumentos críticos en el cálculo de pérdidas determinadas pertenecientes al proceso de automatización de fábrica.

No se estará evaluando el funcionamiento de la instrumentación y metodología de las variables estudiadas por el proceso de laboratorio y calidad y conformidad industrial.

IX. ANTECEDENTES

Los mecanismos en donde el azúcar pueda perderse durante el proceso son muchos y variados. Las pérdidas que se han dado en área de tratamiento de jugo han sido reales de sacarosa o aparentes debidas a problemas analíticos o de estimación.

Los problemas que se han dado en zafra anteriores son las siguientes:

Errores en la medición y análisis, en la estimación incorrecta del jugo, muestreo incorrecto o no representativo, errores en la existencia. Pérdidas físicas, que se han dado por derrames, por el mal mantenimiento y montaje de tuberías y válvulas.

Datos que se reportaron en la zafra del 2012, en tratamiento de jugo fueron de pérdidas microbiológicas, estas ocurrieron en el jugo, por bajo brix, a temperatura ambiente cuando los productos principales sean dextranas o etanol, estos problemas se dan en los clarificadores y filtros.

Datos obtenidos de la zafra del 14 de mayo de 2012

Tabla 4. Datos zafra 2012

Producto	Brix	Pol	Pureza
Jugo filtrado (día)	11.48	9.42	81.99
Jugo filtrado (fecha)	10.92	10.92	84.74
Jugo clarificado (día)	12.84	12.84	83.72
Jugo clarificado (fecha)	14.53	14.53	85.80
Meladura (día)	67.25	67.25	82.12
Meladura (fecha)	66.70	66.70	85.36
Meladura clarificada (día)	64.67	64.67	84.20
Meladura clarificada (fecha)	65.25	65.25	86.39

Fuente: Ingenio azucarero

Las pérdidas indeterminadas han afectado el brix, pol y las impurezas del jugo que es tratado, y han ocasionado mayores pérdidas en el producto final.

J. PÉRDIDAS EN EL ÁREA DE TRATAMIENTO DE JUGO

Las pérdidas de sacarosa en el proceso de tratamiento de jugo son provocadas por diferentes factores entre los cuales destacan, pérdidas físicas, químicas, por inversión y pérdidas por errores de medición en bagazo, cachaza y melaza.

1. Pérdidas físicas

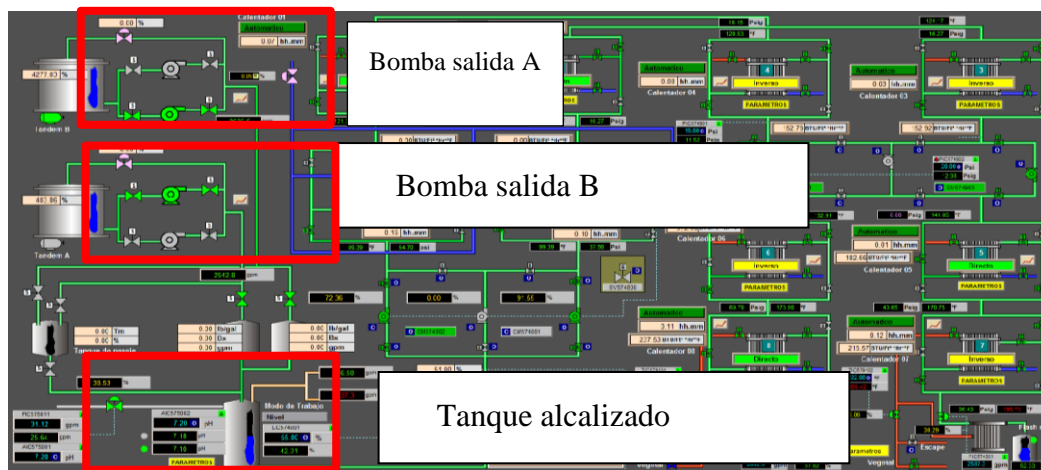
a. Las pérdidas físicas. Las pérdidas de sacarosa en el proceso de tratamiento de jugo son provocadas por diferentes factores, pueden clasificarse por “arrastre” en condensado, evaporación o retención, por rebalse, pérdidas físicas o mecánica.

b. Incrustaciones. Algunas soluciones depositan materiales sólidos llamados incrustaciones sobre las superficies de calentamiento. Estas incrustaciones se forman a causa de los productos de descomposición o por disminución de la solubilidad. El resultado es una reducción del coeficiente de transferencia de calor, lo que obliga a limpiar los equipos (evaporador).

K. Rebalse de tanques

1. Tanque de jugo alcalizado. Este es el tanque donde llega el jugo diluido del área de molinos, es aquí donde se neutraliza el pH del jugo después de la sulfatación. Este es uno de los puntos de mayor riesgo de rebalse, esto es debido a que las bombas provenientes de molinos pueden incrementar su flujo ya sea por mayor jugo en caña o mayor agua utilizada en el proceso de extracción de caña. Un incremento en el flujo espontáneo en pocos minutos puede llegar a ocasionar un rebalse.

Ilustración 3. Tanque de jugo alcalizado



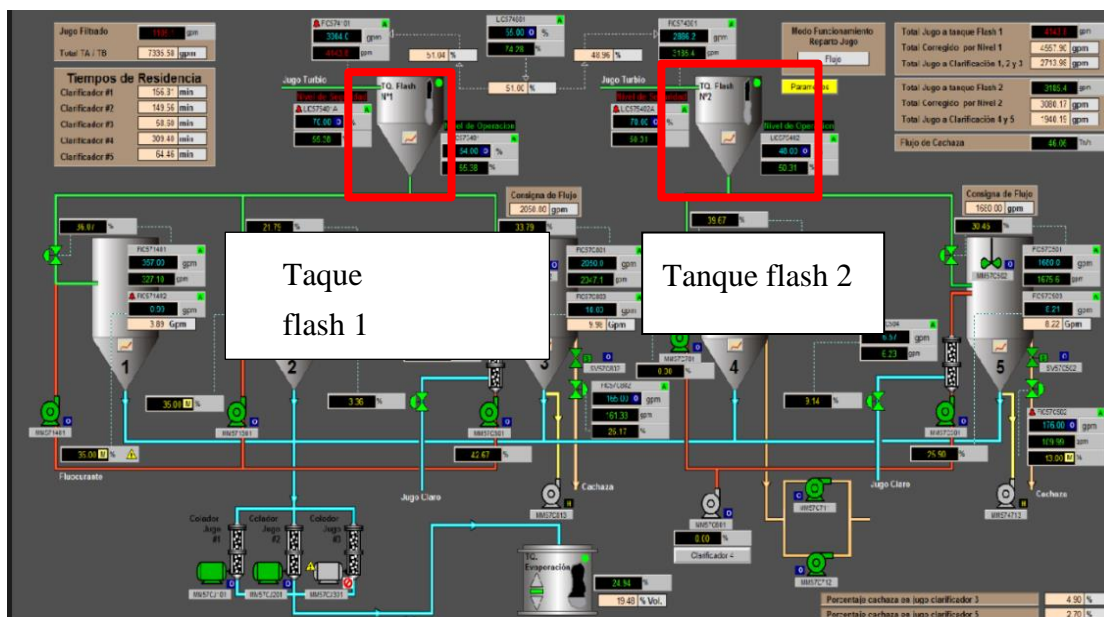
Fuente: Ingenio azucarero

2. Tanque flash. Se debe proporcionar suficiente volumen en el tanque para que ocurra un flasheo completo del jugo, con el diámetro dimensionado buscando asegurar que las velocidades de ascenso de vapor sean suficientemente bajas para que no ocurra arrastre de gotas de jugo. El tanque opera vacío, dándole especial atención a lograr una salida adecuadamente dimensionada que no reincorpore aire en el jugo ya desairado.

El principio del funcionamiento del tanque flash se basa en tener una piscina de líquido en el cuerpo del tanque y un diámetro suficientemente grande para que la velocidad de descenso del jugo sea suficientemente baja para permitir que incluso las burbujas de aire más finas puedan escapar hacia arriba en contra del flujo líquido. Un tubo vertical de alimentación inyecta el jugo hacia abajo sobre una placa de salpique central. El nivel del líquido se mantiene justo por debajo de la placa de salpique.

El tanque flash se posiciona adyacente y a la misma elevación del clarificador, de manera que sea posible mantener un nivel de líquido constante en el tanque flash y no puede ocurrir reincorporación del aire en el jugo. Debido a esto es muy importante mantener el nivel del tanque flash para tener una buena clarificación de jugo. El tanque flash contiene el jugo alcalizado que será clarificado para después entrar en la evaporación.

Ilustración 4 Tanque flash 1-2



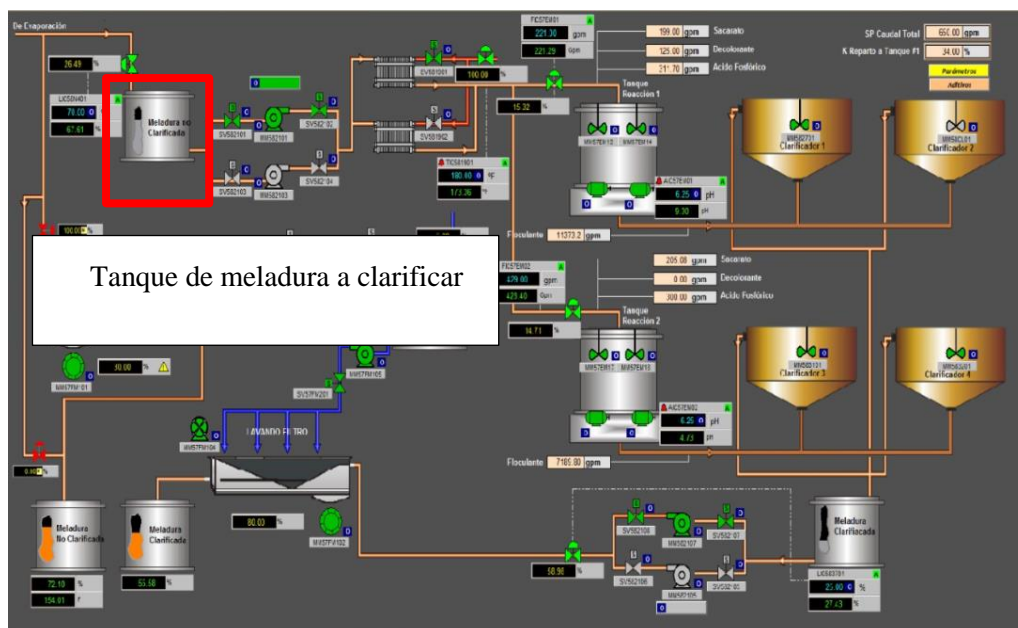
Fuente: Ingenio azucarero

3. Tanque de meladura a clarificar. El proceso de clarificación de meladura remueve los sólidos en suspensión de la misma. El ácido fosfórico y la lechada de cal que reaccionan en el jugo filtrado para formar un floculo de fosfato de calcio que absorbe los agentes formadores de color y turbiedad, con esto se logra azúcar blanco y refino de mejor calidad.

En el tanque de meladura a clarificar, el grado de clarificación que se logra tiene un efecto importante sobre los siguientes departamentos de la fábrica dentro del ingenio azucarero: afecta la ebullición en los tachos, el centrifugado, la calidad de los productos y lo que es más importante, el rendimiento del azúcar. La velocidad de filtración y la facilidad de elaboración del azúcar en la refinería también resultan afectadas en grado notable por las cualidades del azúcar crudo atribuibles a la clarificación.

En el tanque de meladura a clarificar es importante tener un control, ya que puede ocurrir rebalses, y el exceso de químicos puede ocasionar un alto contenido de no azúcares en el jugo clarificado, mayores número de sales de calcio y azúcares crudos resultantes de baja calidad.

Ilustración 5. Tanque de meladura a clarificar

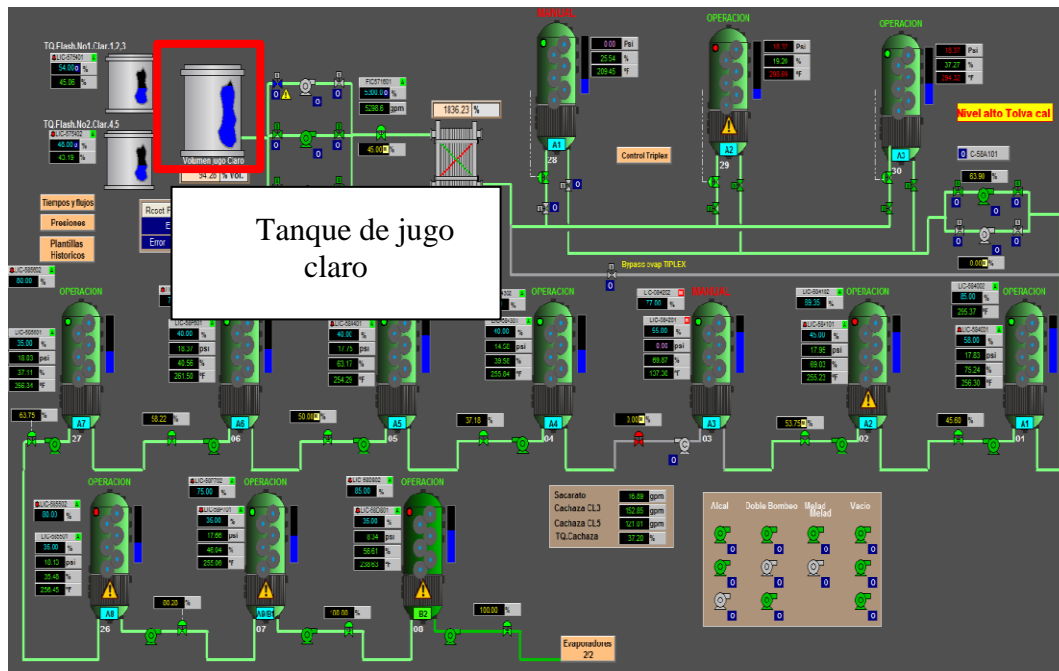


Fuente: Ingenio azucarero

4. Tanque de jugo claro. El tanque de jugo claro posee un alto contenido de agua la cual es indispensable disminuir y esto se consigue mediante la evaporación de la misma. El jugo sale de los clarificadores y mediante el uso de bombas se pasa mediante una serie de equipos que trabajan con vapor y vacío (el vapor para calentar el jugo y hacerle hervir disminuyéndole agua y vacío para bajar la presión y hacerle fluir) para convertirlo en meladura. Este tanque es el último almacenamiento de material en el área de tratamiento de jugo antes de pasar al proceso de recuperación de azúcar. Por lo que un desbalance en los vasos evaporadores de pocos minutos representa un incremento considerable de nivel.

Su principal objetivo es obtener jugo claro mediante la eliminación de impurezas del jugo mezclado, se lleva a cabo mediante una reacción química de alta temperatura, entre el jugo mezclado, el carbonato de calcio que se añadió en forma de lechada y la dosificación de floculante. Este último es un químico que ayuda a la separación de lodos del jugo.

Ilustración 6. Tanque de jugo claro



Fuente: Ingenio azucarero

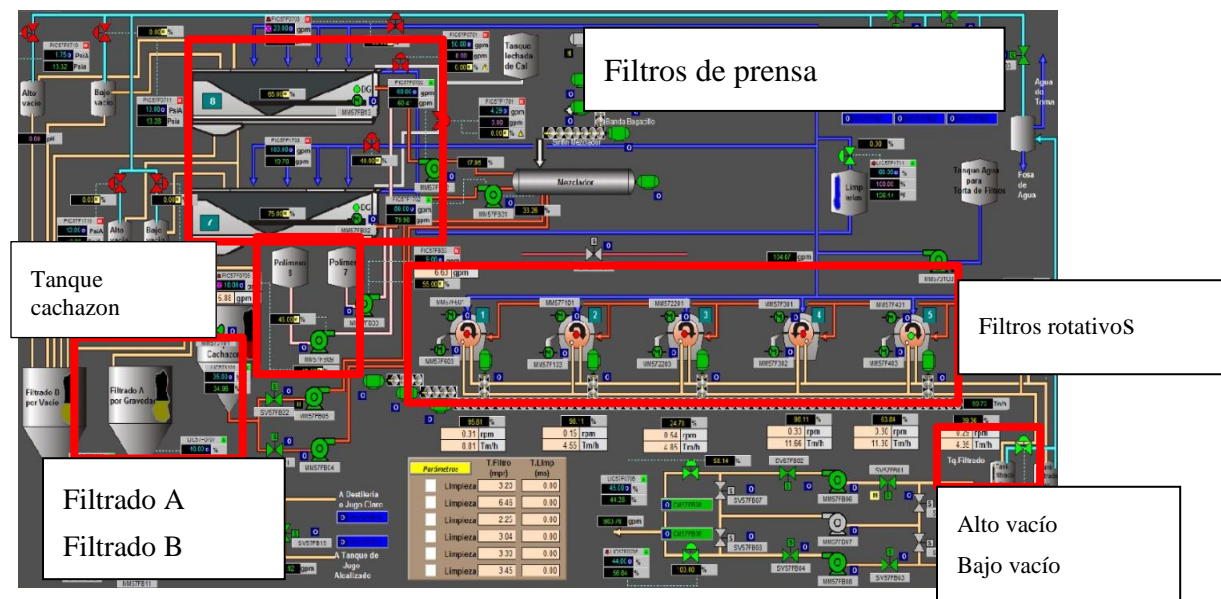
5. Tanque cachaza. La cachaza son impurezas que se decantan, son extraídas por medio de bombas, y enviadas al sistema de filtración de tambores rotativos o de prensa. El jugo recuperado se retorna al sistema de alcalizado.

La cachaza dentro de este tanque es sometida a un proceso de filtración al vacío para recuperar el azúcar en ella. Inicialmente a la cachaza se le agrega bagacillo, cal y floculante para aumentar su filtrabilidad, después se bombea hacia filtros banda o rotativos al vacío, donde se separan los sólidos del jugo resultante.

En los filtros se aplica agua caliente con aspersores para minimizar la cantidad de sacarosa residual en la cachaza. El pol en cachaza se reduce al incrementar la cantidad de agua de lavado. Sin embargo, esta reducción en la pérdida por incremento del lavado tiene que ser balanceado. La cantidad de azúcar que se pierde en la torta del filtro puede llegar a ser hasta un cuarto de la que se pierde en el bagazo, pero en muchas fábricas la pérdida en la torta del filtro es mucho más baja en proporción con la pérdida en el bagazo. Cuando esta cantidad sea alta, un control más intensivo de la pérdida de azúcar en la torta del filtro dará como resultado un ahorro considerable.

Es importante mantener el nivel del tanque de cachaza ya que éste se encuentra cerca de los canales de lavado. Lo que significa que cualquier rebalse puede llegar a la salida de aguas residuales lo cual ocasiona una pérdida inmediata de azúcar en las lagunas de tratamiento de agua.

