



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SECADO DE NEPE DE LA CERVECERÍA POLAR C.A. PLANTA SAN JOAQUÍN



Tutor Académico:
Prof. María del Carmen Rodríguez
Tutor Industrial:
Mtro. Cervecerero Gabriel Rial

Autor:
ARTILES R, Dalberjosé

Valencia, 18 de Abril de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SECADO DE NEPE DE LA CERVECERÍA POLAR C.A PLANTA SAN JOAQUÍN

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

Tutora:

Prof. María del Carmen Rodriguez

Valencia; Abril de 2007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: *“MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SECADO DE NEPE DE LA CERVECERÍA POLAR C.A. PLANTA SAN JOAQUÍN”*, realizado por el bachiller Dalberjosé Artiles Rojas, C.I. 17.904.938, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. María del Carmen Rodríguez
Presidente

Jurado
Prof. Rafael Hernández Andara

Jurado
Prof. Carlos Hernández

VALENCIA, ABRIL DE 2008

DEDICATORIA

Ante todo le dedico este logro a Dios por darme la vida, salud y las herramientas para trazar mi evolución.....

A mi mamá Damaris Rojas le dedico mucho más que este logro, le dedico todo y cada meta exitosa que me trace, tu me has dedicado todos tus esfuerzos y también quiero retribuirtelos.....

AGRADECIMIENTOS

✍ Le agradezco a Dios cada día por darme salud, bienestar y todas las herramientas para llevar a cabo mis propósitos.

✍ A mi madre por ser mi apoyo incondicional en todo, por estar abierta a ayudarme a desarrollarme y crecer en mi ámbito profesional, gracias madre tú eres mi principal clave del éxito.

✍ A mi padre Alberto y mi hermana Rossemy por apoyarme y estar conmigo en mi crecimiento personal.

✍ Los amigos se han caracterizado por estar en todo momento apoyándote en todo, por eso Cristina (Tination) gracias por ser como eres, gracias por toda la ayuda que me has brindado incondicionalmente, en todo el desenvolvimiento estuviste presente dándome ánimos cuando más los necesitaba, gracias Tina.

✍ Henry y Gusmary ustedes estuvieron conmigo en la mayor parte de la carrera, pasando y superando todos los momentos difíciles y fáciles que se nos presentaban pero siempre nos apoyamos, gracias muchachos.

✍ Realizar un trabajo de investigación tiene muchos momentos de estrés y tediosos, que mejor que contar con amigos que siempre estén a tu lado para apoyarte y hacerte pasar ratos amenos para realizar el equilibrio, por eso gracias Manuel, Joana, Rebeca y Marcel por estar conmigo en esta experiencia y brindarme su apoyo.

✍ A la profesora Maria del Carmen Rodríguez, le agradezco por apoyarme en mi crecimiento como profesional brindándome las herramientas y conocimientos necesarios para desarrollar este trabajo y siempre estar open mind (mente abierta) frente cualquier situación que se nos presentara.

✍ A Gabriel Rial, gracias por brindarme el apoyo incondicional en la empresa, todo este trabajo estuvo basado en el gran trabajo en equipo que se realizo bajo tu dirección, de esta experiencia me llevo las mejores referencias tanto personales como laborales gracias.

✍ A Empresas Polar C.A planta San Joaquín gracias por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de desarrollar la investigación en sus instalaciones, en esta casa aprendí y complementé muchos conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera.

✍ Gracias a todos que de una u otra forma me han ayudado y me han apoyado en todo este proceso.....

AGRADECIMIENTOS

✚ Le agradezco a Dios cada día por darme salud, bienestar y todas las herramientas para llevar a cabo mis propósitos.

✚ A mi madre por ser mi apoyo incondicional en todo, por estar abierta a ayudarme a desarrollarme y crecer en mi ámbito profesional, gracias madre tu eres mi principal clave del éxito.

✚ A mi padre Alberto y mi hermana Rossemy por apoyarme y estar conmigo en mi crecimiento personal.

✚ A la profesora Maria del Carmen Rodríguez, le agradezco por apoyarme en mi crecimiento como profesional brindándome las herramientas y conocimientos necesarios para desarrollar este trabajo y siempre estar open mind (mente abierta) frente cualquier situación que se nos presentara.

✚ Al Mtro. Cervecerero Gabriel Rial, gracias por brindarme el apoyo incondicional en la empresa, todo este trabajo estuvo basado en el gran trabajo en equipo que se realizo bajo tu dirección, de esta experiencia me llevo las mejores referencias tanto personales como laborales gracias.

✚ Al Ing. Carlos De Lima, gracias por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto en una empresa de excelencia, profesionalismo y altos valores como lo es empresas Polar C.A, permitiéndome de esta forma crecer como profesional.

✚ Al Ing. Guillermo González, por ser un tremendo compañero de trabajo y apoyarme en la realización de este proyecto.

✚ Al Laboratorio de calidad central, por brindarme el apoyo necesario para realizar la experimentación del proyecto y siempre tener la disponibilidad de ayuda en todo momento. Gracias.

✚ A Marianela C, Orlando P, Dennise, José Gregorio I, Daniela, Carolina, Leomar, Alberto, Wilmer, Nancy, Wilfredo, William y Maria Gracia, les agradezco por toda la ayuda y apoyo que me dieron en toda esta experiencia.

✚ A Empresas Polar C.A planta San Joaquín gracias por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de desarrollar la investigación en sus instalaciones, en esta casa aprendí y complementé muchos conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera.

✚ Gracias a todos que de una u otra forma me han ayudado y me han apoyado en todo este proceso.....

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito mejorar el proceso de secado del nepe de la Cervecería Polar C.A planta San Joaquín de forma de encontrar un punto de operación que permita producir el producto con un parámetro de humedad que satisfaga las especificaciones de calidad de la empresa, el trabajo se realizó mediante un diseño del tipo experimental y con un alcance evaluativo.

Para controlar el proceso de secado se manipularon variables de las secadoras que lo conforman, tales como: la velocidad de alimentación de material húmedo, el caudal de levadura y la temperatura de operación del sistema, las cuales influyen en la humedad del producto siendo éste el parámetro significativo para evaluar su calidad.

El nepe seco se obtiene mediante el secado por medio de un horno rotatorio del tipo secador indirecto de tubos de vapor de una mezcla de afrecho húmedo y levadura suministrada al sistema como materia prima, utilizando como agente térmico vapor saturado el cual disminuye el contenido de agua del material, retirada en forma de vapor por un sistema de lavado de gases encargado de la purificación de éste fluido.

Para llevar a cabo la investigación se utilizó como herramienta de mejoras un diseño de experimento de tipo factorial 2^3 , el cual permitió recolectar la data experimental de acuerdo a una combinación de las variables más influyentes en la humedad del producto, de manera de encontrar mediante un análisis estadístico un punto óptimo de operación de cada secadora utilizando una superficie de respuesta suministrada por el software STATGRAPHICS Plus versión 5.1.

Entre los logros más relevantes de esta investigación se tienen el hallazgo de una nueva forma de operar el proceso que garantiza la obtención de un producto con humedad de $(6,5 \pm 0,1) \%$, además de obtener un incremento en la producción de nepe seco en las tres secadora de $(48,56 \pm 0,01) \%$, $(67,67 \pm 0,01) \%$ y $(50,57 \pm 0,01) \%$ respectivamente y mejorar el consumo de la levadura remanente del proceso cervecero.

Una vez realizada la investigación se verificaron las mejoras en la calidad del nepe producido en el proceso de secado y la rentabilidad de instalar las mejoras.

Para instalar las condiciones de operación en el proceso, se recomienda rediseñar el programa de automatización de forma tal que el proceso opere en un escenario de alta eficiencia utilizando como puntos de operación los propuestos para cada secadora, e Invertir en un medidor de humedad que trabaje de forma diferente al instalado en el proceso, como por ejemplo uno con principio infrarrojo, de manera que controle el proceso en la descarga de la secadora y de acuerdo a este parámetro se logre tomar decisiones bajo que forma van a trabajar los equipos, considerando unos escenarios propuestos por los ingenieros de la planta.

ÍNDICE DE FIGURAS

| Número | Contenido | Página |
|---------------|--|---------------|
| 1.1 | Diagrama de flujo del proceso de secado del nepe..... | 5 |
| 2.1 | Proceso de cocimiento del mosto..... | 15 |
| 2.2 | Levaduras que intervienen en el proceso de fermentación del mosto..... | 19 |
| 2.3 | Clasificación de los secadores basada en el método de transferencia de calor..... | 25 |
| 2.4 | Secador rotatorio de calor directo, con diferentes configuraciones..... | 26 |
| 2.5 | Diagrama tiempo-valor. Configuración básica de un proyecto de inversión..... | 32 |
| 3.1 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para establecer las condiciones de operación de los equipos involucrados en el proceso de secado de nepe..... | 34 |
| 3.2 | Modelo de entrevista realizada para conocer los componentes que conforman el proceso de secado del nepe..... | 35 |
| 3.3 | Modelo de entrevista para reconocer fallas operacionales en el proceso de secado del nepe..... | 36 |
| 3.4 | Modelo de instrumento de recolección de datos utilizado en la comparación de las especificaciones de capacidad de producción de los equipos reportadas en las fichas técnicas con las inspeccionadas en la planta..... | 37 |
| 3.5 | Estufa empleada para determinar la humedad del nepe..... | 38 |
| 3.6 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación de la humedad del nepe a la salida del proceso de secado..... | 39 |
| 3.7 | Diagrama del bloque del proceso de secado del nepe..... | 41 |
| 3.8 | Tolvas de nepe húmedo..... | 43 |
| 3.9 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para reportar los tiempos de vaciado de la tolva de alimentación..... | 44 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.10 | Representación de la medición de densidad de la levadura o del nepe..... | 45 |
| 3.11 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación de la densidad de las muestras a analizar..... | 45 |
| 3.12 | Válvula de tornillo por medio de la cual se regula el flujo de levadura..... | 46 |
| 3.13 | Ducto de recirculación del proceso de secado..... | 48 |
| 3.14 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para reportar los tiempos de vaciado de la tolva de alimentación y traslado de material en el ducto de recirculación instalado en el sistema..... | 49 |
| 3.15 | Equipo de digestión de DQO..... | 51 |
| 3.16 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación del DQO en las muestras..... | 52 |
| 3.17 | Proceso de filtración para determinar los sólidos suspendidos totales..... | 55 |
| 3.18 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación de los sólidos suspendidos totales en la muestra..... | 55 |
| 3.19 | Diagrama causa-efecto que permite determinar las variables más influyentes en un proceso | 57 |
| 3.20 | Definición del diseño de experimento factorial..... | 59 |
| 3.21 | Definición de los niveles de los factores experimentales..... | 60 |
| 3.22 | Definición de la variable de respuesta..... | 60 |
| 3.23 | Definición del número de replicas a efectuar en el diseño experimental..... | 61 |
| 3.24 | Diseño de experimento factorial 2^3 | 61 |
| 3.25 | Construcción del diseño experimental 2^3 con el uso del Statgraphics plus | 62 |
| 3.26 | Apertura del Diseño experimental a analizar..... | 63 |
| 3.27 | Selección de datos a analizar..... | 64 |
| 3.28 | Resumen de análisis analíticos y gráficos..... | 64 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.29 | Ventanas de opciones para análisis analíticos y gráficos del diseño.. | 65 |
| 3.30 | Superficie de respuesta del diseño..... | 66 |
| 3.31 | Opciones para optimizar respuestas..... | 66 |
| 3.32 | Construcción y análisis de la superficie de respuesta usando el Statgraphics Plus 5.1..... | 67 |
| 3.33 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación del capital fijo..... | 71 |
| 3.34 | Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación del capital de trabajo..... | 71 |
| 4.1 | Diagrama de flujo del proceso de secado del nepe..... | 73 |
| 4.2 | Tolva de alimentación..... | 75 |
| 4.3 | Tipos de tornillos sin fin..... | 76 |
| 4.4 | Tornillo sin fin de alimentación de material al proceso de secado..... | 77 |
| 4.5 | Silos de almacenamiento de nepe húmedo y seco..... | 78 |
| 4.6 | Scrubber o lavador del vapor retirado del proceso de secado..... | 79 |
| 5.1 | Humedad del nepe seco en la descarga de la secadora uno..... | 84 |
| 5.2 | Humedad del nepe seco en la descarga de la secadora dos..... | 84 |
| 5.3 | Humedad del nepe seco en la descarga de la secadora tres..... | 85 |
| 5.4 | Demanda química de oxígeno (DQO) de los lodos..... | 87 |
| 5.5 | Concentración de fósforo de los lodos descargados por el Scrubber. | 88 |
| 5.6 | Sólidos suspendidos totales de los lodos descargados por el Scrubber..... | 88 |
| 5.7 | Diagrama causa-efecto que permite determinar las variables más influyentes en el proceso de secado del nepe. | 90 |
| 5.8 | Diagrama causa-efecto con las variables más influyentes en el proceso se secado del nepe..... | 95 |
| 5.9 | Diagrama de pareto estandarizado para la humedad del nepe a la descarga de la secadora uno..... | 98 |
| 5.10 | Comportamiento de la humedad del producto de la secadora uno de acuerdo a la variación de la velocidad de alimentación de nepe húmedo y el caudal de levadura..... | 99 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.11 | Comportamiento de la humedad del producto de la secadora uno de acuerdo a la variación de la temperatura de operación y el caudal de levadura..... | 100 |
| 5.12 | Contornos de la superficie de respuesta estimada para la operación de la secadora número uno..... | 102 |
| 5.13 | Diagrama de pareto estandarizado para la humedad del nepe a la descarga de la secadora dos..... | 103 |
| 5.14 | Comportamiento de la humedad del producto de la secadora dos de acuerdo a la variación de la velocidad de alimentación de nepe húmedo y el caudal de levadura..... | 104 |
| 5.15 | Comportamiento de la humedad del producto de la secadora dos de acuerdo a la variación de la temperatura de operación y el caudal de levadura..... | 104 |
| 5.16 | Contornos de la superficie de respuesta estimada para la operación de la secadora número dos..... | 105 |
| 5.17 | Diagrama de pareto estandarizado para la humedad del nepe a la descarga de la secadora tres..... | 107 |
| 5.18 | Comportamiento de la humeada del producto de la secadora tres de acuerdo a la variación de la velocidad de alimentación de nepe húmedo y el caudal de levadura..... | 107 |
| 5.19 | Comportamiento de la humeada del producto de la secadora tres de acuerdo a la variación de la temperatura de operación y el caudal de levadura..... | 108 |
| 5.20 | Contornos de la superficie de respuesta estimada para la operación de la secadora número tres..... | 109 |
| B.2.1 | Hoja de trabajo del diseño de experimento factorial 2^3 implementado en la secadora uno, con los valores de la variable de respuesta sustituidos..... | 152 |
| B.2.2 | Efectos de las variables de estudio de la secadora número uno en el proceso de secado del nepe representados en el resumen de análisis estadístico..... | 153 |
| B.2.3 | Matriz ANOVAR de la secadora número uno..... | 154 |

| | | |
|--------|--|-----|
| B.2.4 | Pareto estandarizado de las variables más influyentes sobre la humedad del nepe producido en la secadora número uno..... | 155 |
| B.2.5 | Punto óptimo de operación de la secadora número uno..... | 156 |
| B.2.6 | Superficie de respuesta del diseño de experimento planteado en la secadora uno..... | 157 |
| B.2.7 | Hoja de trabajo del diseño de experimento factorial 2^3 implementado en la secadora dos, con los valores de la variable de respuesta sustituidos..... | 158 |
| B.2.8 | Efectos de las variables de estudio de la secadora número dos en el proceso de secado del nepe representados en el resumen de análisis estadístico..... | 159 |
| B.2.9 | Matriz ANOVAR de la secadora número dos..... | 160 |
| B.2.10 | Pareto estandarizado de las variables más influyentes sobre la humedad del nepe producido en la secadora número dos..... | 161 |
| B.2.11 | Punto óptimo de operación de la secadora número dos..... | 162 |
| B.2.12 | Superficie de respuesta del diseño de experimento planteado en la secadora dos..... | 163 |
| B.2.13 | Hoja de trabajo del diseño de experimento factorial 2^3 implementado en la secadora tres, con los valores de la variable de respuesta sustituidos..... | 164 |
| B.2.14 | Efectos de las variables de estudio de la secadora número tres en el proceso de secado del nepe representados en el resumen de análisis estadístico..... | 165 |
| B.2.15 | Matriz ANOVAR de la secadora número tres..... | 166 |
| B.2.16 | Pareto estandarizado de las variables más influyentes sobre la humedad del nepe producido en la secadora número tres..... | 167 |
| B.2.17 | Punto óptimo de operación de la secadora número tres..... | 168 |
| B.2.18 | Superficie de respuesta del diseño de experimento planteado en la secadora tres..... | 169 |
| C.1 | Especificaciones de calidad del nepe seco de la empresa..... | 171 |
| C.2 | Especificaciones de control del afluyente a tratar en la PTAR de la empresa..... | 172 |

| | | |
|-----|---|-----|
| C.3 | Plano de la tolva de alimentación de la secadora dos y secadora tres..... | 174 |
| C.4 | Plano de la tolva de alimentación de la secadora uno..... | 175 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Número | Contenido | Página |
|---------------|---|---------------|
| 2.1 | Composición del nepe y digestibilidad del mismo por los cerdos, ganados, ovejas, entre otros animales..... | 16 |
| 2.2 | Valores límites permisibles en las características del lodo producto del proceso de secado del nepe..... | 21 |
| 2.3 | Matriz de diseño..... | 29 |
| 3.1 | Cantidades de muestra y reactivos para varios vasos de digestión..... | 50 |
| 5.1 | Humedad del nepe seco de acuerdo a las condiciones de operación que trabajan cada secadora..... | 83 |
| 5.2 | Porcentaje de desviación de la humedad del nepe seco de cada secadora con respecto a las especificaciones de calidad exigidas por la empresa..... | 85 |
| 5.3 | Características de los lodos descargados por el scrubber del proceso de secado del nepe..... | 87 |
| 5.4 | Efectos y parámetros estadísticos involucrados en el análisis de las variables más influyentes de la secadora uno..... | 98 |
| 5.5 | Punto óptimo de operación de la secadora número uno determinado por el programa STARTGRAPHICS..... | 102 |
| 5.6 | Efectos y parámetros estadísticos involucrados en el análisis de las variables más influyentes de la secadora dos..... | 103 |
| 5.7 | Punto óptimo de operación de la secadora número dos determinado por el programa STARTGRAPHICS..... | 106 |
| 5.8 | Efectos y parámetros estadísticos involucrados en el análisis de las variables más influyentes de la secadora tres..... | 106 |
| 5.9 | Punto óptimo de operación de la secadora número tres determinado por el programa STARTGRAPHICS..... | 109 |
| 5.10 | Verificación de las condiciones de operación óptimas para cada secadora instalada en el proceso de secado del nepe.. | 110 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.11 | Comparación de los flujos de salida del nepe seco antes y después de manipular las variables más influyentes en el proceso de secado..... | 111 |
| 5.12 | Comparación de la humedad del nepe seco antes y después de manipular las variables más influyentes en el proceso de secado..... | 111 |
| 5.13 | Características de los lodos descargados por el scrubber del proceso de secado del nepe después de manipular las variables más influyentes en el proceso..... | 112 |
| 5.14 | Costos asociados a la inversión inicial del proyecto..... | 114 |
| 5.15 | Flujo de caja en el tiempo de estudio de las propuestas de mejora del proceso de secado del nepe. | 115 |
| 5.16 | Indicadores económicos del proyecto..... | 115 |
| A.1 | Parámetros calculados y conocidos necesarios para determinar el flujo másico de nepe seco..... | 129 |
| B.1.1 | Condiciones de operación de los equipos involucrados en las secadoras del proceso de secado del nepe y medidores instalados para facilitar la lectura de las mismas..... | 138 |
| B.1.2 | Condiciones de operación de los equipos involucrados en las secadoras del proceso de secado del nepe y medidores instalados para facilitar la lectura de las mismas..... | 139 |
| B.1.3 | Condiciones de operación de los equipos involucrados en las secadoras del proceso de secado del nepe y medidores instalados para facilitar la lectura de las mismas..... | 140 |
| B.1.4 | Especificaciones de capacidad de producción de los equipos reportadas en las fichas técnicas de la empresa y las formuladas en la inspección realizada en planta..... | 141 |
| B.1.5 | Variables involucradas en la determinación de la humedad del nepe a la salida del proceso de secado por el método tradicional en la primera inspección realizada en el área..... | 142 |