Ilustración 7. Tanque cachaza



Fuente: Ingenio azucarero

El principal objetivo de los filtros de lodo, es alcanzar un elevado contenido de sólidos de lodo en la torta de filtros, incluso cuando la razón de bagacillo es relativamente baja.

a. Filtrado prensa. Es un sistema de filtración por presión. Consisten en una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas. Las placas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada placa.

El filtro de banda requiere para su operación un estricto control del pH de la cachaza y la aplicación continua de floculante.

En el filtrado A es el tanque que separa el jugo de partículas del lodo por gravedad es donde tiene mayor brix, deben de tener mayor control para que no baje el brix, ya que al descontrolarse el brix se tiene pérdida.

El tanque de filtro B separa el jugo del lodo por medio de vacío, retornando el jugo al tanque de alcalizado.

b. Filtrado rotativo. Estos filtros trabajan al vacío y a los cuales se les adiciona agua caliente en forma de spray por la parte superior para recupera la sacarosa que contenía lodo. Una vez que el filtrado pasa a través de la cama de bagacillo en la tela del filtro, deja los sólidos suspendidos en los pequeños espacios vacíos entre las partículas de bagacillo. El filtrado pasa a través de las telas saliendo por la válvula del filtro hasta los tanques colectores. Esta parte del ciclo de la filtración debe ser realizada con un bajo vacío para evitar la incorporación de gran cantidad de solidos suspendidos al filtrado.

El tanque de bajo vacío es el que separa el jugo de partículas del lodo por gravedad es donde tiene mayor brix, deben tener mayor control para que no baje el brix, ya que al descontrolarse el brix se tiene pérdida.

El tanque de alto vacío separa el jugo del lodo por medio de vacío, retornando el jugo al tanque de alcalizado.

L. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE REBALSE DE TANQUES EN ZAFRA 2014-2015

Para la estimación de costos, es necesario conocer la función de los tanques que están localizados en el proceso de tratamiento de jugo, se estudiará el de comportamiento de cada tanque, con los datos obtenidos de laboratorios se realizara cálculos estadísticos para la estimación de costos de rebalse.

Las fórmulas que se utilizarán para las pérdidas de flujos en los diferentes tanques son:

La fórmula de conversión de galones por minuto a galones por hora es:

$$\text{Flujo}_{\text{gph}} = \text{Flujo}_{\text{gpm}} * 60\text{min}$$

Ecuación 12

Para pasar de un flujo al total rebalsado en el tiempo estimado es:

$$\text{Pérdida total} = \text{Flujo}_{\text{gph}} * (\text{Tiempo estimado de rebalse})$$

Ecuación 13

Para estimar la azúcar pura pérdida en el galonaje rebalsado:

$$\text{Azúcar pura} = \text{Pérdida total} * \% \text{Brix} * \% \text{Pureza}$$

Ecuación 14

Para estimar cuanta de esa azúcar total pudo haber sido pasada a un saco se utilizará el factor de eficiencia de los procesos de la planta de producción de azúcar, en este caso es 78%

$$\text{Azúcar real} = \text{Azúcar pura} * \text{Eficiencia}$$

Ecuación 15

Para calcular el total de dinero que se pierde en esa oportunidad de producción de azúcar se estimará un precio de \$300 por tonelada de azúcar, por lo que la pérdida total será calculada con la siguiente ecuación: galón

$$\$Pérdida\ total = \text{Azúcar real} * \$300$$

Ecuación 16

El costo de cada galón rebalsado en el tanque será calculado de la siguiente forma:

$$\text{Costo por galón} = \frac{\$Pérdida\ total}{Pérdida\ total}$$

Ecuación 17

Tabla 5. Modelo de la estimación de costos

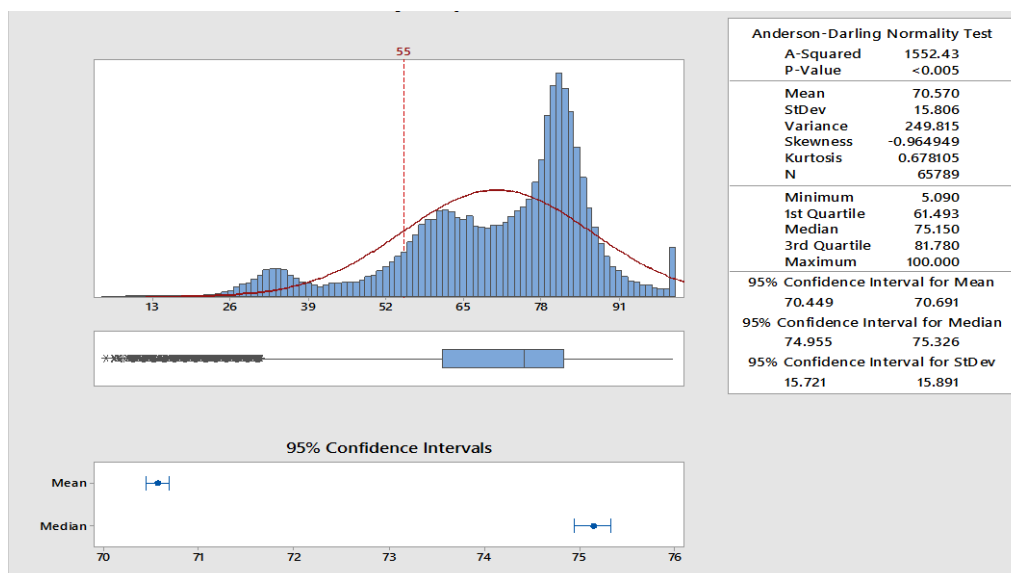
Tanque reacción	Valor	Unidad	Formulas
Tiempo estimado de rebalse	0	Horas	
Pérdida total	0	Gpm	
Flujo gpm	0	Gph	$\text{Flujo}_{\text{gph}} = \text{Flujo}_{\text{gpm}} * 60\text{min}$
Pérdida total	0	Galones	$\text{Pérdida total} = \text{Flujo}_{\text{gph}} * (\text{Tiempo estimado de rebalse})$
Meladura clar. (brix)	%		
Meladura clar. (pol)	%		
Meladura clar. (pza)	%		
Azúcar pura	0		
Azúcar	0	Galones azúcar pura	$\text{Azúcar pura} = \text{Pérdida total} * \% \text{Brix} * \% \text{Pureza}$
Eficiencia fábrica	%		
Azúcar real	0	Galones azúcar	$\text{Azúcar real} = \text{Azúcar pura} * \text{Eficiencia}$
Densidad azúcar	0	g/cm ³	
Conversión	0	cm ³ /galón	
	0		
Azúcar	0	Gramos	
Azúcar real	0	Kilo gramos	
	0	Sacos	
\$ Precio azúcar	0	Ton	
\$ Pérdida total	0		$\$Pérdida\ total = \text{Azúcar real} * \300
Costo por galón	0		$\text{Costo por galon} = \frac{\$Pérdida\ total}{Pérdida\ total}$

Fuente: Autor

1. Tanque de jugo alcalizado. Datos recopilados durante la zafra, se calculó la media de este tanque que se encuentra entre 70.45% y 70.69% de su volumen total con una desviación estándar de 15.81% aproximadamente.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 55% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 8 Informe de resumen del tanque alcalizado”, se tiene una moda mucho más fuerte por encima de éste valor, en aproximadamente un 80%, lo que hace que su media este alrededor de un 70% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual no es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a rebalses del mismo. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0.54% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 23.33 horas, con el valor que indica la media de 70%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 6 Tiempo de rebalse del tanque alcalizado, describe que se tuvo rebalse del 0.54% del 100%, con un total de 23 horas en toda la zafra.

Ilustración 8 Informe de resumen del tanque alcalizado



Fuente: Autor

Tabla 6 Tiempo de rebalse del tanque alcalizado

Tanque alcalizado		días/horas
Media	51.27	
Desv Est	187.07	
Rebalse	99	
valor Z	2.55	
Dato no rebalse	99.46%	
Datos rebalse	0.54%	
Días de zafra	181	Días
Tiempo rebalse	23.33	Horas

Fuente: Autor

Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Tabla 6 Tiempo de rebalse del tanque alcalizado, se determinó la cantidad de rebalses en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

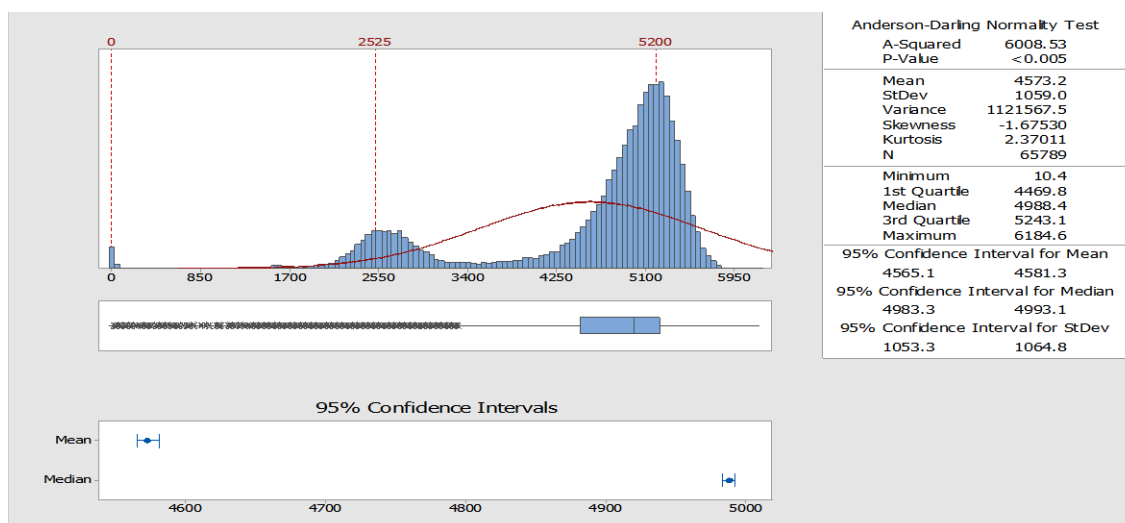
a. Pérdidas en costos monetarios del molino A y B. El jugo del tándem A y tándem es enviado al tanque de jugo alcalizado, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 7 Cálculo de pérdida en costos monetarios tándem A y B, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los dos molinos A y B, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la cantidad porcentual de sacarosa que se encuentra en los sólidos de una solución, en otras palabras es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 9 Flujo de tándems entrando a tanque alcalizado, tienen dos modas para el flujo de los tándems, esto es debido a que el estudio se realizó en un ingenio que tiene dos tándems, la moda de 2,525gpm pertenece cuando se está moliendo con un solo

tándem y la moda de 5,200gpm pertenece a la molienda con dos tándems, para efectos de este estudio se estará suponiendo que la molienda es con dos tándems.

Ilustración 9. Flujo de tándems entrando a tanque alcalizado



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, solo el 78% logra llegar al saco de azúcar, el otro 22% pertenece a la sacarosa que se queda en el bagazo, melaza y cachaza. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa Tabla 7 Cálculo de pérdida en costos monetarios tándems A y B, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300 aproximadamente, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en el tanque de jugo alcalizado se tuvo una pérdida de \$. 109.14 por galones, durante 23 horas en todo el periodo de zafra, esta pérdida se dio por los rebalses en el proceso, esto fue por falta de control en el nivel del tanque.

Tabla 7. Cálculo de pérdida en costos monetarios tándem A y B

Tanque jugo alcalizado	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	23.33	horas
Pérdida total	4573.2	gpm
Flujo gpm	274392	gph
Pérdida total	6,401,565.36	Galones
Jugo diluído (brix)	14.39	%
Jugo diluído (pol)	12.23	%
Jugo diluído (pza)	84.96	%
Azúcar pura	0.12225744	
Azúcar	782,638.99	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	610,458.41	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm3
Conversión	3785.412	cm3/galón
	2,310,836,607.62	
Azúcar	1663802357	gramos
Azúcar real	1,663,802.36	Kilo gramos
	33,276.05	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ 499,140.71	
Costo por galón	\$ 109.14	

Fuente: Autor

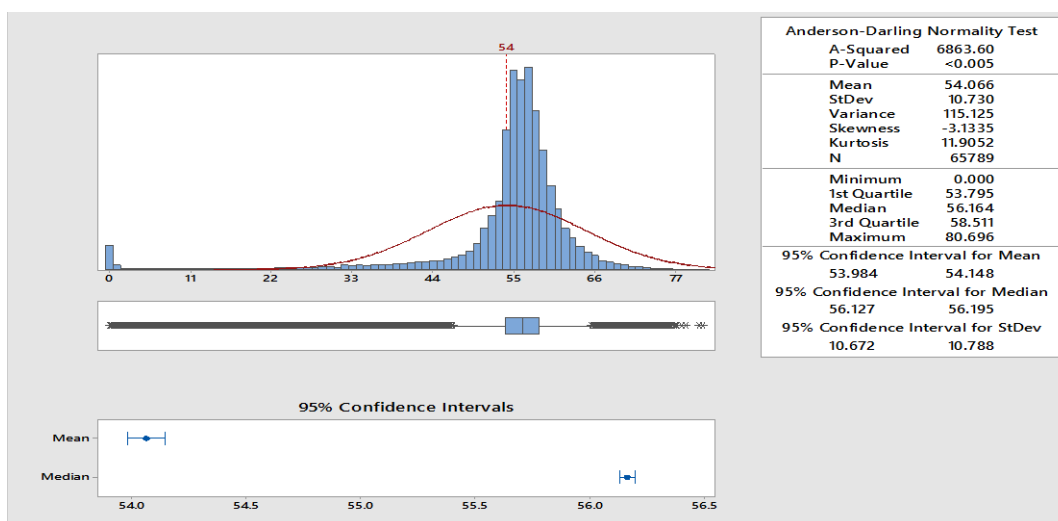
2. Tanque flash 1. Se calculó La media de este tanque con los datos recopilados durante la zafra, la media se encuentra entre 54 % y 54.2% de su volumen total con una desviación estándar de 10.67% aproximadamente como lo demuestra la Ilustración 10 Tanque flash 1.

Este tanque tiene un lazo de control que debería mantener su nivel en un 54% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 10 Tanque flash 1 se tiene una moda mucho más fuerte por encima de este valor, en aproximadamente un 80%, lo que hace que su media este alrededor de un 54% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque.

Esto se traduce a que no habrá rebaleses. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0% del tiempo este

tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0.05 horas, con el valor que indica la media de 54%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 8 Tiempo de rebalse del tanque flash 1, se tuvo un rebalse de 0% en el periodo de la zafra, indica que este tanque se mantuvo en el valor que indica la media de 54%, está en una condición aceptable.

Ilustración 10. Tanque flash 1



Fuente: Autor

Tabla 8. Tiempo de rebalse del tanque flash 1

Tanque flash 1		días/horas
Media	54	
Desv Est	10.73	
Rebalse	99	
valor Z	4.19	
Datos no rebalse	100 %	
Datos rebalse	0.00%	
Días de zafra	181	Días
Tiempo rebalse	0.05	Horas

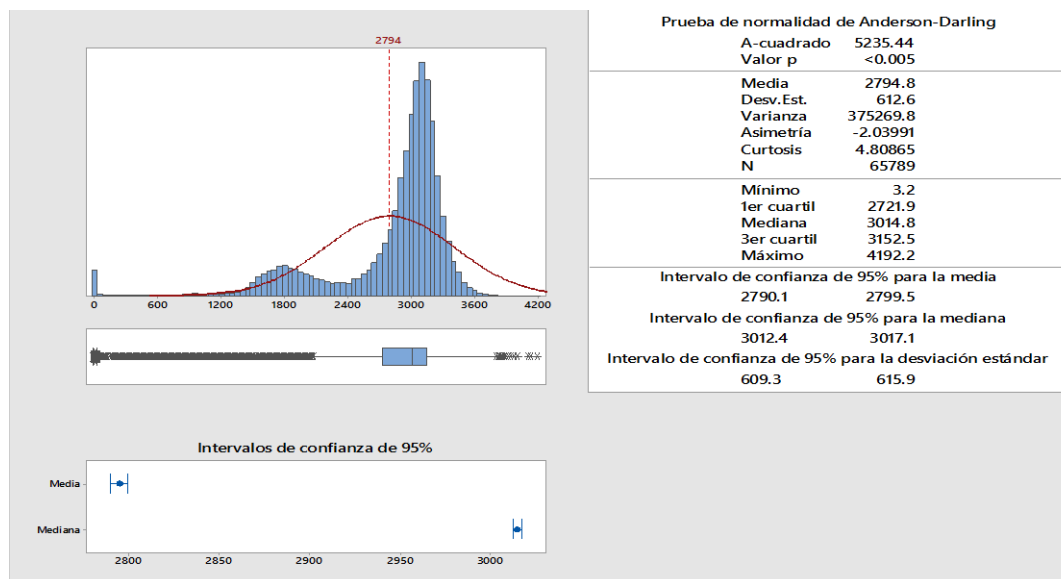
Fuente: Autor

a. Pérdidas en costos monetarios del calentador 7. El jugo de los calentadores es enviado al tanque flash 1, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 9 calentador 7, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene el calentador 7, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la cantidad porcentual de sacarosa que se encuentra en los sólidos de una solución, en otras palabras es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 11 Flujo calentador 7 entrando al tanque flash 1, la moda demuestra el comportamiento de flujo de los calentadores que entra en el tanque flash, esto es debido a que el estudio se realizó en un ingenio que tiene dos tanques flash, para efectos de este estudio se estará suponiendo que el flujo de los calentadores van hacia los tanques de flasheo.

Ilustración 11. Flujo calentador 7 entrando al tanque flash 1



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, el 78% de azúcar debe llegar al proceso de recuperación de azúcar. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 9 calentador 7, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en tanque de flasheo se tuvo una pérdida de \$. 0.24 por galones, durante 0.05 horas en todo el periodo de zafra, esta pérdida se dio por los rebalses en el proceso, esto fue por falta de control en el nivel del tanque.

Tabla 9. Calentador 7

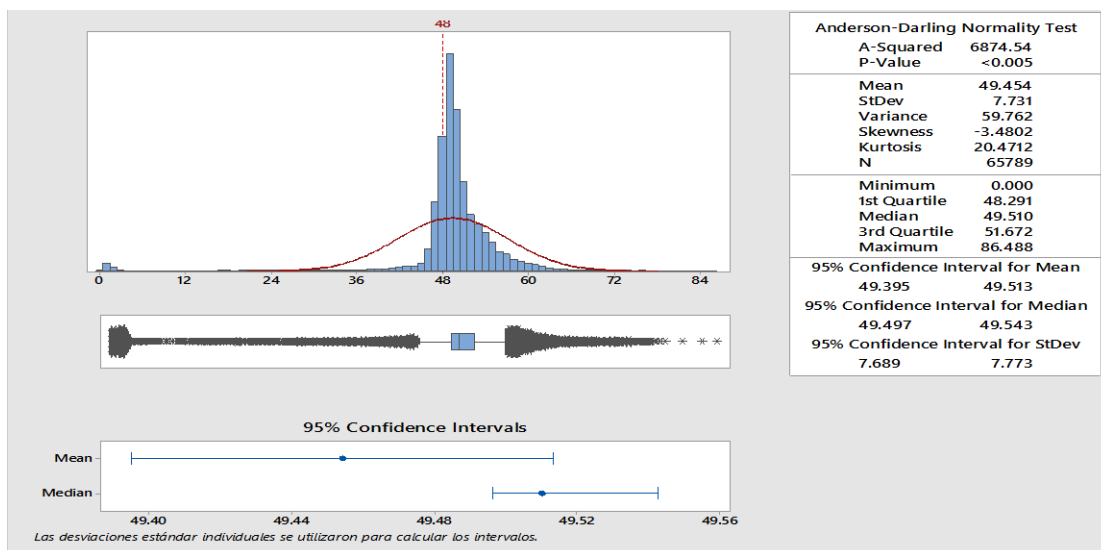
Calentador 7	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0.05	horas
Pérdida total	2794.8	gpm
Flujo gpm	167688	gph
Pérdida total	8,384.40	Galones
Jugo clarificado (brix)	14.52	
Jugo clarificado (pol)	12.47	
Jugo clarificado (pza)	85.91	
Azúcar pura	0.12474132	
Azúcar	1,045.88	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	815.79	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm ³
Conversión	3785.412	cm ³ /galón
	3,088,090.94	
Azúcar	2223425.48	gramos
Azúcar real	2,223.43	Kilo gramos
	44.47	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ 667.03	
Costo por galón	\$ 0.24	

Fuente: Autor

3. Tanque flash 2. Datos recopilados durante la zafra, se calculó La media de este tanque que se encuentra entre 49.4% y 49.51% de su volumen total con una desviación estándar de 7.7% aproximadamente según la gráfica de la Ilustración 12 Informe de resumen tanque flash 2.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 48% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 12 Informe de resumen tanque flash 2, se tiene una moda por encima de este valor, en aproximadamente un 60%, lo que hace que su media este alrededor de un 49% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a que no habrá rebalses. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0.0 horas, con el valor que indica la media de 49%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 10 Tanque flash 2 Tabla 10 Tanque flash 2 determina que se tuvo una pérdida de 0%, está en una condición aceptable ya que no se tuvo problemas de rebalse.

Ilustración 12. Informe de resumen tanque flash 2



Fuente: Autor

Tabla 10 Tanque flash 2

Tanque flash 2		días/horas
Media	49.45	
Desv Est	7.73	
Rebalse	99	
valor Z	6.41	
Datos no rebalse	100.00%	
Datos rebalse	0.00%	
Días de zafra	181	días
Tiempo rebalse	3.1588E-07	horas

Fuente: Autor

Con los datos estadísticos que se obtuvo en los tanques de flash 2, se determinó la cantidad de rebalses en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

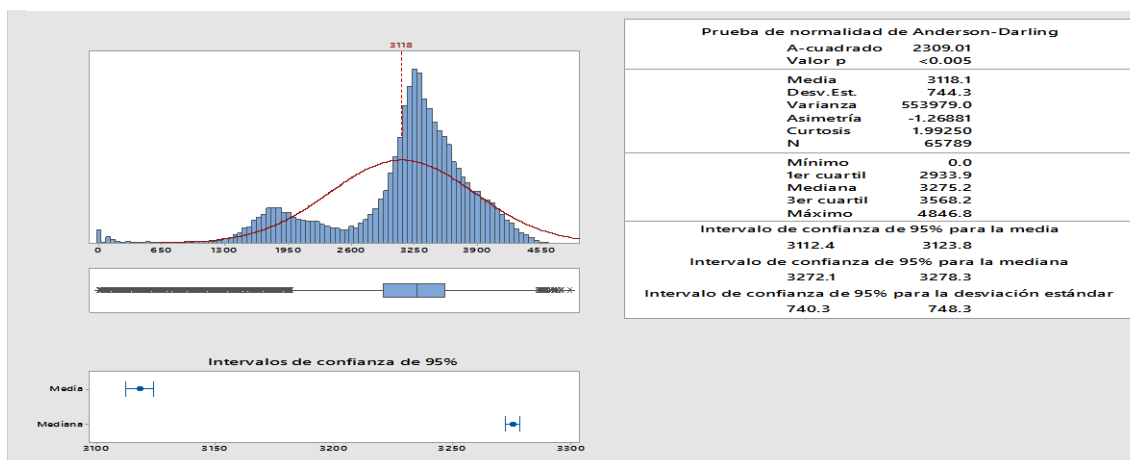
a. Pérdidas en costos monetarios del calentado 8. El jugo de los calentadores es enviado al tanque flash 2, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 11 Costo de pérdidas del calentador 8, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene el calentador 8, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la cantidad porcentual de sacarosa que se encuentra en los sólidos de una solución, en otras palabras es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 13 Flujo del calentador 8 entrando al tanque de flash 2, la moda demuestra el comportamiento de flujo de los calentadores que entra en el tanque flash 2 esto es debido a que el estudio se realizó en un ingenio que tiene dos tanques flash, para efectos de éste estudio se estará suponiendo que el flujo de los calentadores van hacia los tanques de flasheo.

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, el 78% de azúcar debe de llegar al proceso de recuperación de azúcar. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa Tabla 11 Costos de pérdidas del calentador 8, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Ilustración 13. Flujo del calentador 8 entrando al tanque de flash 2



Fuente: Autor

Tabla 11. Costo de pérdidas del calentador 8

Calentador 8	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0	horas
Pérdida total	3118.1	gpm
Flujo gpm	187086	gph
Pérdida total	-	Galones
Jugo clarificado (brix)	14.52	
Jugo clarificado (pol)	12.47	
Jugo clarificado (pza)	85.91	
Azúcar pura	0.1247	
Azúcar	-	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	-	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm ³
Conversión	3785.412	cm ³ /galón
Azúcar	0	gramos
Azúcar real	-	Kilo gramos
	-	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ -	
Costo por galón	\$ -	

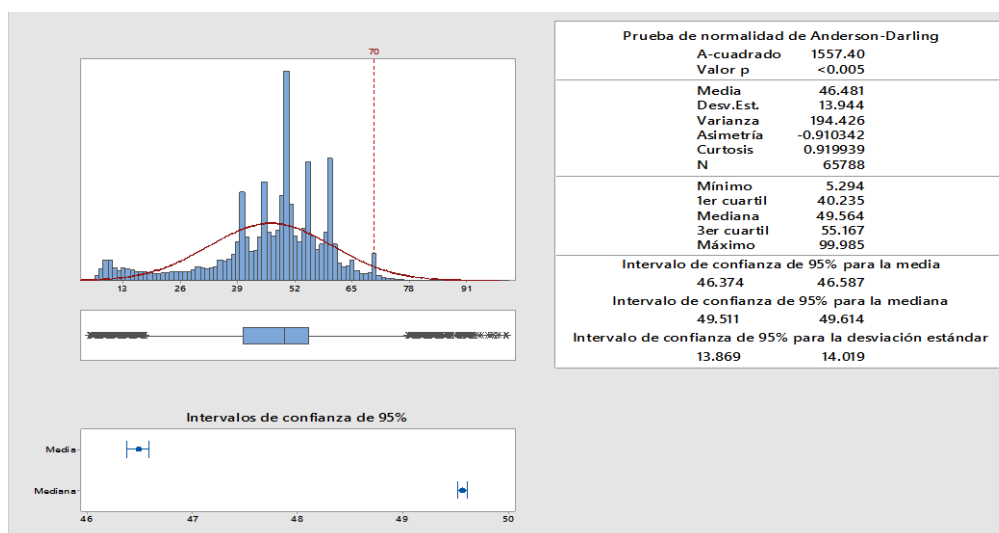
Fuente: Autor

Se concluye que en tanque de flasheo se tuvo una pérdida de \$. 0 por galones, durante 0 horas en todo el periodo de zafra, está pérdida se dio por los rebalses en el proceso, esto fue por falta de control en el nivel del tanque.

1. Tanque de meladura a clarificar. Datos recopilados durante la zafra, se calculó la media de este tanque que se encuentra entre 46.58% y 46.37% de su volumen total con una desviación estándar de 13.94% aproximadamente según la gráfica de la Ilustración 14 Tanque de meladura a clarificar.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 70% o lo que físicamente es a un 20% más de la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 14. Tanque de meladura a clarificar. Se tiene una moda por debajo de este valor, en aproximadamente un 50%, lo que hace que su media este alrededor de un 49% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a que no habrá rebalses. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0.1% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0.37 horas, con el valor que indica la media de 46%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 12 Tanque de meladura a clarificar.

Ilustración 14. Tanque de meladura a clarificar



Fuente: Autor

Tabla 12. Tanque de meladura a clarificar

Tanque de meladura a clarificar		días/horas
Media	46.48	
Desv Est	13.98	
Rebalse	99	
valor Z	3.7567	
Datos no rebalse	99.99%	
Datos rebalse	0.01%	
Días de zafra	181	días
Tiempo rebalse	0.3738	horas

Fuente: Autor

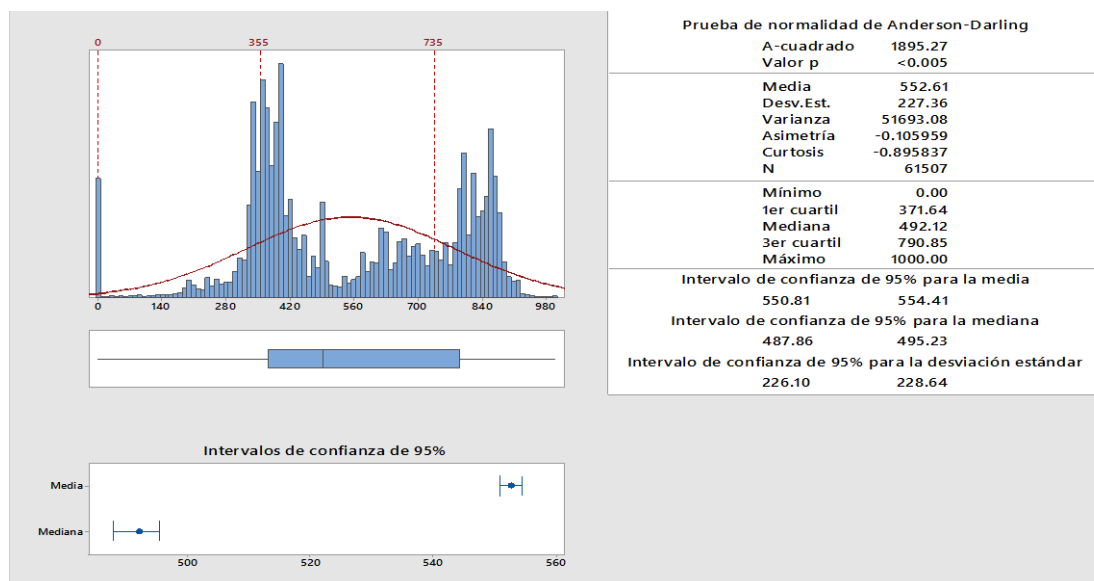
Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Ilustración 14 Tanque de meladura a clarificar y en la Tabla 12 Tanque de meladura a clarificar, se determinó la cantidad de rebases en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

a. Pérdidas en costos monetarios de los tanques de reacción 1 y 2. El jugo de los tanques de reacción es enviado al tanque de meladura a clarificar, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 13 Tanque reacción 1 y 2, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los tanques de reacción 1, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 15 Flujo del tanque de reacción que entran al tanque de meladura, la moda demuestra el comportamiento de flujo de los tanques de reacción que entra en el tanque de meladura a clarificar, esto es debido a que el estudio se realizó en un ingenio que tiene dos tanques flash, para efectos de éste estudio que se realizaron para determinar el comportamiento de los flujos hacia el tanque de meladura.

Ilustración 15. Flujo del tanque de reacción que entran al tanque de meladura



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, el 78% de azúcar debe de llegar al proceso de recuperación de azúcar. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 13 Tanque reacción 1 y 2, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en tanque de meladura a clarificar se tuvo una pérdida de \$. 7.94 por galones, durante 0.37 horas en todo el periodo de zafra, está pérdida se dio por los rebales en el proceso, esto fue por falta de control en el nivel del tanque.

Tabla 13. Tanque reacción 1 y 2

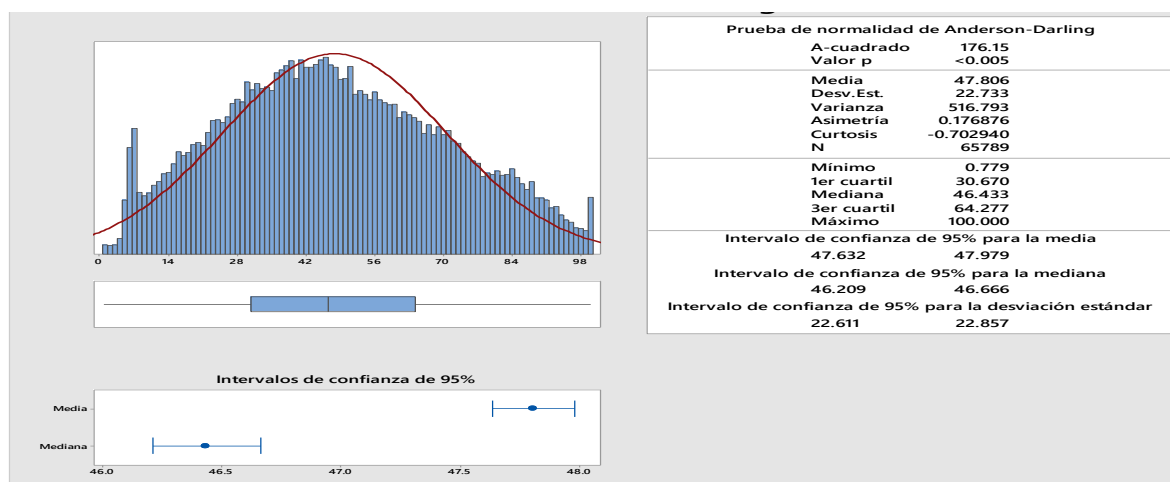
Tanque reacción	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0.37	horas
Pérdida total	552.61	gpm
Flujo gpm	33156.6	gph
Pérdida total	12,267.94	Galones
Meladura clar. (brix)	66.22	
Meladura clar. (pol)	56.12	
Meladura clar. (pza)	84.73	
Azúcar pura	0.56108206	
Azúcar	6,883.32	Galonesa azúcar Pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	5,368.99	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm ³
Conversión	3785.412	cm ³ / galón
	20,323,844.06	
Azúcar	14633167.73	gramos
Azúcar real	14,633.17	Kilo gramos
	292.66	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ 4,389.95	
Costo por galón	\$ 7.94	

Fuente: Autor

5. Tanque de jugo claro. Datos recopilados durante la zafra, se tiene que la media de este tanque se encuentra entre 47.63% y 47.9% de su volumen total con una desviación estándar de 22.61% aproximadamente como lo demuestra la gráfica de la Ilustración 16 Informe de resumen de tanque de jugo claro.

Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 1.21% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 52.75 horas, con el valor que indica la media de 47.80%, Esto se traduce a rebaleses del mismo, por lo que no está en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 14 Tanque de jugo claro.

Ilustración 26. Informe de resumen de tanque jugo claro



Fuente: Autor

Tabla 14. Tanque de jugo claro

Tanque de jugo claro	días/horas
Media	47.8
Desv Est	22.73
Rebalse	99
valor Z	2.2525
Datos no rebalse	98.79%
Datos rebalse	1.21%
Días de zafra	181 días
Tiempo rebalse	52.7553 horas

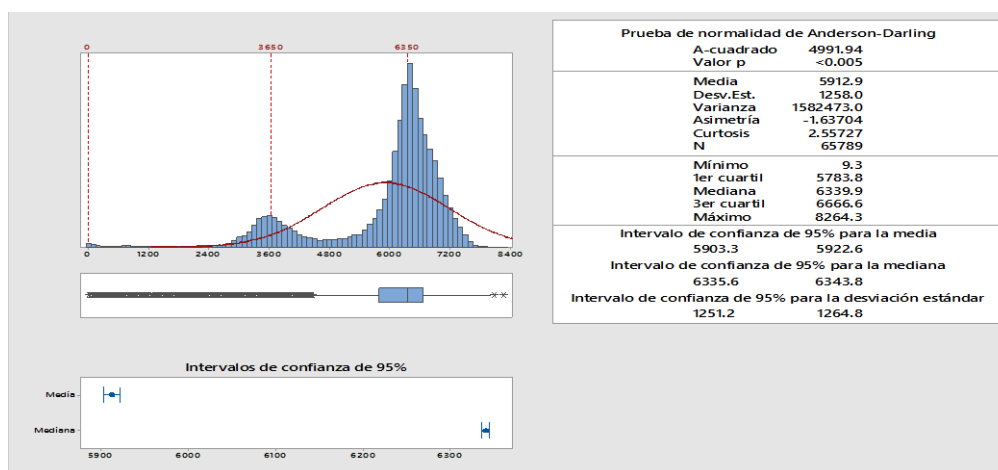
Fuente: Autor

Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Ilustración 16 Informe de resumen de tanque de jugo claro y en la Tabla 14 Tanque de jugo claro, se determinó la cantidad de rebalses en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

a. Pérdidas en costos monetarios de la suma de los calentadores. El jugo de los calentadores es enviado al tanque de meladura de jugo claro, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 15 Suma de calentadores, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los calentadores, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo. Como se puede ver en la Ilustración 17 Suma de calentadores que entran en el tanque de jugo claro, la moda demuestra el comportamiento de flujo de los calentadores que entran en el tanque de jugo claro, esto es debido a que el estudio se realizó para conocer el comportamiento de los calentadores.

Ilustración 17. Suma de calentadores que entran en el tanque de jugo claro



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, el 78% de azúcar debe llegar al proceso de recuperación de azúcar. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 15 Suma de calentadores, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en tanque de jugo claro se tuvo una pérdida de \$. 248.21 por galones, durante 52 horas en todo el periodo de zafra, esta pérdida se dio por los rebaleses en el proceso, esto fue por falta de control en el nivel del tanque.