| | | |
|--------|--|-----|
| B.1.6 | Volúmenes de solución de sulfato de amonio ferroso gastados en la titulación involucrada en la determinación del DQO de los lodos caracterizados en la primera inspección.... | 143 |
| B.1.7 | Variables involucradas en la determinación de los sólidos suspendidos totales presentes en los lodos caracterizado en la primera inspección..... | 143 |
| B.1.8 | Concentración de fósforo de los lodos caracterizados en la primera inspección..... | 143 |
| B.1.9 | Variables involucradas en la determinación de la densidad de las muestras a analizar en el proceso de secado del nepe..... | 144 |
| B.1.10 | Tiempos de vaciado de la tolva de alimentación y traslado de material en el ducto de recirculación..... | 145 |
| B.1.11 | Variables involucradas en la determinación de la humedad del nepe de la descarga de la secadora uno tomada en la ejecución del diseño de experimento..... | 146 |
| B.1.12 | Variables involucradas en la determinación de la humedad del nepe de la descarga de la secadora dos tomada en la ejecución del diseño de experimento..... | 147 |
| B.1.13 | Variables involucradas en la determinación de la humedad del nepe de la descarga de la secadora tres tomada en la ejecución del diseño de experimento..... | 148 |
| B.1.14 | Variables involucradas en la determinación de la humedad del nepe a salida del proceso de secado en la verificación del punto óptimo de operación de cada secadora..... | 149 |
| B.1.15 | Volúmenes de solución de sulfato de amonio ferroso gastados en la titulación involucrada en la determinación del DQO de los lodos caracterizados después de manipular las variables más influyentes del proceso..... | 149 |
| B.1.16 | Variables involucradas en la determinación de los sólidos suspendidos totales presentes en los lodos caracterizados después de manipular las variables más influyentes en el proceso..... | 150 |

| | | |
|--------|---|-----|
| | Concentración de fósforo de los lodos caracterizados después de manipular las variables más influyentes en el proceso..... | 150 |
| B.1.17 | | |
| B.1.18 | Variables involucradas en la determinación del capital fijo..... | 150 |
| | Variables involucradas en la determinación del capital de trabajo..... | 151 |
| B.1.19 | | |
| | Relaciones de flujos de alimentación de nepe húmedo al sistema de secado regulados en la tolva de alimentación de la secadora uno..... | 173 |
| C.1 | | |
| | Relaciones de flujos de alimentación de nepe húmedo al sistema de secado regulados en la tolva de alimentación de la secadora dos o tres..... | 173 |
| C.2 | | |

INDICE GENERAL

| Contenido | Página |
|--|---------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.1 Descripción del problema..... | 3 |
| 1.2 Formulación del problema..... | 6 |
| 1.2.1 Situación actual..... | 6 |
| 1.2.2 Situación deseada..... | 6 |
| 1.3 Objetivos..... | 7 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 7 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 7 |
| 1.4 Justificación..... | 7 |
| 1.5 Limitaciones..... | 8 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1 Antecedentes..... | 9 |
| 2.2 Bases teóricas..... | 14 |
| 2.2.1 nepe o Afrecho..... | 14 |
| 2.2.1.1 Obtención del nepe..... | 14 |
| 2.2.1.2 Usos..... | 16 |
| 2.2.1.3 Humedad del nepe..... | 17 |
| 2.2.1.4 Medidas de seguridad..... | 17 |
| 2.2.2 Levadura..... | 17 |
| 2.2.3 Lodo..... | 19 |
| 2.2.3.1 Caracterización de los lodos..... | 20 |
| 2.2.4 Secado de sólidos..... | 21 |
| 2.2.4.1 Clasificación de secadores..... | 22 |
| 2.2.4.1.1 Secadores directos..... | 22 |
| 2.2.4.1.2 Secadores rotatorios..... | 22 |
| 2.2.4.1.3 Secadores rotatorios de calor directo..... | 24 |
| 2.2.5 Diseño de experimento..... | 26 |

| | |
|--|----|
| 2.2.5.1 Unidad experimental..... | 27 |
| 2.2.5.2 Variables de respuesta..... | 27 |
| 2.2.5.3 Factores controlables..... | 28 |
| 2.2.5.4 Factores no controlables o de ruido..... | 28 |
| 2.2.5.5 Factores estudiados..... | 28 |
| 2.2.5.6 Niveles y tratamientos..... | 28 |
| 2.2.5.7 Diseño factorial..... | 29 |
| 2.2.5.8 Superficie de respuesta..... | 29 |
| 2.2.5.9 Mejor tratamiento..... | 30 |
| 2.2.5.10 Punto óptimo..... | 30 |
| 2.2.6 Análisis de factibilidad económica..... | 30 |
| 2.2.6.1 Valor presente neto..... | 31 |
| 2.2.6.2 Tasa interna de retorno..... | 32 |
| CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO..... | 33 |
| 3.1 tipo de investigación..... | 33 |
| 3.2 Descripción de los sistemas que integran el proceso de secado del nepe..... | 33 |
| 3.2.1 Comprensión detallada del proceso de secado del nepe..... | 34 |
| 3.2.1.1 Inspección del área..... | 34 |
| 3.2.1.2 Entrevistas con el personal involucrado en el proceso..... | 34 |
| 3.2.1.3 Elaboración del diagrama de flujo del proceso de secado del nepe..... | 36 |
| 3.2.1.4 Revisión de las especificaciones de los equipos..... | 37 |
| 3.3 Determinación de las condiciones de salida del nepe del proceso de secado..... | 38 |
| 3.3.1 Medición de la humedad del nepe al finalizar el proceso de secado..... | 38 |
| 3.3.1.1 Procedimiento..... | 38 |
| 3.3.2 Verificación del cumplimiento de las especificaciones de calidad de la empresa en las condiciones de humedad del nepe..... | 40 |
| 3.3.3 Determinación del flujo másico del nepe seco..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 3.3.3.1 Medición del flujo másico de la alimentación de nepe al proceso de secado..... | 42 |
| 3.3.3.1.1 Medición de la capacidad de almacenamiento de las tolvas de alimentación del nepe húmedo..... | 42 |
| 3.3.3.1.2 Medición del tiempo de vaciado de la tolva..... | 43 |
| 3.3.3.1.3 Medición de la densidad del material de alimentación al proceso de secado..... | 44 |
| 3.3.3.2 Medición del flujo másico de alimentación de levadura al proceso de secado..... | 46 |
| 3.3.3.2.1 Medición de la densidad de la levadura que se le alimenta al proceso de secado..... | 47 |
| 3.3.3.3 Medición del flujo másico de la recirculación del material en el proceso de secado..... | 47 |
| 3.3.3.3.1 Medición de la densidad del nepe que recircula en el proceso de secado..... | 47 |
| 3.3.3.3.2 Determinación del volumen que ocupa el nepe en el ducto de recirculación del proceso de secado..... | 48 |
| 3.3.3.3.3 Medición del tiempo de traslado del nepe en la recirculación del proceso de secado..... | 49 |
| 3.3.4 Caracterización de los lodos de descarga del scrubber instalado en el proceso de secado..... | 50 |
| 3.3.4.1 Medición de la demanda química de oxígeno (DQO) total..... | 50 |
| 3.3.4.1.1 Reactivos..... | 50 |
| 3.3.4.1.2 Selección de cantidades de muestra y reactivos..... | 50 |
| 3.3.4.1.3 Procedimiento..... | 51 |
| 3.3.4.1.4 Cálculo..... | 52 |
| 3.3.4.2 Medición del fósforo total..... | 52 |
| 3.3.4.2.1 Reactivos..... | 53 |
| 3.3.4.2.2 Procedimiento..... | 53 |
| 3.3.4.2.3 Cálculo..... | 54 |
| 3.3.4.3 Medición de sólidos suspendidos totales..... | 54 |
| 3.3.4.3.1 Procedimiento..... | 54 |