Tabla 15. Suma de calentadores

Suma calentadores	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	52	horas
Pérdida total	5912	gpm
Flujo gpm	354720	gph
Pérdida total	18,445,440.00	Galones
Jugo clarificado (Brix)	14.52	
Jugo clarificado (Pol)	12.47	
Jugo clarificado (Pza)	85.91	
Azúcar pura	0.12474132	
Azúcar	2,300,908.53	Galones azúcar Pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	1,794,708.66	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm ³
Conversión	3785.412	cm ³ / galón
	6,793,711,683.66	
Azúcar	4891472412	gramos
Azúcar real	4,891,472.41	Kilo gramos
	97,829.45	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ 1,467,441.72	
Costo por galón	\$ 248.21	

Fuente: Autor

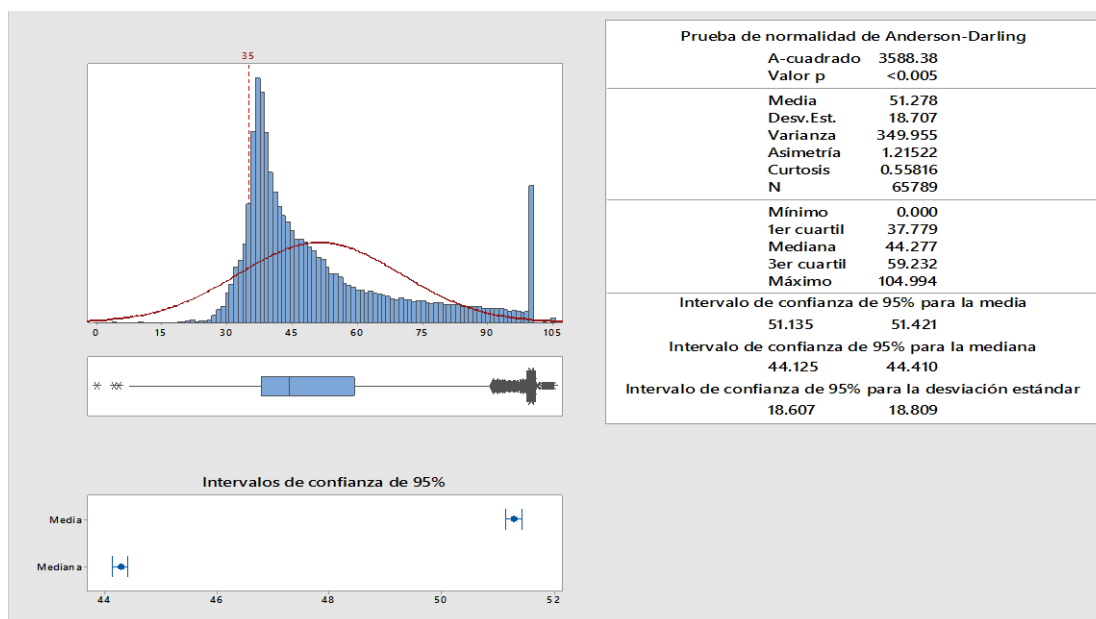
6. Tanque de cachaza. Durante la zafra se recopilieron datos, con lo que se determinó la media del tanque, que se encuentra entre 51.13% y 51.42% de su volumen total con una desviación estándar de 18.7% aproximadamente.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 25% o lo que físicamente es menos de la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 18 Informe de resumen de tanque cachazón, se tiene una moda por encima de éste valor, en aproximadamente un 60%, lo que hace que su media este alrededor de un 51.27% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual no es capaz de controlar el nivel del tanque.

Esto se traduce a que habrá rebalses. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse, se concluye que el 0.53% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 23.23 horas, con el valor que indica la media de 51.27%, demuestra que estuvo en un rango no

aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 16 Tanque de cachazón.

Ilustración 18. Informe de resumen de tanque cachazón



Fuente: Autor

Tabla 16. Tanque de cachazón

Tanque de cachazón	días/horas
Media	51.27
Desv Est	18.7
Rebalse	99
valor Z	2.55
Datos no rebalse	99.47%
Datos rebalse	0.53%
Días de zafra	181 días
Tiempo rebalse	23.2364 horas

Fuente: Autor

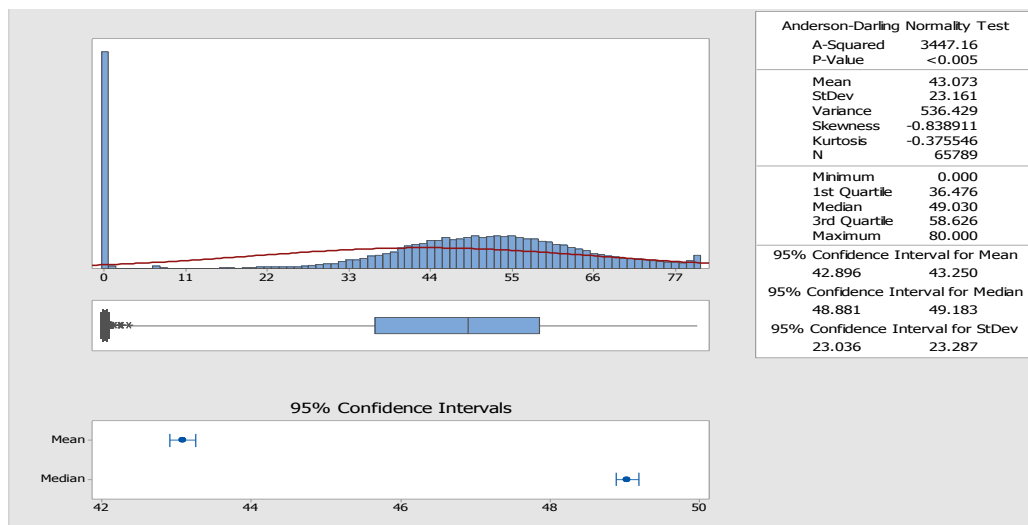
Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Ilustración 18 Informe de resumen de tanque cachazón y en la Tabla 16 Tanque de cachazón, se determinó la cantidad de rebaleses en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

a. Pérdidas en costos monetarios del tanque de cachaza. El flujo de cachaza que es enviado al tanque cachazón, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 16 Tanque de cachazón, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los tanques de reacción 1, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 19 Flujo que entra al tanque de cachaza tiene 1 moda para el flujo de la cachaza, la moda de 53gpm describe el comportamiento del flujo que va para el tanque de cachaza, para efectos de éste estudio se estará suponiendo el flujo que pasa para el tanque de cachaza.

Ilustración 19. Flujo que entra al tanque de cachaza



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, solo el 78% logra llegar al saco de azúcar, el otro 22% pertenece a la sacarosa que se queda en el bagazo, melaza y cachaza.

El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Ilustración 19 Flujo del tanque de cachaza, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300 aproximadamente, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en tanque de cachaza se tuvo una pérdida de \$. 544 por galones, durante 23 horas en todo el periodo de zafra, está pérdida se dio por los rebales en el proceso, esto fue por falta de control en el nivel del tanque.

Tabla 17. Flujo del tanque de cachaza

Tanque de cachazón	Valor	Unidad
Tiempo estimado rebalse	23.33	horas
Flujo gpm	43.073	Ton/h
Pérdida total	1,004.84	Ton
Cachaza (Pol)	9.97	
Azúcar pura	100.18	Ton
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	78.14	Ton
Precio azúcar	\$ 300.00	Ton
Pérdida total	\$ 23,442.76	
Pérdida por galón	\$ 544.26	

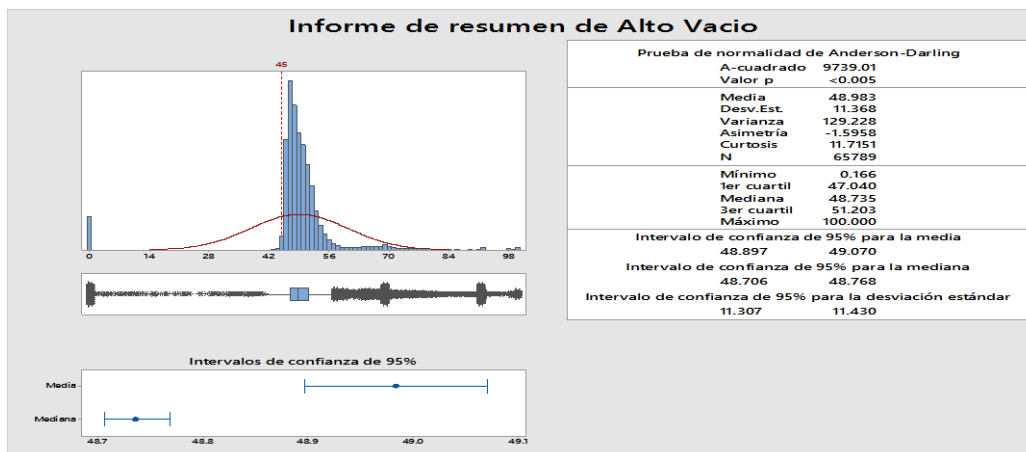
Fuente: Autor

8. Alto vacío. La media de este tanque se encuentra entre 48.89% y 49.07% de su volumen total con una desviación estándar de 11.36% aproximadamente.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 45% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar Ilustración 20 Informe de resumen de alto vacío, se tiene una moda por encima de este valor, en aproximadamente un 60%, lo que hace que su media este alrededor de un 49% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a que no hubo rebales del mismo. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0 horas, con el valor que indica la media

de 49%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 18 Alto vacío.

Ilustración 20. Informe de resumen de alto vacío



Fuente: Autor

Tabla 18. Alto vacío

Alto vacío		días/horas
Media	48.98	
Desv Est	11.36	
Rebalse	99	
valor Z	4.40316901	
Datos no rebalse	100.00%	
Datos rebalse	0.00%	
Días de zafra	181	días
Tiempo rebalse	0.02317111	horas

Fuente: Autor

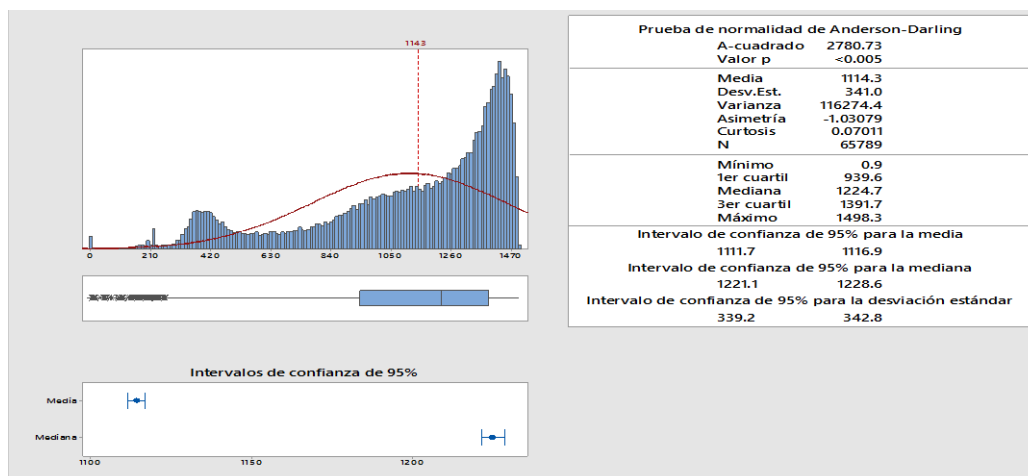
Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Ilustración 20 Informe de resumen de alto vacío y en la Tabla 18 Alto vacío, se determinó la cantidad de rebales en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

a. Pérdidas en costos monetarios del flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío. El flujo del filtro de rotativo que es enviado al tanque de alto vacío, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 18 Alto vacío, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los tanques de reacción 1, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 21 Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío tiene una moda para el flujo del filtro rotativo, la moda de 1114.3gpm describe el comportamiento del flujo que va para el tanque de alto vacío y del tanque de bajo vacío, para efectos de éste estudio se estará suponiendo el flujo que pasa para los tanques sería de 557.15 gpm para cada tanque.

Ilustración 21. Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, solo el 78% logra llegar al saco de azúcar, el otro 22% pertenece a la sacarosa que se queda en el bagazo, melaza y cachaza.

El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 19 Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300 aproximadamente, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en tanque de alto vacío se tuvo una pérdida de \$. 0.08 por galones, durante 0,023horas en todo el periodo de zafra, esto indica que no se tuvo pérdida en el tanque.

Tabla 19. Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de alto vacío

Flujo del filtro rotativo	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0.023	horas
Pérdida total	557.15	gpm
Flujo gpm	33429	gph
Pérdida total	768.87	Galones
Jugo filtrado (brix)	11	
Jugo filtrado (pol)	9	
Jugo filtrado (pza)	84	
Azúcar pura	0.0924	
Azúcar	71.04	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	55.41	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm3
Conversión	3785.412	cm3/galón
	209,764.00	
Azúcar	151030.0778	gramos
Azúcar real	151.03	Kilo gramos
	3.02	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ 45.31	
Costo por galón	\$ 0.08	

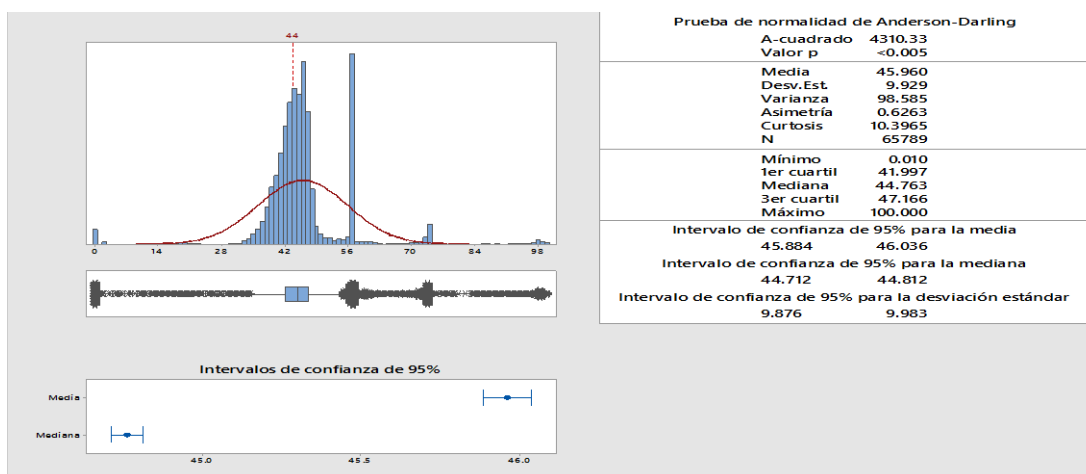
Fuente: Autor

9. Bajo vacío. La media de este tanque se encuentra entre 45.88% y 46.03% de su volumen total con una desviación estándar de 9.92% aproximadamente.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 44% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 22 Informe de resumen de bajo vacío, se tiene una moda por encima de éste valor, en aproximadamente un 50%, lo que hace que su media este alrededor de un 46% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a que no hubo rebales del mismo. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99%

son rebalse se concluye que el 0% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0 horas, con el valor que indica la media de 46%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 20 Bajo vacío.

Ilustración 22. Informe de resumen de bajo vacío



Fuente: Autor

Tabla 20. Bajo vacío

Bajo vacío	días/horas
Media	45.96
Desv Est	9.92
Rebalse	99
valor Z	5.3467
Datos no reb	100.00%
Datos rebals	0.00%
Días de zafra	181 días
Tiempo rebals	0.0001 horas

Fuente: Autor

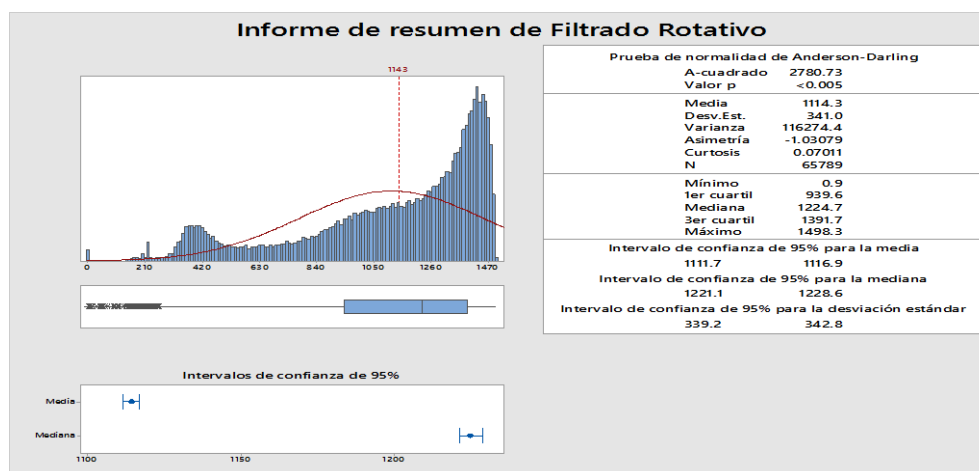
Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Ilustración 22 Informe de resumen de bajo vacío y en la Tabla 20 Bajo vacío, se determinó la cantidad de rebales en horas que se obtuvo, con estos datos se prosigió a calcular la pérdida en costos monetarios.

a. Pérdidas en costos monetarios del flujo del filtro rotativo que entra al tanque de bajo vacío. El flujo del filtro rotativo que es enviado al tanque de filtro de bajo vacío, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 21 Flujo del filtro rotativo que entra al filtro de bajo vacío, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los tanques de reacción 1, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 23 Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de filtro de bajo vacío, tiene una moda para el flujo del filtro rotativo, la moda de 1114.3gpm describe el comportamiento del flujo que va para el tanque de filtro de alto vacío y del tanque del filtro de bajo vacío, para efectos de éste estudio se estará suponiendo el flujo que pasa para los tanques sería de 557.15 gpm para cada tanque.

Ilustración 23. Flujo del filtro rotativo que entra al tanque de filtro de bajo vacío



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, solo el 78% logra llegar al saco de azúcar, el otro 22% pertenece a la sacarosa que se queda en el bagazo, melaza y cachaza. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 21 Flujo de filtro rotativo que entra al filtro de bajo vacío, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300 aproximadamente, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en del tanque de bajo vacío se tuvo una pérdida de \$. 0.0 por galones, durante 0 horas en todo el periodo de zafra, esto indica que no se tuvo pérdida en el tanque.

Tabla 21 Flujo del filtro rotativo que entra al filtro de bajo vacío

Flujo del filtro rotativo	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0	horas
Pérdida total	557.15	gpm
Flujo gpm	33429	gph
Pérdida total	-	Galones
Jugo filtrado (brix)	11	
Jugo filtrado (pol)	9	
Jugo filtrado (pza)	84	
Azúcar pura	0.0924	
Azúcar	-	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	-	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm ³
Conversión	3785.412	cm ³ /galón
	-	
Azúcar	0	gramos
Azúcar real	-	Kilo gramos
	-	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ -	
Costo por galón	\$ -	

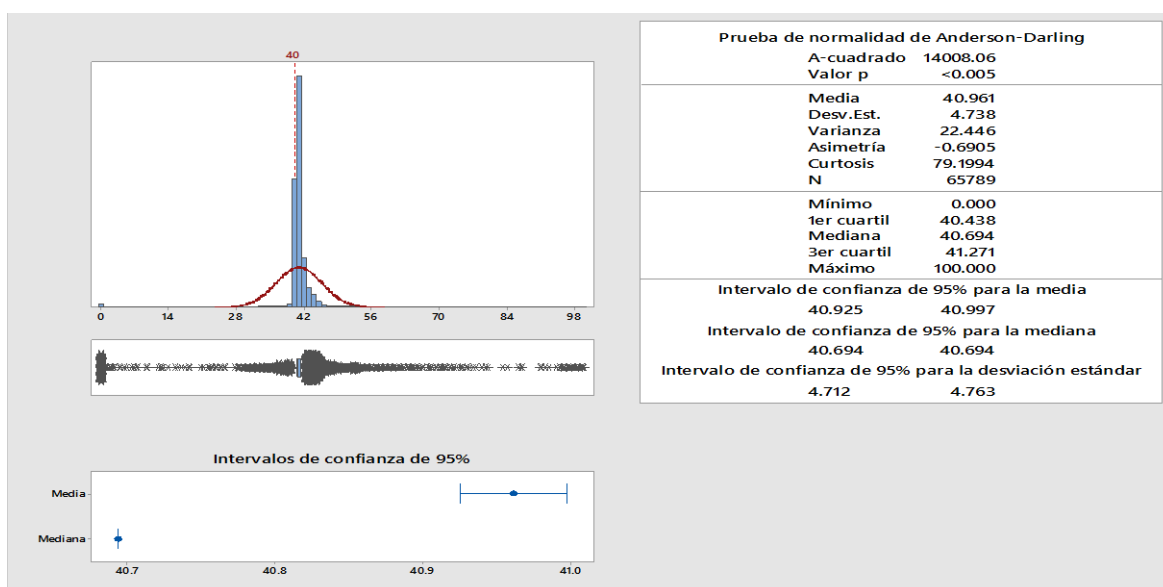
Fuente: Autor

10. Filtro A. La media de este tanque se encuentra entre 40.92% y 40.99% de su volumen total con una desviación estándar de 4.74% aproximadamente.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 40% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 24 Informe de resumen filtrado, se tiene una moda del mismo valor, en aproximadamente un 45%, lo que hace que su media este alrededor de un 41% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a que no hubo rebalses del mismo.

Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0 horas, con el valor que indica la media de 41%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 22 Filtro A.

Ilustración 24. Informe de resumen filtrado A



Fuente: Autor

Tabla 22. Filtrado A

Filtro A		días/horas
Media	40.96	
Desv Est	4.73	
Rebalse	99	
valor Z	12.2706	
Datos no rebalse	100.00%	
Datos rebalse	0.00%	
Días de zafra	181	días
Tiempo rebalse	0	horas

Fuente: Autor

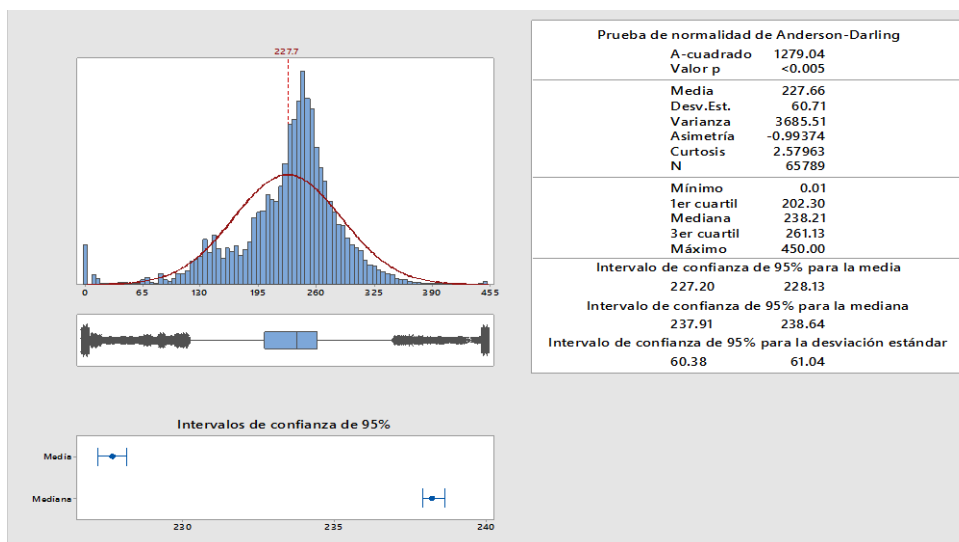
Con los datos estadísticos que se obtuvo en la Ilustración 24 Informe de resumen filtrado A y en la Tabla 22 Filtrado A, se determinó la cantidad de rebalses en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

a. Pérdidas en costos monetarios del flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro A. El flujo del filtro de prensa que es enviado al tanque de filtro A, donde se calculó la cantidad de jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 23 Flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro A, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas de los dos tanques, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene los tanques de reacción 1, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra en el tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Como se puede ver en la Ilustración 25 Flujo de filtro de prensa que entra al tanque de filtro A tiene una moda para el flujo del filtro de prensa, la moda de 227.7gpm describe el comportamiento del flujo que va para el tanque de filtro del filtro A y del tanque del filtro B, para efectos de este estudio se estará suponiendo el flujo que pasa para los tanques sería de 113.85 gpm para cada tanque.

Ilustración 25. Flujo de filtro de prensa que entra al tanque de filtro A



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, solo el 78% logra llegar al saco de azúcar, el otro 22% pertenece a la sacarosa que se queda en el bagazo, melaza y cachaza. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 22 Flujo de filtro de prensa que entra al tanque de filtro A, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300 aproximadamente, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en tanque del tanque de filtro A se tuvo una pérdida de \$. 0.0 por galones, durante 0 horas en todo el periodo de zafra, esto indica que no se tuvo pérdida en el tanque.

Tabla 23. Flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro A

Flujo del filtro de prensa	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0	horas
Pérdida total	113.83	gpm
Flujo gpm	6829.8	gph
Pérdida total	-	Galones
Jugo filtrado (brix)	11.82	
Jugo filtrado (pol)	9.97	
Jugo filtrado (pza)	84.35	
Azúcar pura	0.0997017	
Azúcar	-	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	-	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm3
Conversión	3785.412	cm3/galón
	-	
Azúcar	0	gramos
Azúcar real	-	Kilo gramos
	-	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ -	
Costo por galón	\$ -	

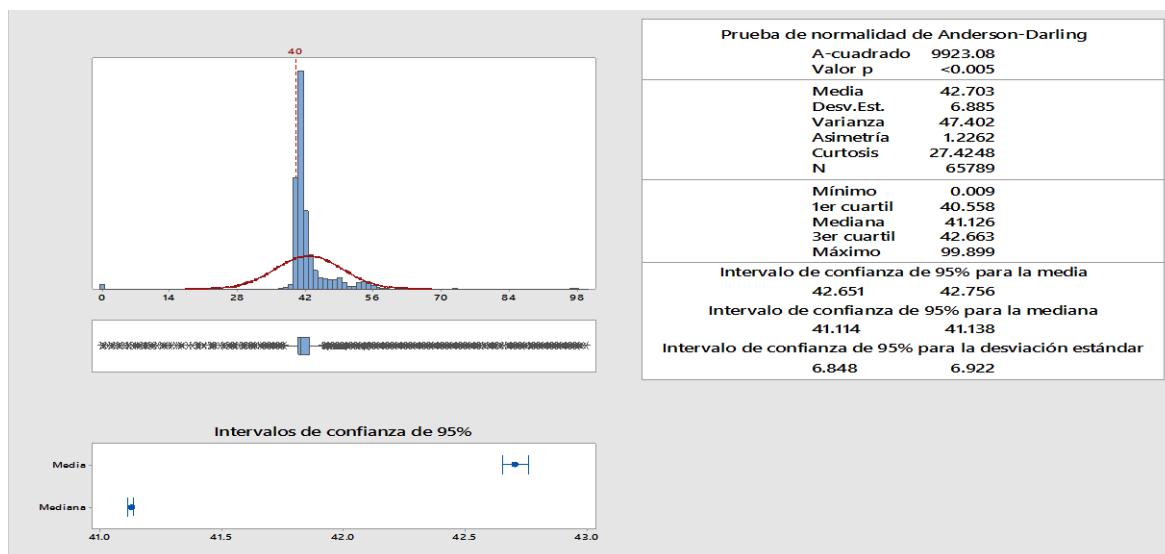
Fuente: Autor

11. Filtrado B. La media de este tanque se encuentra entre 42.65% y 42.75% de su volumen total con una desviación estándar de 6.88% aproximadamente.

Este tanque tiene un lazo de control que debería de mantener su nivel en un 40% o lo que físicamente es la mitad del tanque. Como podemos observar en la Ilustración 26 Informe de resumen filtrado B, se tiene una moda del mismo valor, en aproximadamente un 45%, lo que hace que su media este alrededor de un 41% del tanque. Esto significa que el lazo de control actual es capaz de controlar el nivel del tanque. Esto se traduce a que no hubo rebalses del mismo. Haciendo cálculos estadísticos normales y suponiendo que valores arriba de un 99% son rebalse se concluye que el 0% del tiempo este tanque estuvo rebalsando, se tuvieron 181 días de zafra, por lo que en total este tanque estuvo rebalsando 0 horas, con el valor que indica la media

de 41%, demuestra que estuvo en un rango aceptable, se calculó el valor Z para conocer los datos de rebalse, según la Tabla 24 Filtro B.

Ilustración 26. Informe de resumen filtrado B



Fuente: Autor

Tabla 24. Filtro B

Filtro B		días/horas
Media	42.7	
Desv Est	6.88	
Rebalse	99	
valor Z	8.18313953	
Datos no rebalse	100.00%	
Datos rebalse	0.00%	
Días de zafra	181	días
Tiempo rebalse	0	horas

Fuente: Autor

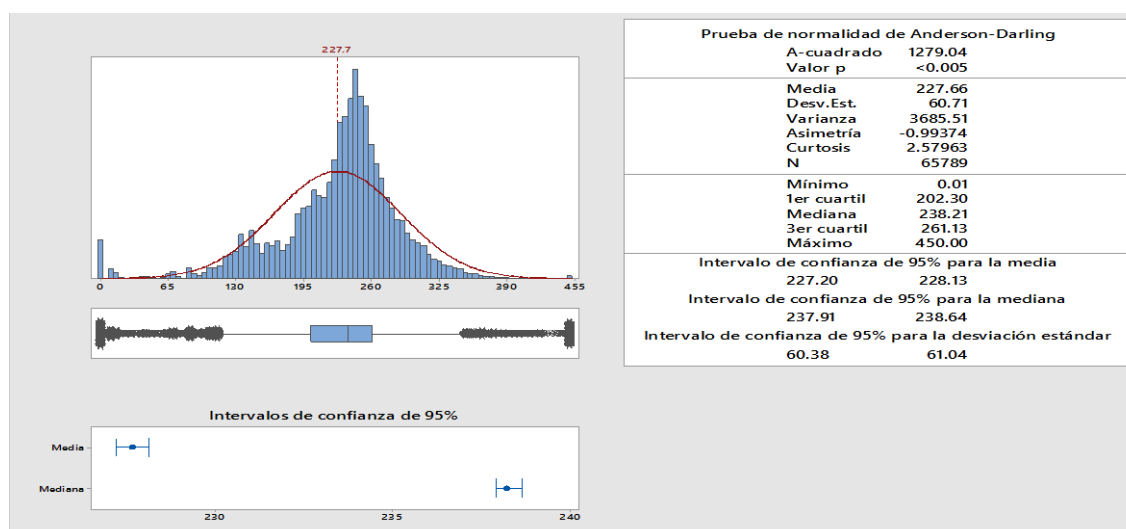
Con los datos estadísticos que se obtuvo de los tanques de jugo filtrado B, se determinó la cantidad de rebalses en horas que se obtuvo, con estos datos se prosiguió a calcular la pérdida en costos monetarios.

Pérdidas en costos monetarios del flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro B. El jugo del filtro de prensa es enviado al tanque de filtros A Y B, donde se calculó la cantidad de

jugo en galones que el tanque contiene, en la Tabla 24 Filtro B, se puede observar el tiempo de pérdidas en horas del tanque, durante los 181 días de zafra.

El flujo medio dado en gal/min que contiene el filtro de prensa, estos datos fueron necesarios para calcular el flujo de galones por hora que entra al tanque, que se da durante el periodo de zafra, para los valores de brix, pol y pureza experimentales del estudio obtenidos del laboratorio, esto con el fin de utilizar los datos aproximados a los datos reales y así obtener resultados válidos. El brix es el peso porcentual de sólido que contiene una solución de sacarosa, y pureza es la reacción porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa con estos datos obtengo la cantidad de azúcar que contiene el jugo.

Ilustración 27. Flujo del filtro de prensa que entra al tanque de filtro B



Fuente: Autor

Se calculó la cantidad de azúcar pura, para determinar la cantidad de azúcar recuperada, del 100% que entra en los molinos y pasa por todos los procesos, el 78% de azúcar debe llegar al proceso de recuperación de azúcar. El azúcar contiene una densidad de 0.72g/cm^3 , con estos datos que representa la Tabla 25 Filtro de prensa, se convierten a sacos para conocer el precio por saco, ya que el precio por tonelada es de \$300, con esto se conoce el precio total de azúcar y la pérdida de costos por galones.

Se concluye que en los filtro B se tuvo una pérdida de \$.00 por galones, durante 0 horas en todo el periodo de zafra, se determina que no se tuvo pérdidas de rebaleses.

Tabla 25. Filtro de prensa

Flujo del filtro de prensa	Valor	Unidad
Tiempo estimado de rebalse	0	horas
Pérdida total	113.83	gpm
Flujo gpm	6829.8	gph
Pérdida total	-	Galones
Jugo filtrado (brix)	11.82	
Jugo filtrado (pol)	9.97	
Jugo filtrado (pza)	84.35	
Azúcar pura	0.0997017	
Azúcar	-	Galones azúcar pura
Eficiencia fábrica	78%	
Azúcar real	-	Galones azúcar
Densidad azúcar	0.72	g/cm ³
Conversión	3785.412	cm ³ /galón
	-	
Azúcar	0	gramos
Azúcar real	-	Kilo gramos
	-	Sacos
\$ Precio azúcar	300	Ton
\$ Pérdida total	\$ -	
Costo por galón	\$ -	

Fuente: Autor

M. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE PÉRDIDAS EN TEMPERATURA Y PH

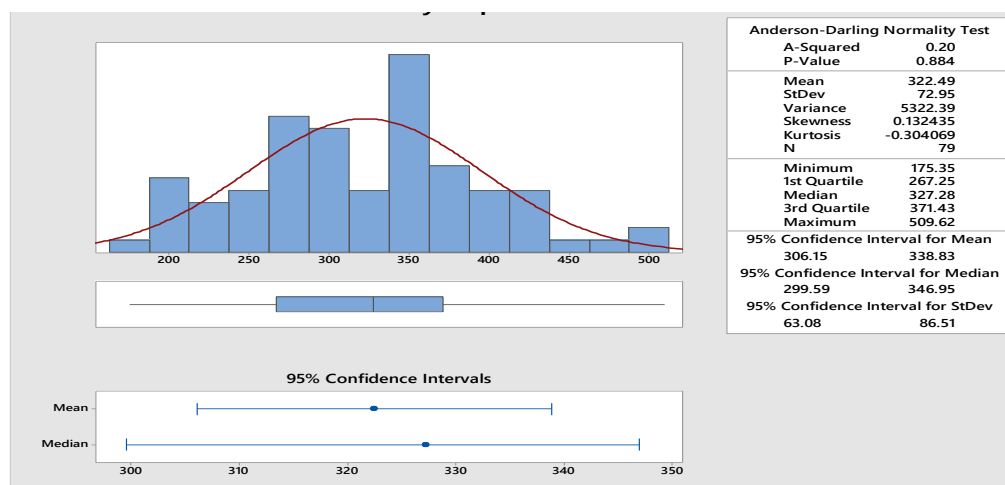
Con el método de Vukov se calculó el comportamiento de la temperatura y el pH de tratamiento de jugo.

Se calculó la cantidad de pérdida de saco que se produce por día por la variación del pH, con los datos obtenidos se tiene la siguiente grafica de la Ilustración 29 pH jugo claro, donde indica el comportamiento de la pérdida de producción que se tuvo en los 181 días de zafra del 2014-2015,

se calcularon los datos con el programa minitab para obtener los datos estadísticos de la producción, la producción debería mantenerse en un aproximado de 500 a 700 sacos por día.

Con los cálculos estadísticos de pérdida que se da por el pH, se tuvo una media de 322.49 sacos por día, una desviación estándar de 72.95, y una moda de 350, esto significa que de la producción se tuvo 350 sacos de pérdida por día, no se mantuvo la producción.

Ilustración 28. Pérdida de sacos por día

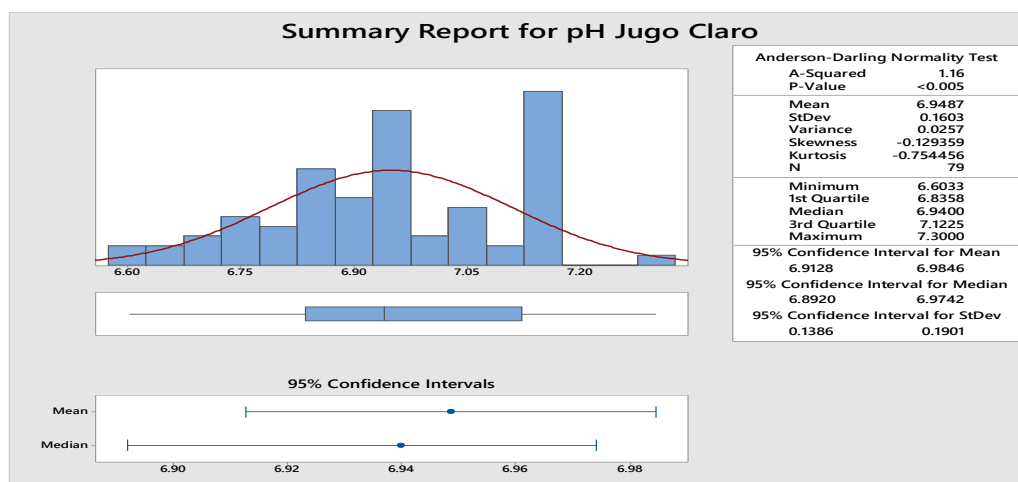


Fuente: Autor

Se calculó el pH de jugo claro, para verificar la pérdida que se dio por la variación del pH durante la zafra, el pH en el ingenio azucarero debería de mantenerse entre 6.90 y 7.02, con los datos obtenidos durante la zafra se calculó la estadística con una media de 6.94, una desviación estándar de 0.18 y una moda de 7.15, la siguiente grafica de la Ilustración 28 Pérdida de sacos por día demuestra que el pH del jugo se mantuvo entre un aproximado de 6.60 y 7.30, durante los 181 días de la zafra, lo cual tuvo variaciones durante el proceso.

Estas variaciones de pH provocaron pérdidas, se procede a mantener mayor control con el pH del jugo para obtener menor pérdida.

Ilustración 29. pH jugo claro



Fuente: Autor

El control de la temperatura busca además de mantener siempre sobrecalentado el jugo que entra al tanque de flash, evitar que el patrón de flujo interno del equipo se afecte por variaciones bruscas de temperatura, o lo que es lo mismo, mezclas permanentes de jugos fríos, cálidos y calientes.

X. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. RESUMEN DEL REBALSE DE LOS TANQUES EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE JUGO

Con los datos obtenidos de laboratorio y la estadística que se realizó, se determinó el tanque que tiene mayor rebalse,

Con estos datos se procederá a gestionar alarmas en el sistema de control el cual pueda alertar a los involucrados en el proceso de control de los tanques que tuvieron mayor pérdida de rebalse durante la zafra 2014-2015, así mismo se les informará a los operadores, con estos datos estadísticos se logró determinar los tanques con las pérdidas más significativas en las pérdidas indeterminadas en los tanques del proceso de tratamiento de jugo.

Tabla 26. Resumen de rebaleses de los tanques

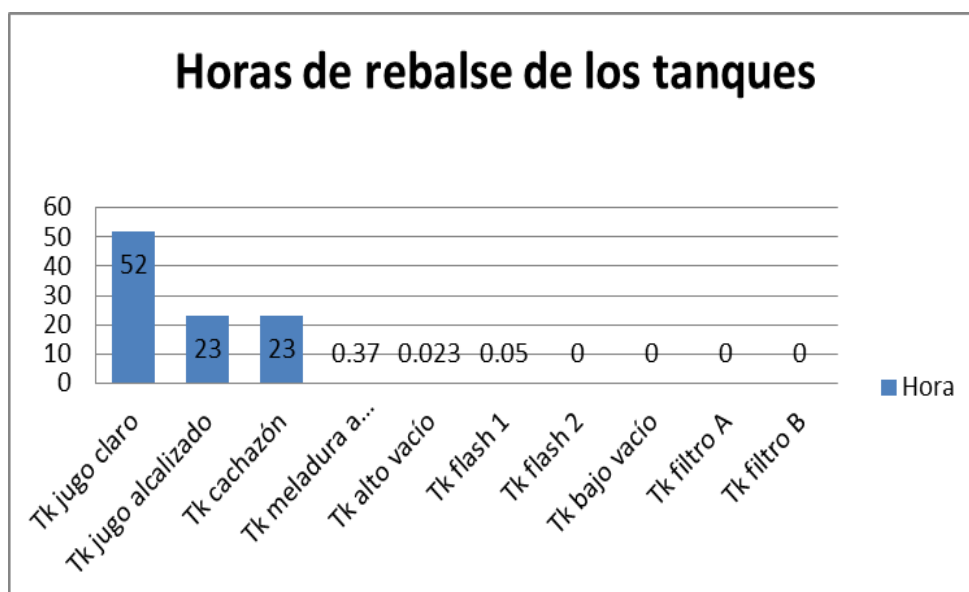
Resumen de tanques			
Tanques	Hora	Pérdida total	Costo por galón
Tk jugo alcalizado	23	\$ 499,140.71	\$ 109.14
Tk flash 1	0.05	\$ 667.03	\$ 0.24
Tk flash 2	0	\$ -	\$ -
Tk meladura a clarificar	0.37	\$ 4,389.95	\$ 7.94
Tk jugo claro	52	\$ 1,467,441.72	\$ 248.21
Tk cachazón	23	\$ 23,442.76	\$ 544.26
Tk alto vacío	0.023	\$ 45.31	\$ 0.08
Tk bajo vacío	0	\$ -	\$ -
Tk filtro A	0	\$ -	\$ -
Tk filtro B	0	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

Con los datos de la Tabla 26 Resumen de rebaleses de los tanques, se realizaran gráficas para determinar el tanque que tiene mayor pérdida por hora, pérdida total y el de mayor pérdida por costo.

Con la gráfica de la Ilustración 30 Horas de rebalse de los tanques, se determina que el tanque que tiene mayor pérdida en horas es el tanque de jugo claro, ya que tiene 52 horas de rebalse durante el periodo de zafra 2014-2015, el tanque de jugo alcalizado y el tanque de cachazón tienen 23 horas de rebalse, al que se debe de controlar las pérdidas en horas es al tanque de jugo claro, para disminuir el tiempo perdido.

Ilustración 30. Horas de rebalse de los tanques



Fuente: Autor

Con la gráfica de la Ilustración 31 Pérdida total de los tanques, se determinó el tanque que tiene mayor pérdida en rebalse, el tanque de jugo claro rebalso \$1, 467,441.72 de pérdida total del tanque, durante los 181 de zafra 2014-2015, el tanque de jugo alcalizado tiene una pérdida total en rebalse de \$499,140.71 y el tanque de cachazón de \$ 23,442.76, estos tres tanques son los que tuvieron mayor pérdida en rebalse.

Estos rebalses se dieron por la falta de comunicación de los operadores con los instrumentistas, con estos datos obtenidos se procederá a informarles a los operadores los tanques que tienen mayor pérdida y se pondrán alarmas para detectar los rebalses a tiempo, y comunicarles a los instrumentistas y así poder proseguir con el mantenimiento preventivo y cumplir con el plan de verificación de los instrumentos que están bajo control metrológico, y así mismo comunicarles a los mecánicos para verificar las fugas que se dan en las tuberías y tanques.

Ilustración 31. Pérdida total de los tanques

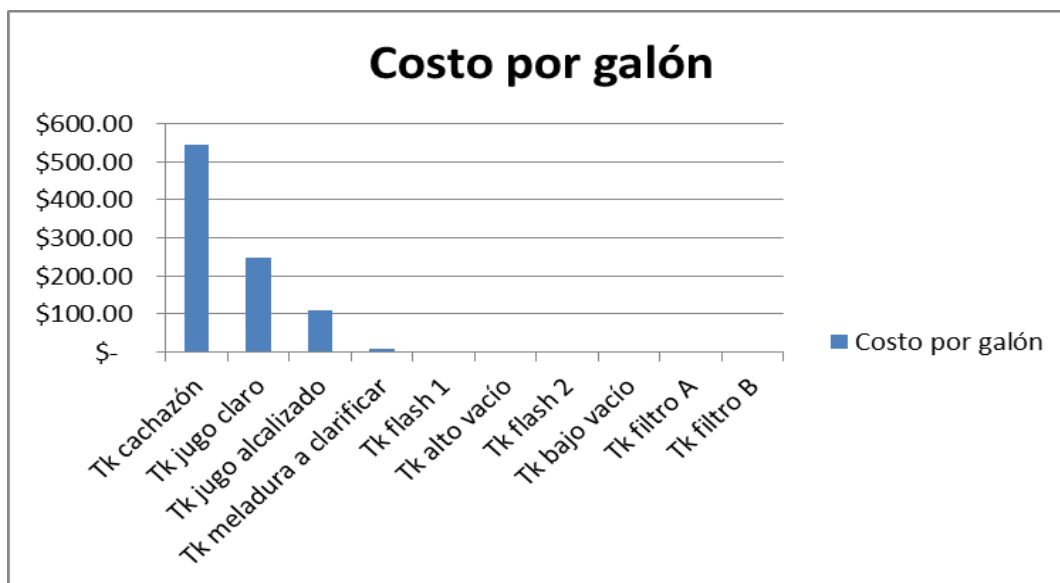


Fuente: Autor

Con la siguiente gráfica de la Ilustración 32 Costos por galón se determinó el tanque que tiene mayor pérdida en costos por galón, el tanque de cachazón es el que tiene mayor pérdida en costos de \$ 544.26 por galón, aunque las horas de pérdida fueron menor que los demás tanques, esto es porque el tanque de cachazón tiene mayor concentración de sacarosa pura que ya fue procesada. El tanque de jugo claro tiene una pérdida de costos por galón de \$248.21 y el tanque de jugo alcalizado una pérdida en costos de \$109.14, ya que la concentración de la sacarosa es menor.

Se procede a tener mayor control con el tanque de cachazón, porque en él se da mayor pérdida en los costos por dólares, para disminuir el rebalse de este tanque se informara a los operadores, para que tengan mayor visibilidad en el proceso de tratamiento de jugo para que cuando presente problemas de rebalse se proceda a resolver y detectar el problema y solucionarlo a menor tiempo.

Ilustración 32. Costo por galón



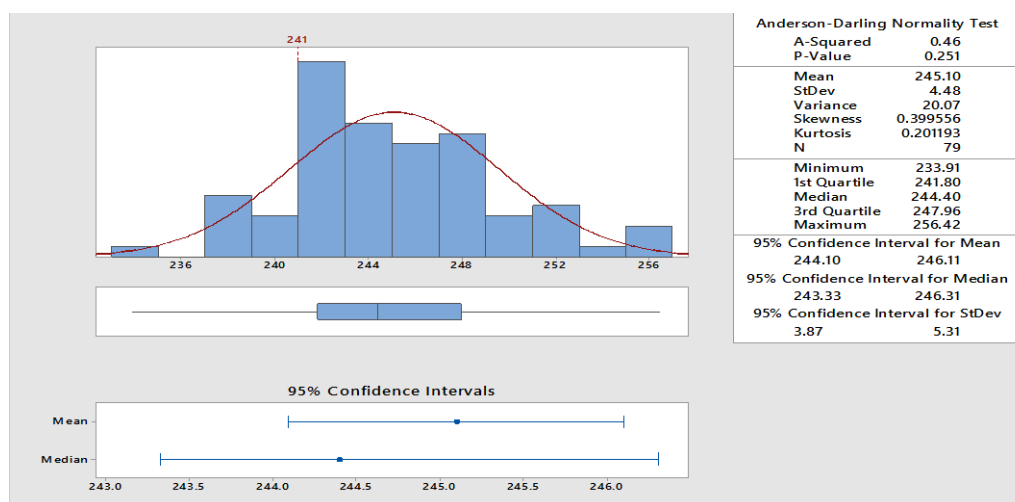
Fuente: Autor

B. COMPARACIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA Y PH REALES CON DATOS SIMULADOS

Con el método de Vukov se simuló la pérdida de la temperatura y del pH que se da en los efectos de tratamiento de jugo, se cuenta con cinco efectos donde afecta la temperatura, y un sensor de pH con la simulación se logró determinar la variable de mayor impacto en las pérdidas de la temperatura. Así mismo se determina la importancia de controlar la temperatura y el pH.

1. Temperatura efecto A. Con los datos obtenidos en el periodo de la zafra 2014-2015 se obtienen los datos estadísticos de la siguiente Ilustración 33 Temperatura efecto A, con estos datos reales se observa el comportamiento de la temperatura durante la zafra, se tiene una media de 245, una desviación de 4.75 y una moda de 241, valor en el que estuvo la temperatura durante la zafra.

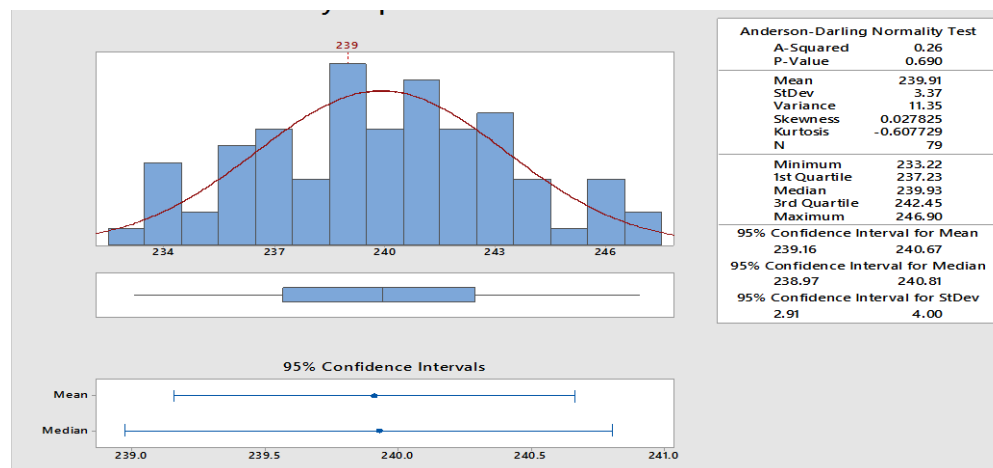
Ilustración 33. Temperatura efecto A



Fuente: Autor

Con estos datos de la temperatura se obtuvo el promedio de 245.10 y una desviación de 4.48, con estos datos se simuló para determinar un variable, donde se puede obtener menos pérdida, se simuló a un 75% y se le resto 5 al promedio del primer efecto A, se obtuvo la siguiente gráfica Ilustración 34 Temperatura simulada efecto A. Con la simulación se logró disminuir la temperatura a un 5.09 %del dato real, ya que se obtuvo una media de 239.91, una desviación estándar de 3.37. Tiene una moda 239 sería el grado mayor de la temperatura al que se elevaría con la simulación.

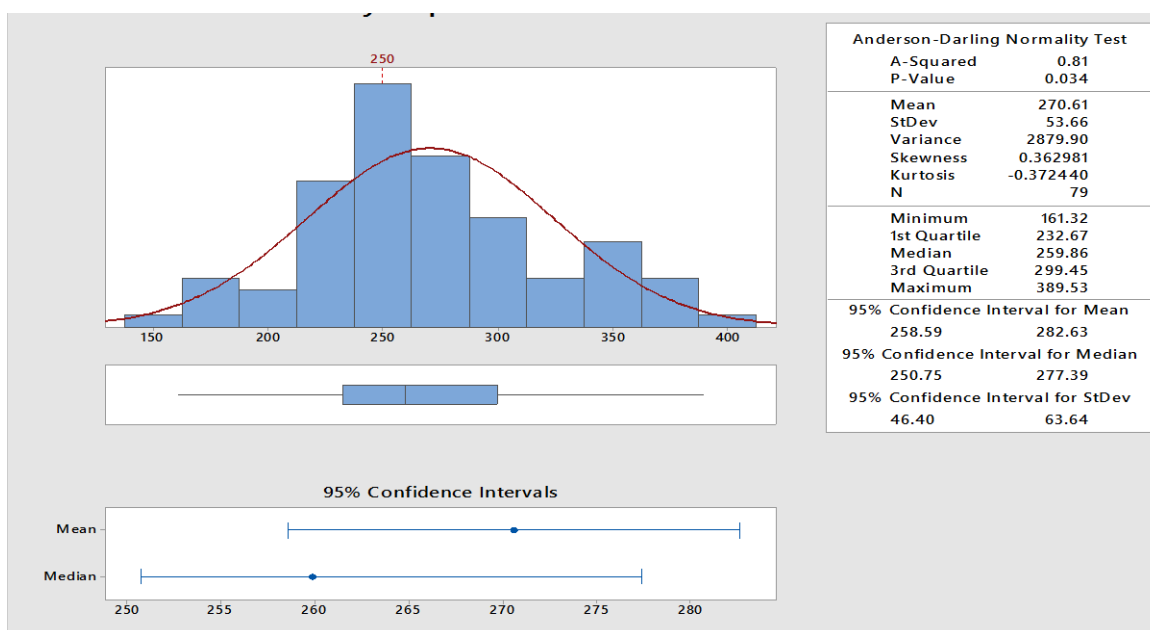
Ilustración 34. Temperatura simulada efecto A



Fuente: Autor

Con estos datos simulados se obtuvo menos pérdida de sacos por día, se tiene la siguiente Ilustración 35 Pérdida simulada efecto A, demuestra el comportamiento de la pérdida que se dio en la temperatura simulada, se tiene los siguientes datos estadísticos una media de 270.61 y una desviación de 53, con una moda de 250. Es decir que si se reduce el porcentaje de la temperatura del primer efecto se logra disminuir la pérdida de sacos por día. Ya que en los datos reales se obtuvo una pérdida de sacos de 322 sacos. Se nota la diferencia de 52 sacos que se disminuiría en pérdida.

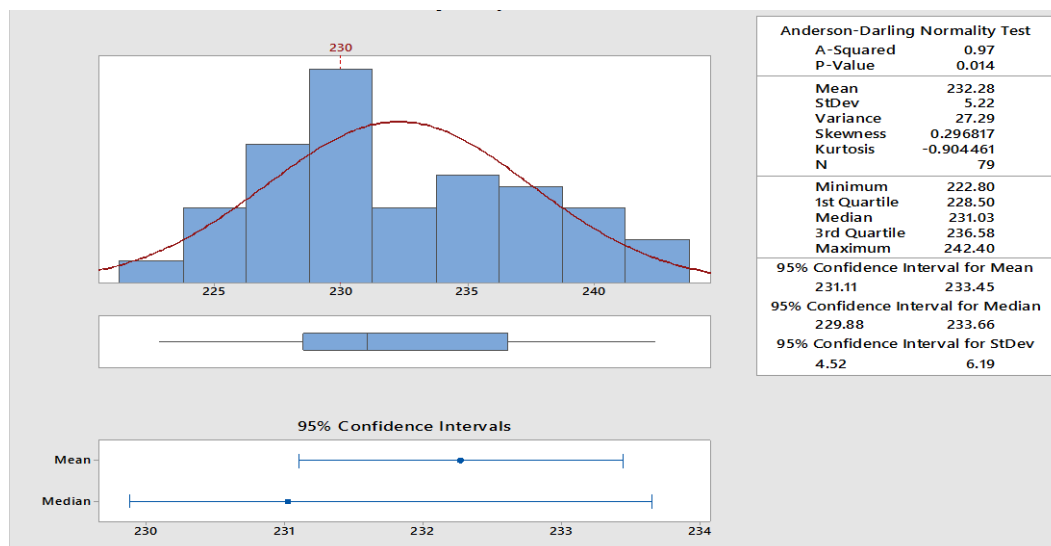
Ilustración 35. Pérdida simulada efecto A



Fuente: Autor

2. Temperatura efecto B. Con los datos reales del efecto B se tiene la siguiente Ilustración 36 Temperatura efecto B, en este efecto se tiene una media de 232.22 y una desviación de 5.22, con una moda de 230 fue el grado de temperatura más alto que tuvo, durante el proceso.

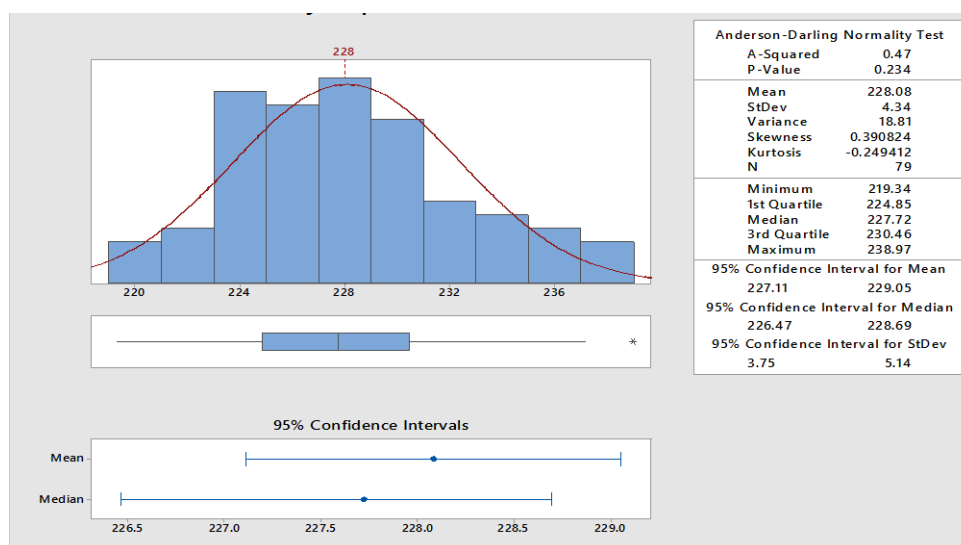
Ilustración 36. Temperatura efecto B



Fuente: Autor

Se tomaron los datos reales del efecto B, se tuvo un promedio de 232.28 y una desviación de 5.22, se multiplicó la desviación por el 75% y se restó cuatro al dato promedio, y se obtuvo la siguiente Ilustración 36 Temperatura efecto B, se observa que los datos estadísticos disminuyen, dependiendo el efecto y la temperatura que tuvo durante la zafra.