| | |
|---|----|
| 3.3.4.3.2 Cálculo..... | 56 |
| 3.4 Análisis de las variables involucradas en el proceso de secado del nepe..... | 56 |
| 3.4.1 Diagrama causa-efecto..... | 56 |
| 3.5 Determinación de las condiciones de operación donde el proceso logra mejor desempeño..... | 58 |
| 3.5.1 Diseño de experimento factorial 2^3 | 58 |
| 3.5.2 Análisis estadístico..... | 62 |
| 3.5.3 Diseño de superficie de respuesta..... | 65 |
| 3.6 Comparación de las condiciones de salida del nepe antes y después de manipular las variables..... | 68 |
| 3.7 Determinación de la factibilidad económica de la estrategia propuesta..... | 68 |
| 3.7.1 Estimación del capital fijo..... | 68 |
| 3.7.2 Estimación del capital de trabajo..... | 69 |
| 3.7.3 Estimación de la inversión inicial..... | 70 |
| 3.7.4 Estimación de los costos de producción e impuesto sobre la renta..... | 70 |
| 3.7.5 Estimación de los indicadores de rentabilidad..... | 70 |
| CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO..... | 72 |
| 4.1 Descripción del proceso de secado del nepe..... | 72 |
| 4.2 Descripción de los equipos..... | 74 |
| 4.2.1 Alimentadores o tolvas de alimentación..... | 74 |
| 4.2.2 Transportadores de tornillos sin fin..... | 75 |
| 4.2.3 Silos..... | 77 |
| 4.2.4 Lavador de aire, vapor, gases (scrubber)..... | 78 |
| CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 80 |
| 5.1 Sistema que integran el proceso de secado del nepe..... | 80 |
| 5.2 Condiciones de salida del nepe y subproductos del proceso de secado..... | 82 |
| 5.3 Análisis de las variables más influyentes en el proceso de secado del nepe..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| 5.4 Determinación de una nueva manera de operar el proceso modificando las variables más influyentes..... | 96 |
| 5.5 Comparación de las condiciones de salida del nepe antes y después de manipular las variables más influyentes..... | 109 |
| 5.6 Factibilidad económica de las estrategias de mejoras propuestas..... | 113 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 117 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 120 |
| APÉNDICES..... | 123 |
| Apéndice A. Cálculos típicos..... | 124 |
| A.1 Determinación de la humedad del nepe al finalizar el proceso de secado..... | 124 |
| A.2 Verificación del cumplimiento de las especificaciones de calidad de la empresa de la humedad del nepe seco..... | 125 |
| A.3 Determinación del volumen o capacidad de almacenamiento de las tolvas de alimentación y del ducto de recirculación..... | 126 |
| A.4 Determinación de la densidad del nepe húmedo, seco y de la levadura..... | 127 |
| A.5 Determinación del tiempo de vaciado de la tolva..... | 128 |
| A.6 Determinación del flujo másico de nepe húmedo al proceso de secado..... | 128 |
| A.7 Determinación del flujo másico de recirculación de nepe al sistema..... | 129 |
| A.8 Determinación del flujo másico de salida de nepe seco..... | 129 |
| A.9 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) de los lodos descargados por el scrubber..... | 130 |
| A.10 Determinación de los sólidos suspendidos de los lodos descargados por el scrubber..... | 131 |
| A.11 determinación del porcentaje de incremento del flujo de salida de nepe seco y de sus humedad al aplicar la mejora..... | 132 |
| A.12 Determinación del capital fijo..... | 132 |
| A.13 Determinación del capital de trabajo..... | 133 |

| | |
|---|-----|
| A.14 Determinación de la inversión inicial..... | 133 |
| A.15 Determinación del valor presente neto..... | 133 |
| A.16 Determinación de la tasa interna de retorno (TIR)..... | 133 |
| Apéndice B. Datos y resultados experimentales..... | 134 |
| Apéndice B.1. Tablas de datos experimentales..... | 135 |
| Apéndice B.2. Análisis estadístico y optimización..... | 152 |
| Apéndice C. Normas de especificaciones de calidad de la empresa y fichas técnicas de los equipos..... | 170 |

INTRODUCCIÓN

La Cervecería Polar C.A planta San Joaquín, líder en la producción de cerveza y malta a nivel nacional presenta entre sus subproductos el nepe, el cual es un alimento proteico para animales, y se vende en dos presentaciones: húmedo y seco. Para la obtención del seco es necesario tratar el material húmedo por un sistema de secado, proceso que en la actualidad se encuentra fuera de control en sus variables de calidad del producto establecidas por la empresa. Por tal razón, surge la necesidad de mejorar el proceso de secado por el cual es obtenido, con la finalidad de ofrecerle al mercado un producto que cumpla con las normas exigidas.

Para llevar a cabo la investigación se plantearon los siguientes objetivos específicos: Diagnosticar los sistemas que integran el proceso de secado, determinar las condiciones de salida del nepe del proceso de secado, analizar las variables involucradas en el proceso, determinar una nueva manera de operar el proceso modificando las variables más influyentes, comparar las condiciones de salida del producto antes y después de manipular las variables y determinar la factibilidad económica de la estrategia propuesta.

Para llevar a cabo los objetivos específicos se siguió la siguiente metodología: diagnóstico del proceso de secado para detectar posibles fallas operacionales del sistema, determinación de la humedad del nepe seco por el método tradicional y el flujo másico de salida mediante un balance de masa en el sistema, para verificar el cumplimiento de las especificaciones de la empresa y las condiciones de operación actuales del proceso. A su vez, el análisis de las variables que intervienen en el proceso mediante una tormenta de ideas reflejada en un diagrama causa-efecto (Ishikawa), donde se seleccionaron las más influyentes sobre la calidad del afrecho seco. La nueva forma de operación del proceso se determina realizando un estudio estadístico sobre las variables más influyentes en la calidad del producto utilizando como herramientas un diseño de experimento factorial 2^3 y una superficie de respuesta, herramientas suministradas por el software STARTGRAPHICS y finalmente se determina la

factibilidad económica de las propuestas de mejoras utilizando modelos de flujos monetarios e indicadores de rentabilidad.

La investigación se presenta en el siguiente orden: En el capítulo I se dará a conocer el problema en estudio, especificándose su propósito, la situación actual y deseada, así como el objetivo general y los específicos de la investigación. En el capítulo II se presentan los antecedentes que sustentan la investigación y los fundamentos teóricos. En el capítulo III se muestra la metodología empleada para llevar a cabo cada uno de los objetivos de la investigación. En el capítulo IV se describe el proceso de secado del nepe y los equipos que lo conforman. En el capítulo V se realiza el análisis de los resultados obtenidos durante la investigación para cada uno de los objetivos planteados y finalmente las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación.

La optimización del proceso de secado del nepe contribuye a obtener un producto de calidad para el mercado agro-industrial, favoreciendo la venta del mismo y por consiguiente disminuyendo el impacto ambiental que genera el desecharlo, creando un proceso optimizado y generando más ganancias para la empresa.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se dará a conocer el problema en estudio, especificándose su propósito, la situación actual y deseada, así como el objetivo general y los específicos de la investigación. De igual forma se presentan las razones que justifican la investigación, las limitaciones y el alcance de la misma.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El negocio de cerveza y malta del Grupo Empresas Polar es operado por Cervecería Polar, líder en los rubros de estos productos, manteniendo el 75 por ciento del mercado local de cervezas y el 90 por ciento del consumo de maltas. En el ámbito internacional está ubicada entre las empresas cerveceras más importantes del mundo. Con una capacidad instalada de 200 millones de litros mensuales, Cervecería Polar satisface la demanda de sus productos en los ámbitos nacional e internacional. Cuenta con cuatro plantas de producción situadas en puntos estratégicos de la geografía Venezolana, entre ellas la ubicada en San Joaquín, Estado Carabobo, lugar donde se llevara a cabo la investigación.

El nepe ó Afrecho es un subproducto de cervecería Polar C.A, el cual es resultado de desechos sólidos (no fermentables) retirados del proceso de elaboración de la cerveza y malta, constituido principalmente por 2 de sus principales ingredientes, los cuales son: cebada y hojuelas de maíz, obteniéndose un producto de alto contenido proteico. El mismo es vendido en dos presentaciones: húmedo y seco, el nepe húmedo se utiliza en fincas como alimento para ganado porcino y vacuno, y también como abono orgánico. El nepe seco es vendido a Procria (grupo filial) para ser usado como materia prima en la elaboración de alimentos de animales domésticos.

El proceso de secado de nepe se inicia con la separación de éste del mosto (cerveza y malta en periodo de elaboración), en la etapa de filtración involucrada en la

elaboración de cerveza, este proceso se lleva a cabo en un filtro prensa marca Meura; el producto líquido que se retira es el mosto y el producto sólido es el nepe húmedo, el cual se transporta por tuberías al departamento de secado de nepe, para su almacenamiento, tratamiento y posterior venta.

El proceso (véase figura 1.1), se lleva a cabo en tres secadoras, el nepe húmedo se dosifica mediante un sistema de alimentación constituido por 2 tornillos sin fin y un mezclador de alta revolución. A este sistema también se le suministra la levadura que se desecha del proceso de elaboración de cerveza para aumentar el contenido proteico del nepe.

El secado es realizado en un horno rotatorio, el cual posee un haz de tubos por donde circula vapor saturado a 4 bar de presión como agente térmico (véase figura 1.1), y también posee unas paletas que se encargan del transporte del producto dentro de la secadora, permitiendo de esta forma una transferencia de calor convectiva entre el vapor y el material a secar. El vapor disminuye la humedad del nepe y luego es retirado por un ducto que lo transporta a un lavador de gases (Scrubber).