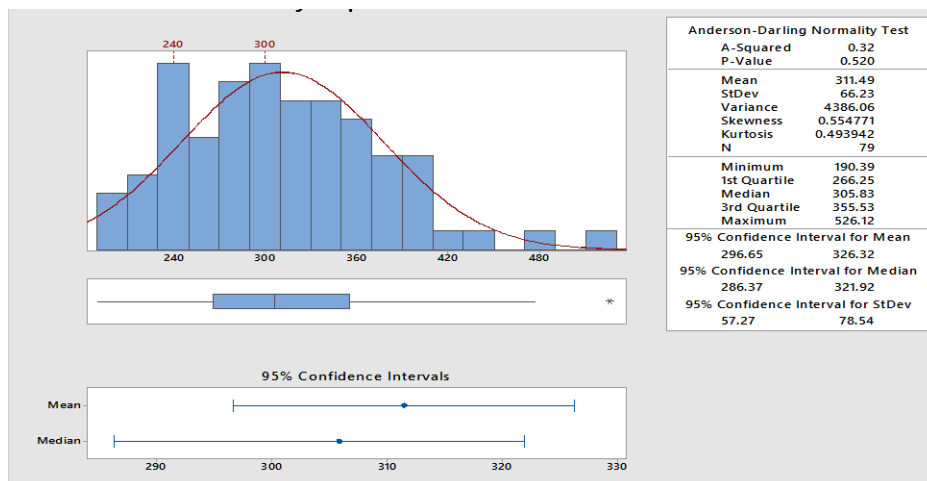
Ilustración 37. Temperatura simulada efecto B



Fuente: Autor

Con los datos estadísticos se tuvo una media de 228.08, se redujo un 4% de la temperatura real del efecto B que era de 232, se tuvo una desviación estándar de 4.34 y una moda de 228 grados de temperatura que se tuvo durante la zafra, se tomaron los datos para determinar la pérdida en sacos, la cual se obtuvo la siguiente Ilustración 37 Temperatura simulada efecto B.

Ilustración 38. Pérdida simulada efecto B

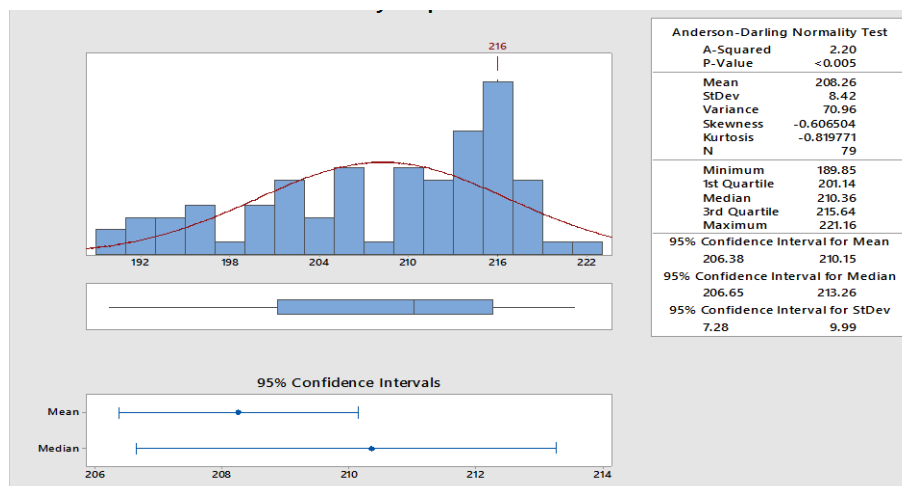


Fuente: Autor

Con los datos estadísticos de la simulación de la temperatura, se tiene una media de 311.49 se nota que la temperatura del efecto A es un 72% menor que la del efecto B, una desviación de 66.23 y una moda de 240-300, comparado con los datos reales de las pérdidas de sacos se logra reducir un 11.49 % de sacos.

3. Temperatura efecto C. Con los datos del efecto C se tiene la siguiente Ilustración 39 Temperatura efecto C, una media de 208.26, desviación estándar de 8.42 y una moda de 216 grado mayor de temperatura que se elevó en el efecto C durante la zafa.

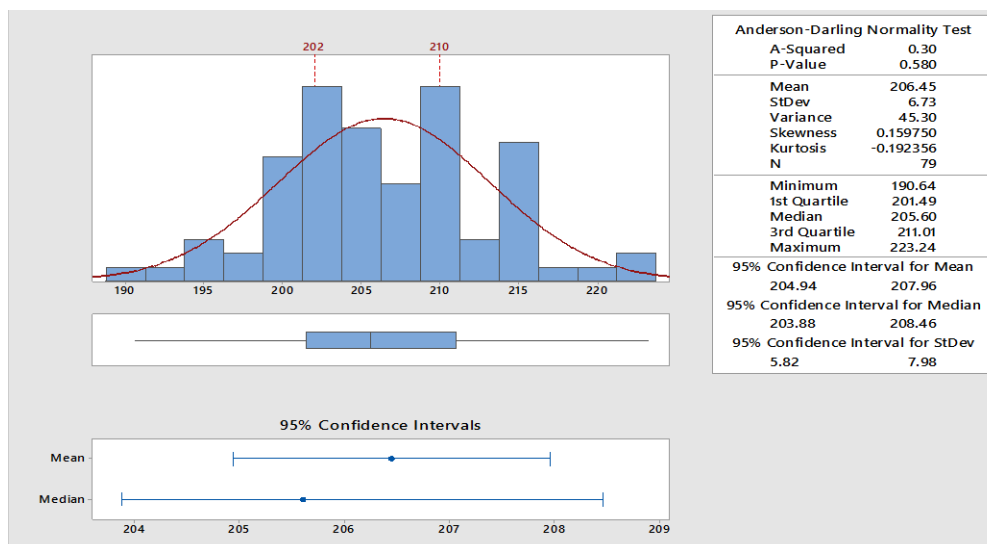
Ilustración 39. Temperatura efecto C



Fuente: Autor

Con los datos reales se simuló los siguientes datos estadísticos, la cual se tiene una moda de 202-210, la media de 206.45 y una desviación estándar de 6.73, con estos datos simulados de la Ilustración 40 Temperatura simulada efecto C, se nota que la temperatura simulada en este efecto fue menor de 1.55 % a la temperatura real. La media de la temperatura real fue de 208, se procede a calcular la pérdida para determinar la variación que se da entre la temperatura.

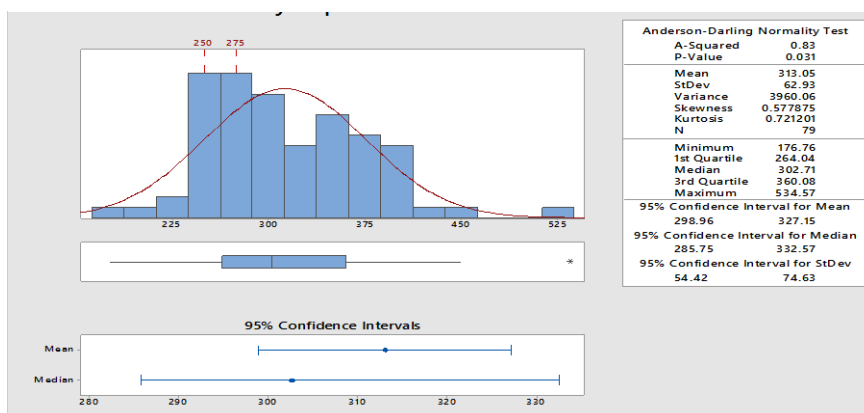
Ilustración 40. Temperatura simulada efecto C



Fuente: Autor

De la temperatura simulada del efecto C se obtiene los siguientes datos estadísticos para determinar la pérdida que se daría por sacos, teniendo una moda de 250-272, una media de 313.05 y una desviación de 62.98, estos datos fueron menores a la pérdida por saco del dato real de temperatura del efecto C, esta sería una temperatura ideal la que deberían de mantener para disminuir la pérdida, la siguiente Ilustración 41 Pérdida simulada efecto C, muestra que fueron de 313.05 sacos de pérdida, la cual se reduciría la pérdida en sacos a un 9% del dato real de pérdida y disminuiría el costo de recuperación de las pérdidas que se dan por inversión.

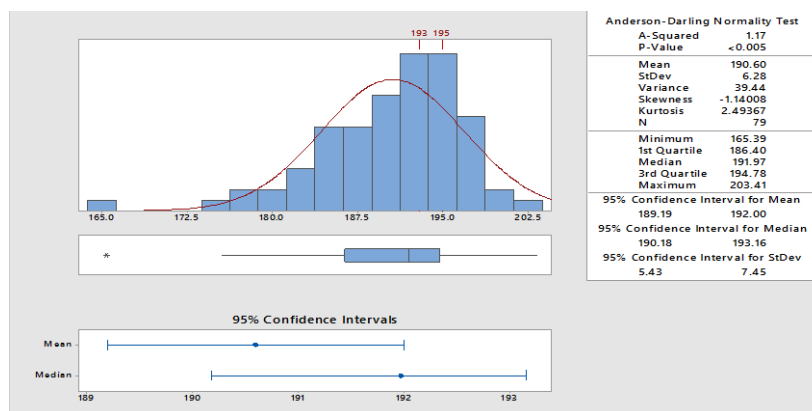
Ilustración 41. Pérdida simulada efecto C



Fuente: Autor

4. Temperatura efecto D. Se tomaron los datos reales que demuestra la Ilustración 42 Temperatura efecto D, en los datos reales se tuvo una media de 190.60, una desviación estándar de 6.28 y dos modas de 193-195, la temperatura va disminuyendo en cada efecto. Con estos se procederá a simular datos para encontrar una variable aceptable para el proceso de tratamiento de jugo.

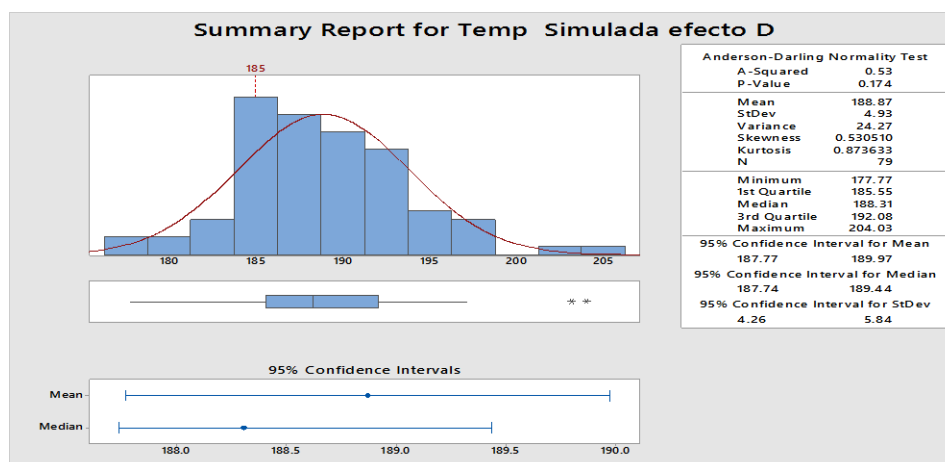
Ilustración 42. Temperatura efecto D



Fuente: Autor

Se obtuvo la siguiente Ilustración 43 Temperatura simulada efecto D, se tuvo una media menor al dato real de 188.87, desviación estándar de 4.93 y una moda de 185, estos datos se obtuvieron multiplicando la desviación estándar del dato real por un 75% y se le restó dos al promedio del dato real. Con estos cálculos se van disminuyendo las pérdidas.

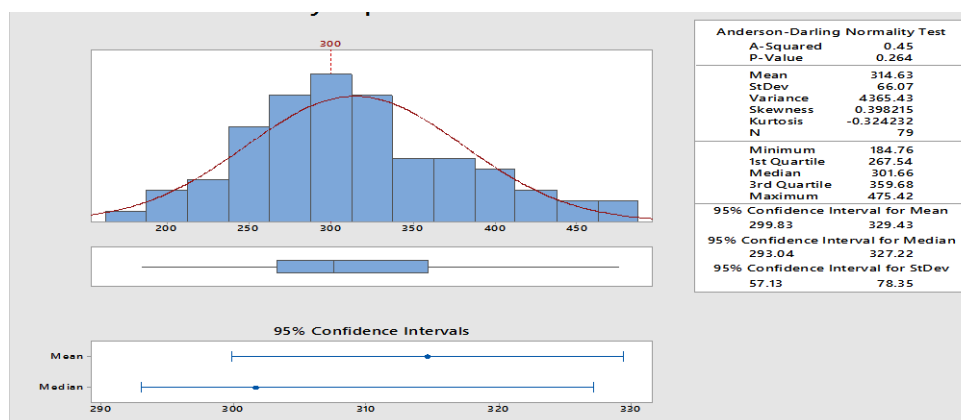
Ilustración 43. Temperatura simulada efecto D



Fuente: Autor

En la pérdida simulada se tuvo una moda de 200, una media de 314.63 y una desviación estándar de 66.07, es decir que la temperatura disminuye y los datos de pérdidas en sacos son cada vez menores, estas variables que se tomaron son para determinar la reducción de la pérdida en sacos, se determina que cada efecto es diferente y por lo tanto necesita una temperatura diferente para cumplir con el proceso.

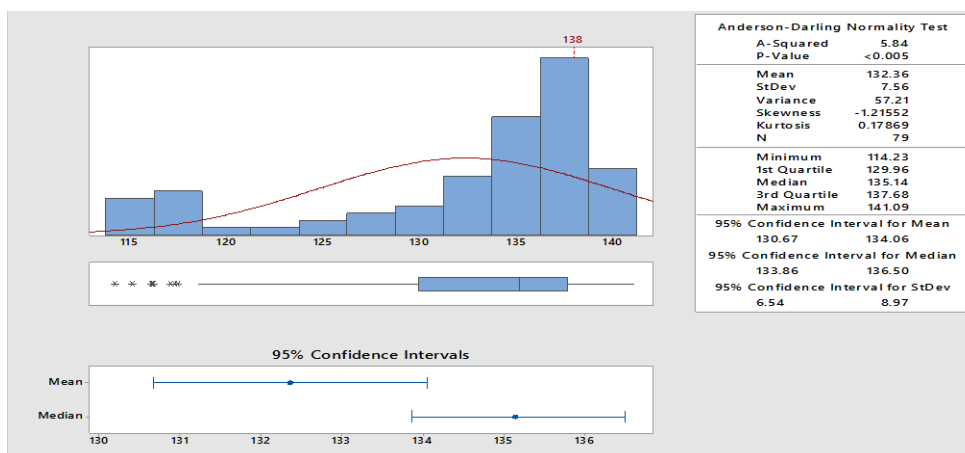
Ilustración 44. Pérdida simulada efecto D



Fuente: Autor

5. Temperatura efecto E. Los datos de la temperatura del efecto E son menores que los efectos anteriores, en la siguiente Ilustración 45 Temperatura efecto E, muestra el comportamiento de la temperatura con una moda de 138, una media de 132 y una desviación de 7.56, los datos no fueron tan elevados comparados a los datos anteriores esto es por la variación de la temperatura como es el último efecto no se tiene tanta pérdida.

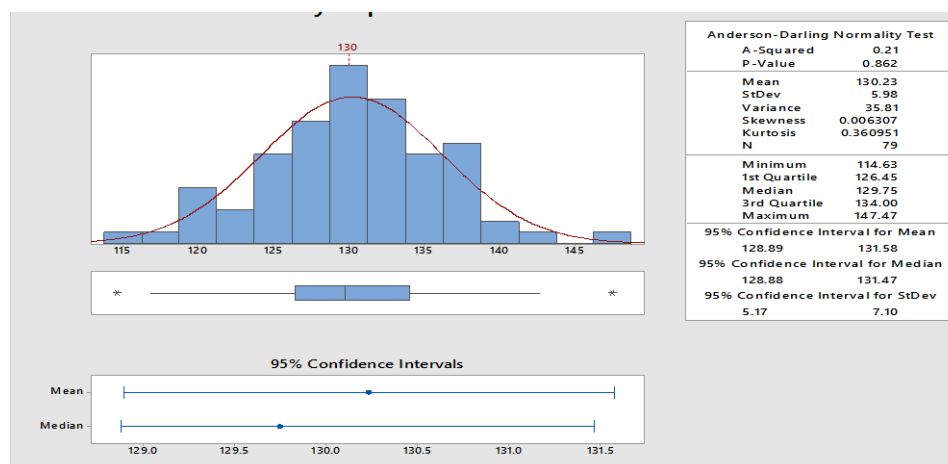
Ilustración 45. Temperatura efecto E



Fuente: Autor

Se simularon los datos del efecto E y se tuvo la siguiente gráfica, se multiplicó con un 75% con la desviación de los datos reales, se restó 1 del promedio de los datos reales con esto se obtuvo la siguiente Ilustración 46 Temperatura simulada efecto E, con una desviación de 5.98 una media de 130.23 y una moda de 130, la variación entre los datos reales y la simulación demuestra que sería eficiente disminuir la temperatura.

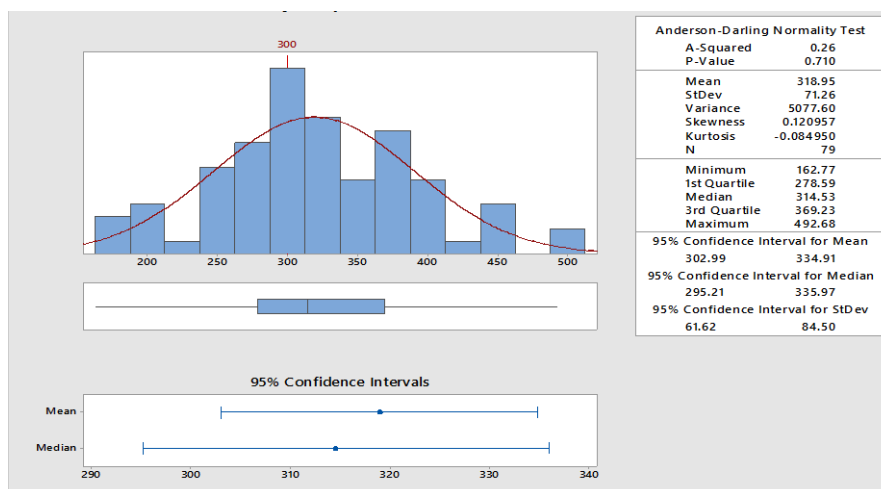
Ilustración 46. Temperatura simulada efecto E



Fuente: Autor

En la pérdida se tuvo una media de 318.95 fue un dato mucho menor al dato real, se determina que si se disminuye la temperatura un porcentaje acorde a lo que está estipulado se lograra disminuir la pérdida en cada efecto, una moda de 300,50 % menos al dato real de las pérdidas por saco.