El proceso es controlado por un indicador de humedad situado a la descarga de la secadora, al cual se le regula el set point que verifica el estado deseado del producto, recirculando a la alimentación el que se encuentre fuera de dicho valor. Es importante controlar la humedad del nepe que sale de la secadora, ya que si ésta es mayor que el 10 % puede favorecer la descomposición prematura del afrecho mientras se encuentra almacenado en los silos a donde es transportado a su salida, formando gas metano y aumentando las posibilidades de producir un incendio o explosión dentro de los mismos ante la presencia de cualquier chispa. Por eso su especificación de calidad en la empresa se encuentra en un rango de (5 - 8) % de humedad con un máximo de 10 % en los camiones.

En la actualidad el nepe seco se encuentra fuera de especificaciones de calidad de la empresa establecida en (5-8) % de humedad, obteniéndose en un rango entre (1-3) % o mayor de 8% de humedad relativa.

El consumo de levadura por las secadoras es muy poco, hecho que esta generando mucha acumulación de ésta como desecho en el proceso de elaboración de cerveza, por lo que se ha tenido que incurrir en otras medidas que impactan al ambiente a la hora de tratar este desecho.

Los lodos de descarga del scrubber se encuentran muy concentrados, este hecho crea un impacto tanto en el proceso de secado como en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa (PTAR), lugar a donde son enviados a la hora de tratarlos.

Tomando en cuenta estas situaciones, se plantea la necesidad de mejorar las condiciones de operación del proceso, con el fin de ofrecer un producto dentro de norma y procesado en condiciones controladas, disminuyendo cualquier pérdida e impacto al sistema.

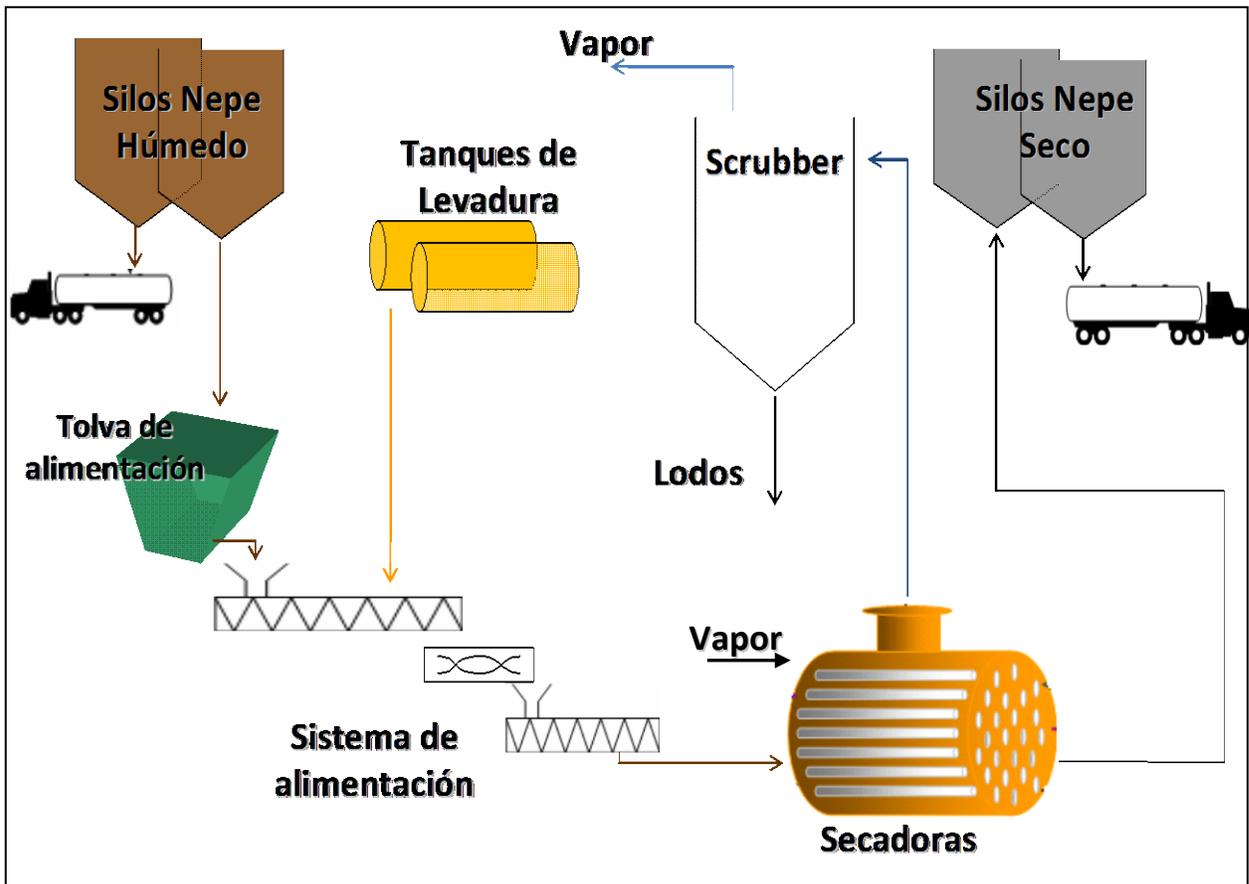


Figura 1.1. Diagrama de flujo del proceso de secado del nepe.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La producción de nepe seco con los parámetros de humedad fuera de la norma de calidad representa un riesgo en su venta por las propiedades inflamables que posee el producto en dichas condiciones. Este proceso emite desechos de gran impacto ambiental al no estar controlado, por lo que se plantea la necesidad de mejorarlo para obtener el porcentaje de humedad requerido y productos secundarios con parámetros que no interfieran en futuros tratamientos a los que son enviados.

1.2.1. Situación actual

En la actualidad el proceso de secado de nepe presenta las variables de operación descontroladas, de manera que produce un afrecho fuera de las normas de calidad de la empresa. Para controlar la humedad del producto en el proceso se tiene instalado un medidor de humedad, este instrumento esta presentando fallas de lecturas, por lo que se ve en la obligación de verificar dicha variable de forma manual en el laboratorio central de la empresa. El consumo de componentes utilizados para producir el nepe seco es bajo consecuencia de lo planteado inicialmente.

Estas problemáticas han producido paradas de emergencia del proceso. De seguir así traerían consecuencias como:

- Imposibilidad de venta del producto por encontrarse fuera de norma.
- Gran impacto ambiental, por desaprovechamiento de los desechos, y por los lodos producidos en el scrubber.

1.2.2. Situación deseada

Se requiere mejorar el proceso de secado del nepe mediante un análisis al sistema de operación y a las variables vinculadas con la calidad del producto, para obtener un producto con una humedad relativa en un rango entre (5-8) %, de esta forma no habrían limitaciones a la hora de venderlo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Mejorar el proceso de secado de nepe de la cervecería Polar C.A planta San Joaquín, con el fin de obtener un producto dentro de las especificaciones de calidad de la empresa bajo un proceso controlado.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Diagnosticar los sistemas que integran el proceso de secado del nepe, con la finalidad de conocer las condiciones y funcionamiento de los equipos del proceso actualmente.
2. Determinar las condiciones de salida del nepe del proceso de secado, para verificar que cumpla con las especificaciones de calidad de la empresa.
3. Analizar las variables involucradas en el proceso de secado del nepe, para seleccionar las más influyentes.
4. Determinar una nueva manera de operar el proceso modificando las variables más influyentes, con el fin de conocer condiciones de operación donde el proceso logra mejor desempeño.
5. Comparar las condiciones de salida del nepe antes y después de manipular las variables, para verificar mejoras de los productos y proceso de secado.
6. Determinar la factibilidad económica de la estrategia propuesta, a razón de verificar si es rentable aplicar los cambios sugeridos para el proceso.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El mejoramiento del proceso de secado del nepe contribuye a obtener un producto de calidad para el mercado agrícola, favoreciendo la venta del mismo y por consiguiente disminuyendo el impacto ambiental que genera el desecharlo. Para esto

se aportará una metodología de evaluación de procesos, recolección de data y análisis experimentales fisicoquímicos que acelerara el estudio de manera de minimizar los costos y pérdidas del proceso.

Es importante recalcar que durante la elaboración del presente trabajo se llevarán a cabo prácticas que permitirán reforzar al autor los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de la carrera universitaria, y también dejaría un aporte al estudiantado como referencia de apoyo en futuras investigaciones. El desarrollar este trabajo ofrece una gran experiencia laboral e industrial debido al desenvolvimiento a realizarse en la empresa, obteniéndose nuevas técnicas a la hora de evaluar un proceso.

1.5. LIMITACIONES

En la presente investigación se pudieran encontrar algunas condiciones y restricciones que pudieran limitar un buen desenvolvimiento de los objetivos planteados como:

- Falta de instrumentos que permitan la recolección de los datos en el área, como un medidor del flujo de levadura y un medidor de humedad, ya que en la actualidad el primero no existe y el segundo se encuentra en otra área de la empresa, cabe mencionar que el instrumento para determinar la humedad al nepe requiere de 30 minutos para reportar un valor confiable, hecho que disminuye la eficiencia del proceso ya que se deben realizar operaciones de forma manual por esta causa.

- Falta de soporte bibliográficos del proceso.

- En la operación del proceso, los equipos involucrados pudiesen presentar fallas técnicas que involucren una parada de emergencia del proceso, lo cual afecta a la investigación a la hora de tomar datos y en el tiempo de la misma.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes que sustentan la investigación y los fundamentos teóricos, necesarios para alcanzar una completa comprensión del proceso de secado de nepe.

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 LÓPEZ, Mauricio (2006). “**Secado de café en lecho fluidizado**”. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

La presente investigación tuvo como propósito evaluar las condiciones de humedad del grano de café usando un sistema de secado por fluidización, con el fin de obtener café con un contenido de humedad final uniforme y reducir el tiempo de secado.

Entre los resultados más relevantes de dicha investigación se obtuvieron que se diseñó y construyó un prototipo de 5000 g de capacidad, en el cual se secó café bajo tres condiciones de temperatura del aire de secado: 42, 46 y 49 °C. También se varió el tiempo de secado de 6 a 8 horas, resultando una buena uniformidad en el contenido de humedad final del grano, con diferencias menores a 0,86 %. Además al grano se le hizo prueba de taza, obteniéndose que el producto presenta características organolépticas de buena calidad.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que se evalúan las condiciones de operación y humedad del producto final después del proceso de secado para verificar una mejora en el producto una vez instalada la mejora. La diferencia más relevante entre los trabajos es el principio o tipo de secado del sólido, ya que el de la investigación es por fluidización y el propuesto es por contacto convectivo así como el producto a secar.

2.1.2 SANDOVAL, S y RODRIGUEZ, J (2006). “**Rapidez de secado reducida: una aplicación al secado convectivo de plátano Roatán**”. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Distrito Federal, México.

La presente investigación tuvo como propósito evaluar el proceso de secado de plátano variedad Roatán, aplicando temperatura constante y tres niveles de velocidad de flujo de aire en el túnel de secado, con la finalidad de identificar las diferentes fases de secado y obtener un producto en mejores condiciones, ya que el secado de materiales bio-fibrosos como las frutas es un proceso complejo de desplazamiento de humedad.

Entre los resultados más relevantes de dicha investigación se obtuvieron que se deshidrato plátano en condiciones óptimas en el túnel de secado de flujo longitudinal a 60 °C, con una humedad relativa del 10-25 % y velocidades de aire de 1m/s, 2 m/s y 3 m/s.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que se evalúa el proceso de secado de sólidos con el fin de obtener un producto óptimo en condiciones de humedad establecida. Las diferencias más relevantes son: el producto a secar de la investigación es plátano Roatán y el propuesto es nepe húmedo, al igual que el fluido utilizado para el secado de la investigación es aire y el propuesto es vapor saturado. Cabe destacar que la metodología usada en las investigaciones difieren pero ambas operan bajo el mismo principio.

2.1.3 ROJAS, Javier (2005). “**Optimización del sistema de aire comprimido para el empuje de nepe**”. Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda.

La presente investigación tuvo como propósito optimizar sistema de aire comprimido para el empuje de nepe de la empresa Cervecería Polar C.A., Planta San

Joaquín. Con el fin de implementar un sistema de aire independiente de uso exclusivo para el empuje de nepe.

Entre los resultados más relevantes de la investigación fue la propuesta de un sistema de aire independiente de uso exclusivo para el empuje del nepe, ya que el aire comprimido que se utiliza viene de un pulmón principal que lo utiliza la toda la planta. También se obtuvo que el proceso de empuje de nepe se lleva a cabo con presiones de 3,5 barg y que provocar grandes caídas de presión en el empuje de nepe involucra grandes pérdidas de dinero.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que el producto de operación primordial es nepe húmedo, además de que en ambos proyectos se caracteriza el nepe para saber las condiciones de operación de cada proceso, y ambas investigaciones siguen una metodología similar para optimizar el sistema a la hora de tratar el producto. La diferencia más relevante entre las investigaciones es que en una se optimiza el sistema de aire comprimido para el empuje de nepe y la propuesta busca optimizar el proceso de secado de nepe.

2.1.4 GIMÉNEZ, Desirée (2003). “**Optimización de los procedimientos de medición y control de humedad de secadores**”. Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda.

La presente investigación tuvo como propósito optimizar los procedimientos de medición y control de humedad de secadores en el proceso de elaboración del cigarrillo, con el fin de establecer un control y medición la más preciso posible ya que el porcentaje de humedad del tabaco es uno de los parámetros determinantes de la calidad del cigarrillo.

Entre los resultados más relevantes de dicha investigación se obtuvieron que se mejoraron las mediciones de humedad, realizando cambios en los procedimientos de seguimiento y de calibración de los equipos, ajustando los parámetros del controlador

de temperatura PID de la secadora. También se verificó que los equipos de medición de humedad infrarroja obtienen valores de humedad con alta precisión.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que se evalúan las condiciones de operación y humedad del producto final después del proceso de secado para seleccionar la condición óptima, y que ambos procesos de secado operan bajo el mismo principio de funcionamiento convectivo. La diferencia más relevante entre los trabajos es el producto a secar, el cual para la investigación es el tabaco y el propuesto es nepe húmedo, así como también difieren en que la investigación busca optimizar solo las variables ya nombradas, y la propuesta busca optimizar todo el proceso de secado que incluye tratamientos de lodos producidos por el lavador de gases presente en el proceso.

2.1.5 TORRES, Flavio y MUÑOZ, Carlos (2003). **“Control difuso para una planta piloto de secado por lecho fluidizado”** Universidad de Tarapaca, Arica, Chile.

La presente investigación tuvo como propósito instalar un control difuso proporcional-prealimentado (CDPP) aplicado a un proceso de secado de afrecho por lecho fluidizado de material húmedo. Con el fin de obtener el producto en condiciones óptimas bajo el sistema instalado.

Entre los resultados más relevantes de dicha investigación se tiene que se instalaron dos algoritmos (CDPP y PI) de control difuso para controlar la temperatura de un secador de afrecho de lecho fluidizado a escala piloto, resultando que ambos mostraron un buen desempeño ante condiciones de operación reales, y que el algoritmo CDPP mostro mejor desempeño respecto al PI.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que se evalúa a nivel de laboratorio la humedad del afrecho al variar la temperatura de operación del secado, para verificar las condiciones de operación de los equipos y del producto. La diferencia más relevante entre los trabajos es que en la investigación se

busca instalar un control difuso al proceso de secado de afrecho a diferencia de la finalidad de la investigación propuesta que es optimizar el proceso de secado de afrecho.

2.1.6 ANDRADE, María (2002). **“Optimización del proceso de secado de productos de arcilla”** Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda.

La presente investigación tuvo como propósito estudiar y optimizar la calidad de los productos de arcilla al salir de los secaderos, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso en planta.

Entre los resultados más relevantes de la investigación se obtuvieron que los problemas de secado no estaban vinculados directamente con el proceso sino con la preparación de la materia prima, y que la instalación de los equipos recomendados y mejoras operacionales disminuyeron las pérdidas involucradas en las secadoras.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que se sigue una metodología de evaluación de procesos para la optimización de procesos similar ya que en ambas el centro de estudio está relacionado con un proceso de secado. Entre las diferencias más relevantes se encuentran que los productos a secar son diferentes, siendo el de la investigación arcilla y el propuesto afrecho, además el principio de funcionamiento de las unidades de secado no son los mismos.

2.1.7 OTTATI, Juan (2001). **“Cálculo y diseño de los servicios asociados al nuevo edificio de las secadoras de nepe y levadura”**. Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda.

La presente investigación tuvo como propósito calcular y diseñar los servicios asociados al nuevo edificio de las secadoras de nepe y levadura, con el fin de ampliar y mejorar las condiciones de operación del proceso de la planta los cortijos.

Entre los resultados más relevantes de la investigación se obtuvieron que los servicios requeridos para el proceso son: agua caliente, agua filtrada, aire comprimido, gas carbónico, soda cáustica y vapor, también se controla como mejor temperatura de operación de la secadora alrededor de 70 °C, e instalación de tuberías para cada servicio garantizando un producto de calidad requerida.

La semejanza que presenta esta investigación con la que se propone es que el proceso de estudio es el mismo, planteándose una metodología, diseño de estrategias de mejoras y control de calidad del producto para realizar el estudio y así verificar las mejoras implementadas. Las diferencias más relevantes están en que la investigación tenía como principal objetivo diseñar los servicios involucrados en el proceso para garantizar una buena calidad en el producto, en cambio la investigación propuesta busca optimizar el proceso ya instalado en la planta, mejorando sus condiciones de operación y calidad del nepe.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Nepe ó afrecho

Es un subproducto rico en proteínas del proceso cervecero, consiste de los sólidos residuales removidos después de la maceración y filtrado del mosto. Está constituido principalmente por cáscaras de granos (celulosos) como hojuelas de maíz, cebada y otros componentes residuales no convertidos a azúcares fermentados por el proceso de maceración (Benson, 1970).

2.2.1.1 Obtención del nepe

El nepe se deriva del proceso de cocimiento de la cerveza, el cual tiene por objeto solubilizar y extraer todos los elementos esenciales de la malta (extracto fermentable), del lúpulo (amargos y aceites esenciales) y de los adjuntos o materias

auxiliares, para el mosto cervecero con la formulación y calidad correcta en función al tipo de cerveza que se busca fabricar. Este proceso ocurre en varias etapas e involucra diversas operaciones unitarias tales como la maceración, la filtración, hervida y enfriamiento del mosto (Manual de Cervecería Polar, 2005).