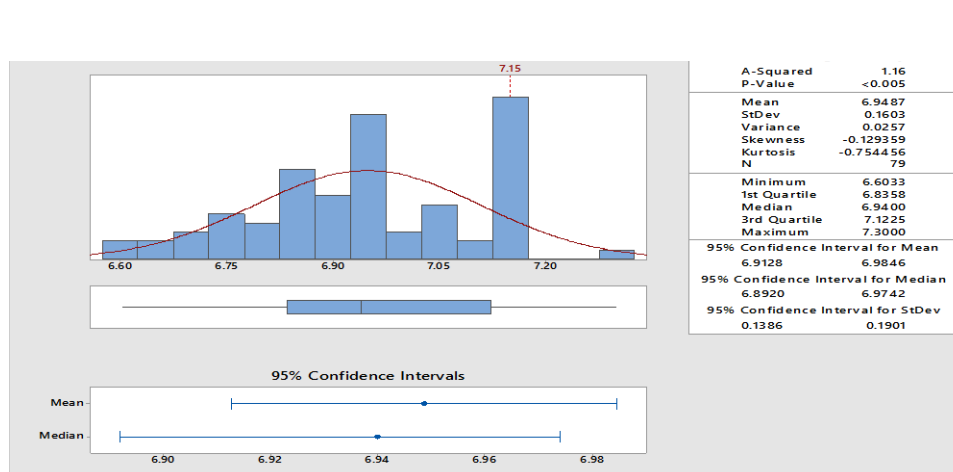
Ilustración 47. Pérdida simulada efecto E



Fuente: Autor

6. Valor de pH en jugo de caña. El pH del proceso de tratamiento de jugo, tuvo variaciones en los 181 días de zafra, los datos obtenidos fueron cálculos para obtener datos estadísticos y determinar el problema que se tuvo, en la siguiente grafica se demuestra las variaciones que se da en el proceso.

Ilustración 48. pH



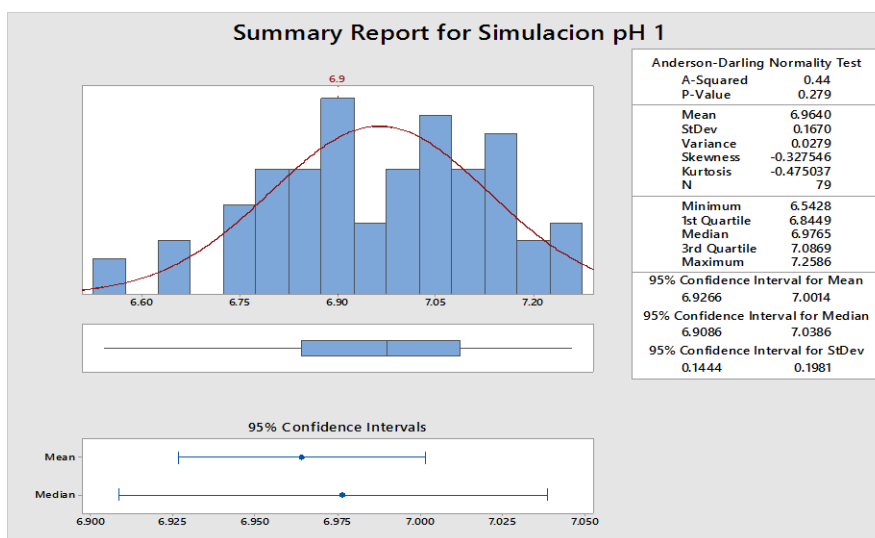
Fuente: Autor

En la Ilustración 48 pH 1, demuestra que tiene una media de 6.94, valor aceptado en la metrología, una moda de 7.15, donde se nota que no se estabilizaba se mantenía variando y esto afecta la el color de la sacarosa, una desviación estándar de 0.16, con estos datos se procede a una simulación.

En la Ilustración 49 Simulación pH 1, se simuló a un valor de 6.98, que sería un 95% del dato aceptado, se determina que si se controla el acidez del pH manteniendo un mínimo de variación posible (+/-0,1) se lograra controlar la inversión o pérdida de la sacarosa y mantener el jugo en el nivel de sedimentación adecuado y evitar excesos de cal que no reaccionan y que además de afectar el color del jugo permanecerán dentro del proceso como incrustación cálcica en los evaporadores.

Se tuvo una media de 6.96 y una moda de 6.9, estos datos son aceptados ya que en los datos estadísticos se ve poca variación entre la media y la moda.

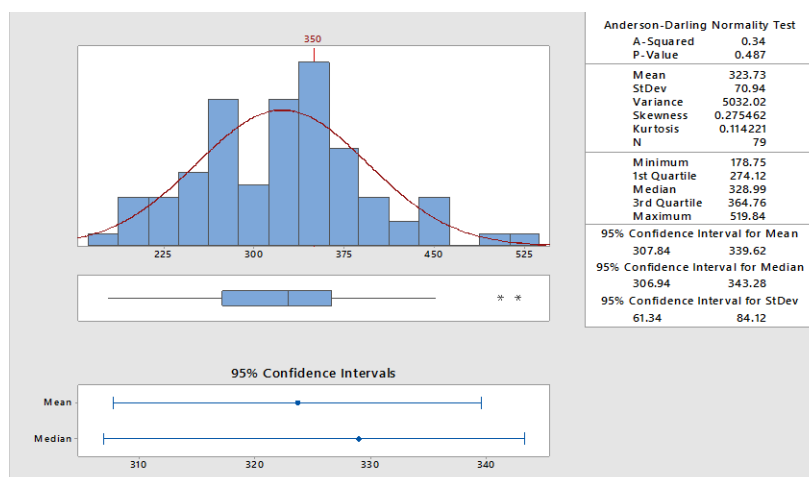
Ilustración 49. Simulación pH



Fuente: Autor

Se tiene una moda de 350, una media de 323, los datos estuvieron variando no se tuvo mayor control con la neutralidad del pH, con los datos simulados se necesita tener mayor precisión para cumplir con los datos estipulados de la neutralidad del pH.

Ilustración 50. Pérdida pH



Fuente: Autor

Con estos datos simulados se determina que al reducir la temperatura se obtienen mejores resultados, ya que se tendría una estabilidad en los cinco efectos del proceso de tratamiento de jugo, con los resultados obtenidos de la simulación se calculó que en la temperatura se logra obtener menos pérdida de la sacarosa por saco, ya que se tendría prioridad a los transmisores de temperatura y se les informaría a los operadores para que ellos estén atentos a las alarmas donde se dan las pérdidas de sacarosa por inversión. El efecto de la temperatura se reduce cuando el valor del pH es menor, a temperaturas elevadas el pH es menor, o la concentración del ion del hidrogeno es mayor de lo que sugieren las mediciones a temperatura ambiente.

XI. CONCLUSIONES

1. Las variables de mayor impacto en las pérdidas indeterminadas de tratamiento de jugo son las siguientes en orden de importancia:
 - a. Pérdidas físicas por rebalses que representó 6,650.43 Ton de azúcar para la zafra 2014-2015.
 - b. Pérdidas térmicas por destrucción de sacarosa que representó 1,019 Ton de azúcar para la zafra 2014-2015.
 - c. Pérdidas químicas que representó 350 Ton de azúcar para la zafra 2014-2015.

2. Con estos datos estadísticos se determinó las acciones a tomar, el operador deberá tener mayor control en el nivel del tanque para evitar rebalses o derrames del mismo, con esta evaluación se lograra la reducción de pérdidas de un 0.55% a un 0.45%.
 - a. se concluye que el tanque que tiene mayor pérdida en costos monetarios es el tanque de jugo claro. Pero el tanque que tiene mayor valor cada galón derramado es el tanque de cachaza. Por lo que el operador deberá tener un buen control del nivel de ambos tanques y se deberá de crear alarmas fáciles de visualizar para cada uno de los niveles de los tanques.

3. Con la simulación de Vukov se conocieron los datos reales de las pérdidas por temperatura durante el periodo de zafra 2014 - 2015, y se evaluó el comportamiento de la temperatura en los cinco efectos, con lo que se concluyó que las pérdidas en el proceso de evaporación de jugo ascienden a 0.80 kg/t.

Con la ecuación de pérdidas de Vukov y la simulación de las diferentes temperaturas en minitab se concluye que la pérdida de la temperatura se puede reducir mediante un mejor control sobre la temperatura para los diferentes efectos, por lo que se debe seguir con el programa de mantenimiento preventivo de los instrumentos que están bajo control metrológico.

- a. En la temperatura del primer efecto se puede llegar a obtener, según la ecuación de Vukov, una disminución de pérdida por saco del 52 %,
- b. El pH no afecta tanto en las pérdidas ya que es una variable que se está controlando adecuadamente, sin embargo es importante tener el debido control

c. para tener menores horas de pérdidas en la confiabilidad del trabajo que se realiza en cada mantenimiento.

4. Las pérdidas que se dieron en las diferentes áreas de tratamiento de jugo fueron por los rebalses que se dieron en los tanques, se calcularon las toneladas de jugo que entra en cada tanque y se determinó la pérdida, para disminuir se necesita que se tenga mayor comunicación para informar el comportamiento de los tanques y de las temperaturas de los cinco efectos.

XII. RECOMENDACIONES

Para disminuir estos problemas se necesita una mejor comunicación de los problemas actuales y un mejor control en los programas de calibración de las mediciones de variables críticas, esto ayudara a reducir y encontrar causas raíces.

Comunicar de forma visual a los operadores las causas de sus fallos para que tengan presente en sus labores y tomen acciones preventivas y correctivas.

Incorporar al sistema de control cálculo de variables por pérdidas por pH, temperatura e inversión en el área de evaporación y clarificación de jugo, para que el operador pueda tomar acción al respecto.

- Reparación y renovación de equipos de medición principales
- Programa de calibraciones de mediciones críticas.

XIII. CONTACTO

Asesor:

Julio Fernando Marcucci Fagiani

Cel: +50257521022

Correo: julio.marcucci@gmail.com

Estudiante:

Juana Elizabeth Hernández Sicá

Cel: +50250856287

Correo: elizahernand@hotmail.com

XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, R. (2014). *Proceso de Fabricación de azúcar*. IANCEM VOL I.
- Benitez, E. E. (2006). *Consultor experto en la industria azucarera*. Guatemala: universidad san carlos de guatemala.
- CHEN, J. (1991). *Manual de azúcar de caña, para fabricantes de azúcar de caña y químicos especialistas*. Espania: Noriega.
- Cristian Beltrán. (s.f.). *instrumento de medición*. Obtenido de <http://salesianoconcepcion.co.cl/zip/electronica>
- Guzmán, R. (s.f.). *medición de flujo*. Obtenido de <http://www.eni.es/wp-content/uploads/items/6-Calibraci%C3%B3n%20equipos%20de%20medida>
- Hugot, E. (1984). *Manual para Ingenieros Azucareros*. Mexico: Editorial Continental.
- Ingenio Azucarero. (s.f.). *Pérdidas por inversión termica*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec>
- Ortiz, F. (Diciembre de 2010). *pérdida de sacarosa en la elaboración de meladura en un ingenio azucarero*. Recuperado el marzo de 2015, de <http://www.academiajournals/downloads/ortiztobon.pdf>.
- Pieter, H. (2006). *PRINCIPIOS DE TECNOLOGIA AZUCARERA. Vol I, II, III*.
- Pieter., H. (1984). *Principios de la tecnologia azucarera*.
- Ramos, A. A. (2009). *Proceso de elaboración del azúcar y etanol de la caña*. Colombia: segunda edición.
- Rein, P. (2012). *Ingenieria de la Caña de azúcar.*. Alemania.
- Robles, E. (s.f.). *Industria Azucarera en guatemala*. Obtenido de <http://www.deguate.com/artman/publish/producción-guatemala/El-azúcar-en-guatemala-su-producción-y-exportación.shtml#.VKcsMKJfzcs>
- Union, I. I. (2011). Optimización de evaporadores en la línea de crudo. *Proyectos de investigación aplicada Guatemala* , 145.
- Ventura, B. (1989). *Manual de laboratorio para la industria azucarera*. Colombia: Tecnicania.

XV. ANEXOS



Nuevo sistema de limpieza para los sensores de pH: consiste en realizar un lavado en el sensor de forma automática, está diseñado para mejorar la precisión de la medición del sensor en el jugo alcalizado.



Equipo de calibración de los transmisores de temperatura: son utilizados para verificar los transmisores de temperatura, y tener un control, para disminuir las pérdidas por inversión térmica.



Equipo de calibración de los transmisores de presión: se utiliza para verificar los transmisores de presión, para tener mayor disponibilidad del equipo y aumentar la producción del proceso.

XVI. GLOSARIO

AZÚCAR: Es sacarosa en su forma cristalina obtenida luego del proceso de fabricación. Se presenta en forma de grano muy dulce cuyo color varía desde el café claro hasta el blanco de acuerdo al tipo de azúcar.

AZÚCAR INVERTIDO: Es la mezcla de azúcares reductores (D-glucosa y D-fructosa) obtenida por la hidrólisis de la sacarosa en medio ácido o por la acción de la enzima invertasa, la cual va acompañada de un cambio en la actividad óptica de dextrógira a levógira.

AZÚCARES REDUCTORES: Monosacáridos (Hexosas) en las que se convierte la sacarosa al hidrolizarse en medio ácido, por calor o por la presencia de enzimas como la invertasa. Estos azúcares tienen la propiedad de reducir al Cu^{3+} a Cu^{2+} y no pueden hidrolizarse en compuestos más simples.

BACTERICIDA O BIOCIDA: Productos biostáticos que se dosifican en el jugo que va hacia el proceso de clarificación para ayudar al control de la asepsia. Entre ellos se encuentran los carbamatos, aminas cuaternarias, dióxido de cloro, etc.

BAGAZO: Residuo fibroso que se obtiene del proceso de molienda de caña, está compuesto principalmente por 50 % de fibra y 50 % de humedad. En general el término bagazo se refiere al residuo sólido que sale del último molino del tándem a menos que se especifique otra cosa.

BRIX: Es el porcentaje en peso de sólidos disueltos en una solución pura de sacarosa. El brix representa los sólidos aparentes que contiene una solución de sacarosa.

CACHAZA: Lodo producido por la precipitación de impurezas en el proceso de clarificación.

CAÑA: Es la materia prima que ingresa al ingenio, normalmente en la definición del término se incluye la caña limpia más las materias extrañas y el agua que la acompañan.

CARAMELIZACIÓN: Descomposición de azúcar o azúcares a temperaturas elevadas, con una deshidratación y polimerización de las moléculas deshidratadas y la formación de moléculas complejas.

FALSO GRANO: Cristal de azúcar que no posee el tamaño requerido para ser retenido por las mallas de las centrifugas. Se produce espontáneamente por la operación del tacho en la zona lábil de sobresaturación.

FIBRA: Es el material leñoso insoluble en agua presente en la caña y el bagazo. Se encuentra compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina.

FLOCULANTE: Son polímeros sintéticos basados en la repetición de unidades de ácido acrílico y sus derivados. Se utiliza en el proceso de clarificación del jugo como ayuda para eliminar material suspendido y sustancias extrañas que afectan el color del azúcar producido.

HIDRÓLISIS: Es la ruptura del enlace químico de una molécula en medio acuoso por la acción de un ácido. En la industria azucarera se refiere comúnmente a la descomposición de la molécula de sacarosa por acción del bajo pH del medio acuoso.

IMBIBICIÓN: Proceso en el que se aplica agua caliente al bagazo que ingresa al último molino del tándem, a fin de incrementar la extracción de sacarosa por lixiviación.

INGENIO: Lugar donde se lleva a cabo la transformación de la sacarosa en cristales de azúcar.

INVERSIÓN: Es el cambio en la rotación óptica producto de la hidrólisis ácida o enzimática de una solución de sacarosa y en el que la rotación dextrógira de la sacarosa se invierte a la rotación levógira de la mezcla resultante (D-glucosa y D-fructosa).

JARABES: Son soluciones concentradas de azúcar, con presencia de azúcar invertido que impide su cristalización. La meladura, la melaza y el sirope son tres tipos diferentes de jarabes.

JUGO ALCALIZADO: Jugo mezclado que se combina generalmente con el jugo filtrado y al cual se le añade cal o sacarato de calcio para promover la defecación y precipitación de los sólidos suspendidos.

JUGO CLARIFICADO: Jugo limpio caliente procedente del proceso de clarificación y que será procesado en los evaporadores.

JUGO DILUIDO: Es el jugo diluido que al unirse al jugo primario forma el jugo mezclado.

JUGO FILTRADO: Jugo extraído de la cachaza por los filtros rotativos al vacío, constituido por el agua de lavado y el jugo extraído a la torta de cachaza. Este jugo es generalmente retornado al proceso de clarificación.

JUGO MEZCLADO O MIXTO: Es la mezcla del jugo primario y diluido que se envía a la fábrica para producir el azúcar.

JUGO PRIMARIO: Es el jugo de caña extraído de la masa cañera del primer molino. En general, es todo el jugo extraído sin diluir. En algunos ingenios donde existe desmenuzadora es el jugo combinado de la desmenuzadora y del primer molino.

JUGO RESIDUAL: Es el jugo que queda retenido en el bagazo del último molino del tándem.

MATERIA EXTRAÑA: Todo material que acompaña a la caña que ingresa al ingenio junto con la caña limpia: cogollo, hojas secas y verdes, raíces, tierra, etc. Se estima que como norma las materias extrañas deben tener una composición del 3 al 5 % en peso de la caña.

MELADURA: Es el producto resultante de la concentración del jugo clarificado por evaporación del exceso de agua en los evaporadores.

POL: Es la lectura de la concentración de sacarosa aparente determinada por polarización o rotación óptica de la luz que atraviesa una solución azucarada. En una solución normal de sacarosa, la pol es igual al porcentaje en peso de sacarosa en la solución.

PUREZA: La pureza aparente es la relación porcentual de pol y brix de una solución de sacarosa.

SACAROSA: Disacárido compuesto por una unidad de D-glucosa y otra unidad de D-fructosa. La sacarosa usualmente se encuentra contenida en la caña de azúcar o en la remolacha azucarera.

SULFITACIÓN: Tratamiento químico en el que se aplica dióxido de azufre al jugo crudo de caña para producir azúcar blanca.

TORTA DE CACHAZA: Residuo final que resulta de la filtración de las cachazas, que tiene valor como abono y enmienda para los suelos.

ZAFRA: Período de tiempo que dura la molienda de caña de azúcar y por ende la fabricación de azúcar de caña.