El proceso comienza cuando se mezcla la malta molida y adjuntos con agua en la paila de premezcla con el objeto de liberar las enzimas que se han producido durante el proceso del malteado controlando el pH y temperatura en el proceso, dependiendo exclusivamente del tipo de cerveza que se quiera elaborar y al tipo de materia prima usada, posteriormente se separa el mosto de los sólidos, mediante filtración, el mosto sigue a la etapa de hervida a condiciones de temperatura y tiempo establecidas, para posteriormente pasar a los tanques de fermentación y el sólido (nepe) es enviado por tuberías a silos para su posterior tratamiento (Manual de Cervecería Polar, 2005). En la figura 2.1 se muestra un diagrama explícito del proceso de maceración.

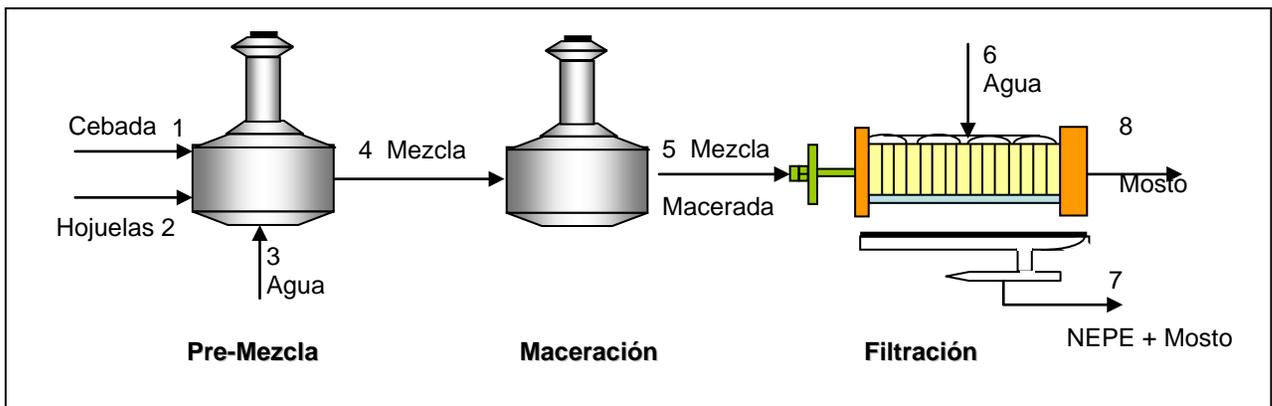


Figura 2.1. Proceso de cocimiento del mosto.

Durante el proceso de cocimiento, principalmente actúan varias enzimas, clasificadas en tres categorías: *proteasas*, *amilasas* y *glucanasas*. La acción de estas enzimas durante las primeras etapas consiste en mejorar la licuefacción del almidón, regular el contenido de azúcar y nitrógeno, mejorar la extracción y facilitar la filtración. Sin embargo, solo las unidades pequeñas como: matosa, glucosa, fructosa y maltotriosa logran ser fermentadas por estas enzimas, lográndose modificar tres

unidades de la cadena de la amilopectina (grupo perteneciente a la Cebada malteada y hojuela), rompiendo sus enlaces resultando. El resto de la cadena que no se pudo modificar pertenece a la parte del grupo insoluble del mosto, es decir nepe (Manual de Cervecería Polar, 2005).

2.2.1.2 Usos

El afrecho resultante de la filtración, es acondicionado para ser vendido en sus dos estados seco y húmedo, y pueda ser usado como materia prima para plantas productoras de alimentos balanceados para animales (Seco, como alimento para animales agrícolas tales como cerdos, ganado, ovejas, entre otros y además como fertilizante (Hough, 1990). En la tabla 2.1 se muestra la composición del nepe y la digestibilidad de cada componente por parte de algunos grupos de animales.

**TABLA 2.1
COMPOSICIÓN DEL NEPE Y DIGESTIBILIDAD DEL MISMO POR LOS CERDOS,
GANADOS, OVEJAS, ENTRE OTROS ANIMALES**

| Composición | Media | Intervalo |
|--------------------------------------|--------------|------------------|
| Materia seca (%) | 26,3 | 24,4 - 30,0 |
| Proteína bruta (% de peso seco) | 23,4 | 18,4 - 26,2 |
| Proteína digestible (% de peso seco) | 18,5 | 13,9 – 21,3 |
| Fibra bruta (% de peso seco) | 17,6 | 15,5 – 20,4 |
| Fibra digestible (% de peso seco) | 7,9 | 6,6 – 10,2 |
| Cenizas totales (% de peso seco) | 4,1 | 3,6 – 4,5 |
| Lípidos (% de peso seco) | 7,7 | 6,1 – 9,9 |
| Almidón (% de peso seco) | 11,6 | - |

Fuente: Hough, 1990.

2.2.1.3 Humedad del nepe

La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido. Es una variable importante en muchos ámbitos; por ejemplo, en procesos de fabricación que deben ser ejecutados respetando condiciones de humedad específicas para garantizar los productos. A veces la clave está en la humedad del aire ambiental, y otras en la humedad de los productos mismos (Glaría y colaboradores, 2000).

Por su parte la humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en tanto por ciento (Glaría y colaboradores, 2000).

Para verificar la calidad del nepe, se compara con las normas de calidad de la empresa (véase apéndice D), el cual enuncia que para que el nepe seco pueda ser vendido debe poseer una humedad relativa entre (5-8)% con un máximo de 10 % en el transporte (camiones).

2.2.1.4 Medidas de seguridad

Es importante controlar la humedad del nepe que sale de la secadora, ya que si ésta es mayor que el 10 % puede favorecer la descomposición prematura del afrecho mientras se encuentra almacenado en los silos a donde es transportado a su salida, formando gas metano y aumentando las posibilidades de producir un incendio o explosión dentro de los mismos ante la presencia de cualquier chispa (Ottati, 2001).

2.2.2 Levadura

Las levaduras son microorganismos (hongos) unicelulares con multitud de especies, están dotados de actividad respiratoria multiplicándose en presencia de

oxígeno, utilizando para su desarrollo un gran número de carbohidratos que se degradan hasta producir gas carbónico, agua y alcohol como producto final. Su función en el proceso cervecero es transformar los azúcares aportados por la cebada malteada (glucosa, maltosa y maltotriosa principalmente) a CO₂ y alcohol principalmente (Manual de Cervecería Polar, 2005).

Las células de las levaduras pueden ser ovals, esféricas, tener forma de limón o de cigarro puro. Hay levaduras que forman, especialmente en medio sólido, filamentos, ramificados o no, denominados pseudomicelio; otras ofrecen micelios muy similares a los de los mohos (Hough, 1990). La típica levadura cervecera es oval o esférica con un diámetro de 2-8µm y una longitud de 10-15µm (Manual de Cervecería Polar, 2005).

Muchas levaduras no encajan perfectamente en ningún tipo de hongos, pero la mayoría se clasifican como Ascomicetos. Éstos constituyen el grupo más numeroso de los hongos y en él se incluyen las levaduras *Saccharomyces*, y hongos, como los *Aspergillus* y *Penicillium*, muy usados en las industrias microbiológicas (Hough, 1990). Los dos tipos de levaduras utilizadas en el proceso de elaboración de cerveza son:

- Levaduras de alta fermentación: (*Saccharomyces Cerevisae*) se caracterizan por quedarse en la superficie y trabajar a temperaturas templadas (15-20°C) (ver figura 2.2).
- Levaduras de baja fermentación: (*Saccharomyces Uvarum*) se caracterizan porque durante la fermentación unas ascienden a la superficie mientras las otras se precipitan en el fondo, y tienen la característica de realizar su función a bajas temperaturas (5-10°C).

Las levaduras deben someterse a un proceso de adaptación y crecimiento antes de inyectarlas a los tanques cilíndrico-cónicos, en esta etapa ocurre el crecimiento microbiano el cual se define como un aumento en el número de células. Para crecer, los microorganismos toman del entorno todas las sustancias requeridas para la síntesis de materiales celulares para la generación de energía, estas sustancias son denominadas

nutrientes (cloruro de calcio, sulfato de zinc, etc). Cuando un medio de crecimiento adecuado (mosto) se inocula con células (levadura), tiene lugar una secuencia de eventos característicos denominada cultivo (Manual de Cervecería Polar, 2005).

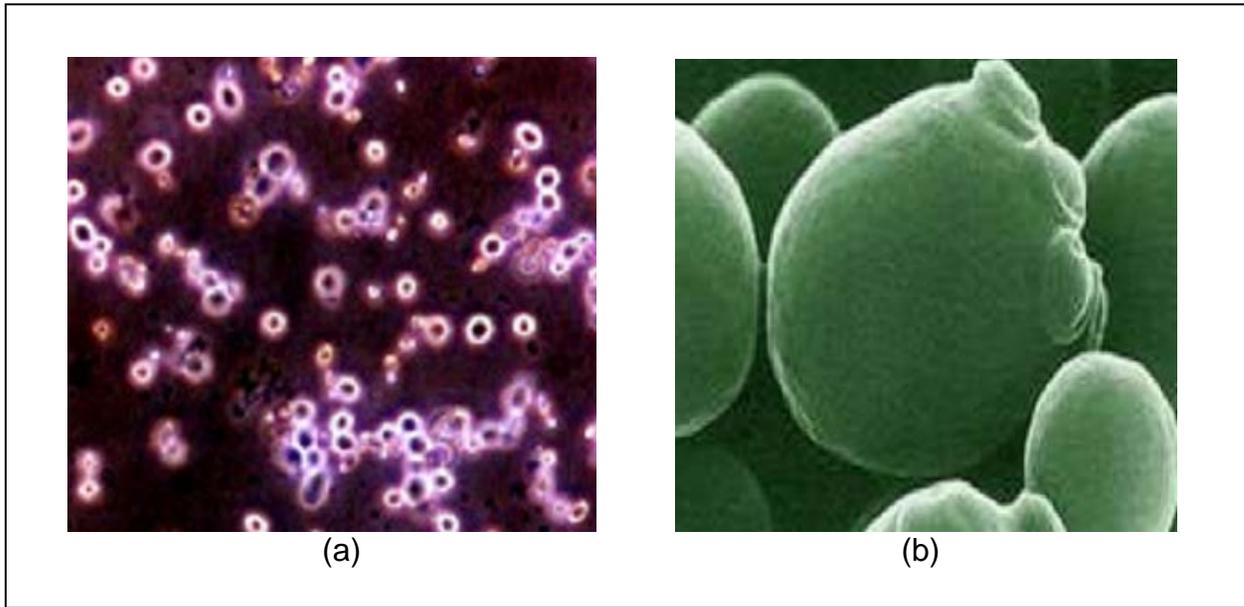


Figura 2.2. Levaduras que intervienen en el proceso de fermentación del mosto. En la imagen a) *Saccharomyces Cerevisiae* y b) *Saccharomyces Uvarum*.

Fuente: http://personales.ya.com/plantasnet//levadura_cerveza/levadura_cerveza.htm.

El objetivo de cultivar levaduras es aislar una única célula de una levadura o cepa que tiene las características deseadas para el estilo de cerveza que se desea producir, y reproducir esta célula en una cantidad suficiente de células adicionales para poder activar una nueva partida de cerveza. La levadura va perdiendo cualidades a medida que va siendo utilizada en distintas fermentaciones, por lo que al cabo de 3 o 4 fermentaciones se deja de usar en el proceso de fermentación y se envía a los secadores de nepe (Manual de Cervecería Polar, 2005).

2.2.3 Lodo

Una mezcla de materia orgánica, microorganismos, bacterias y protozoos con apariencia viscosa y espesa con contenido de agua, es considerada un lodo (Manual técnico del agua, 1973).

2.2.3.1 Caracterización de los lodos

Las principales características estimadas a los lodos efluentes del proceso de secado del nepe son las que se muestran a continuación, cuyos valores patrón se encuentran en la tabla 2.2.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** mide la capacidad de las bacterias para digerir la materia orgánica durante una incubación de 5 días a 20°C, mediante la disminución del contenido de oxígeno del agua. Su valor se expresa en ppm de O₂. (Tratamiento químico del agua, 1998).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte. Para las muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO, el carbono orgánico, o la materia orgánica (Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de la Cervecería Polar C.A., 2005). Mide la capacidad de una solución de ácido crómico caliente para oxidar la materia orgánica. Su valor se expresa como ppm de O₂ (Tratamiento químico del agua, 1998).
- **Total de sólidos suspendidos (TSS):** son materiales suspendidos o disueltos en aguas residuales. Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro.
- **Fósforo total:** se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfato condensado piro, meta y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. Se

presentan en solución, partículas o detritos, o en los cuerpos de organismos acuáticos.

- **Nitrógeno orgánico en aguas residuales:** las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación: nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas esas formas de nitrógeno al igual que el nitrógeno gaseoso (N_2) son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo de nitrógeno. (Tratamiento químico del agua, 1998)

TABLA 2.2
VALORES LÍMITES PERMISIBLES EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL LODO
PRODUCTO DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

| Variable | Nivel (< N ppm) |
|-----------|-----------------|
| DBO | 4500 |
| DQO | 6500 |
| TSS | 900 |
| NITRÓGENO | 60 |
| FÓSFORO | 40 |

Fuente: Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de la Cervecería Polar C.A., (2005).

2.2.4 Secado de sólidos

El secado de sólidos se refiere generalmente a la separación de un líquido de sólido por evaporación. Los métodos mecánicos para separar un líquido de un sólido no se consideran por lo común como una operación de secado, aunque a menudo preceden a una operación de esta naturaleza, ya que es menos costoso y muchas veces más fácil utilizar métodos mecánicos que térmicos (Perry, 2001).

La humedad retenida en un sólido es aquel líquido que ejerce una presión de vapor inferior a la del líquido puro, a una temperatura dada. El líquido puede quedar ocluido por retención en capilares diminutos, por solución en celdas o paredes fibrosas,

por solución homogénea a lo largo del sólido y por adsorción química o física en las superficies del sólido (Perry, 2001).

2.2.4.1 Clasificación de secadores

2.2.4.1.1 Secadores directos

Entre las características principales se encuentran: el contacto directo entre los gases calientes y los sólidos se aprovecha para calentar estos últimos y separar el vapor, las temperaturas de secado varían hasta 1000 K, que es la temperatura limitante para casi todos los metales estructurales de uso común, a temperaturas de gases inferiores al punto de ebullición, el contenido de vapor de un gas influyen en la velocidad de secado y el contenido final de humedad del sólido, para secados a temperaturas bajas y cuando las humedades atmosféricas son excesivamente elevadas quizás sea necesarios deshumidificar el aire de secado y un secador directo consume más combustible por libra de agua evaporada cuando más bajo sea el contenido final de humedad.

La eficacia de un secador directo mejora al aumentar la temperatura del gas de entrada para una temperatura de salida constante, pero debido a las grandes necesidades de gas que se necesitan para proporcionar todo el calor al secado, el equipo de recuperación del polvo puede ser muy grande y costoso cuando se trata de secar partículas más pequeñas (Perry, 2001).

2.2.4.1.2 Secadores rotatorios

Consiste en un cilindro que gira sobre cojinetes apropiado teniendo, por el común, una leve inclinación con relación a la horizontal, la longitud del cilindro varia de 4 a 10 veces su diámetro, que oscila entre menos de 0,3 hasta 3 m. Los sólidos que se introducen por un extremo del cilindro se desplazan a lo largo de el, debido a la rotación, el efecto de carga y la pendiente del cilindro, y se descargan por el otro extremo como producto acabado. Los gases que circulan por el cilindro pueden reducir

o aumentar la velocidad de movimiento de los sólidos, según que la circulación del gas sea a contracorriente o siga una corriente paralela con la circulación de los sólidos.

Los secadores rotatorios se clasifican como directos, indirectos-directos, indirectos y tipos especiales. Estos nombres se refieren al método de transmisión de calor que es directo cuando el calor se aplica o elimina de los sólidos por intercambio directo entre éstos y el gas circulante, e indirecto cuando el medio de calentamiento no tiene un contacto físico con los sólidos y se separa de ellos por medio de un tubo o pared metálica. Entre los tipos de secadores rotatorios más comunes se encuentran:

- **Secador rotatorio directo:** se trata por lo común de un cilindro ordinario con o sin paletas o aspas. Es apropiado para operaciones a temperaturas bajas o intermedias en donde la temperatura de operación está limitada primordialmente por las características de la resistencia del metal que se haya utilizado en la fabricación.
- **Horno rotatorio directo:** éste es un cilindro metálico revestido en el interior con bloques aislantes o ladrillos refractarios, y es apropiado para operaciones a temperaturas elevadas.
- **Secador indirecto de tubos de vapor:** se trata de un cilindro metálico simple, provisto de una a más hileras de tubos metálicos instalados longitudinalmente sobre la cubierta. Sirve para operaciones a temperaturas de vapor disponibles o para procesos en que los tubos se deben enfriar con agua.
- **Calcinadores rotatorios indirectos:** éste es un cilindro metálico simple rodeado, en el exterior, por un horno de encendido o calefacción eléctrica. Es adecuado para operaciones a temperaturas intermedias hasta el máximo que pueda tolerar la pared metálica del cilindro, que casi siempre es del orden de 650 a 700 K, en el caso de acero al carbono, y de 800 a 1025 K para acero inoxidable.

- **Secador indirecto de persianas giratorias:** éste es uno de los tipos especiales más importantes y difiere de la unidad rotatoria directa en que, en este caso, se suministra una verdadera circulación directa de gas a través del lecho de sólidos. Al igual que el rotatorio directo, este es apropiado para operaciones a temperaturas bajas e intermedias.

Campo de aplicación: los equipos rotatorios se aplican al procesamiento de sólidos tanto en discontinuo como en continuo, que tienen un flujo relativamente libre, siendo el producto que descargan granular. Los materiales que no poseen un flujo completamente libre bajo sus condiciones de alimentación se manejan de una manera especial, ya sea reciclando una porción del producto final y premezclándola con la alimentación en una mezcladora externa para obtener una alimentación granular uniforme para el proceso, o bien manteniendo un lecho de producto de flujo libre dentro del cilindro propiamente dicho.

Equipos auxiliares: en los equipos rotatorios de calor directo se necesita una cámara de combustión para temperaturas elevadas y serpentines de vapor con aletas para temperaturas bajas. Si se desea evitar la contaminación del producto con los gases de combustión en las unidades de calor directo, se pueden utilizar calentadores de aire indirecto que empleen gas o petróleo para alcanzar las temperaturas que excedan la de vapor disponible (Perry, 2001).

2.2.4.1.3 Secadores rotatorios de calor directo

Esta equipado normalmente con aspas en el interior para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de gas a su paso por el cilindro. Estas aspas se sitúan normalmente de manera alterna cada 0,6 a 2 m para asegurar una cortina de sólidos más continua y uniforme en el gas. La forma de las aspas depende de las características de manejo de los sólidos. En el caso de materiales de flujo o movimiento libre, se utiliza un aspa radial con un reborde de 90°. Cuando se trata de materiales pegajosos, se emplea un aspa radial plana (ver figura 2.4).

En la figura 2.3 se muestra una gráfica de clasificación más detallada de los equipos de secado basada en la transferencia de calor.

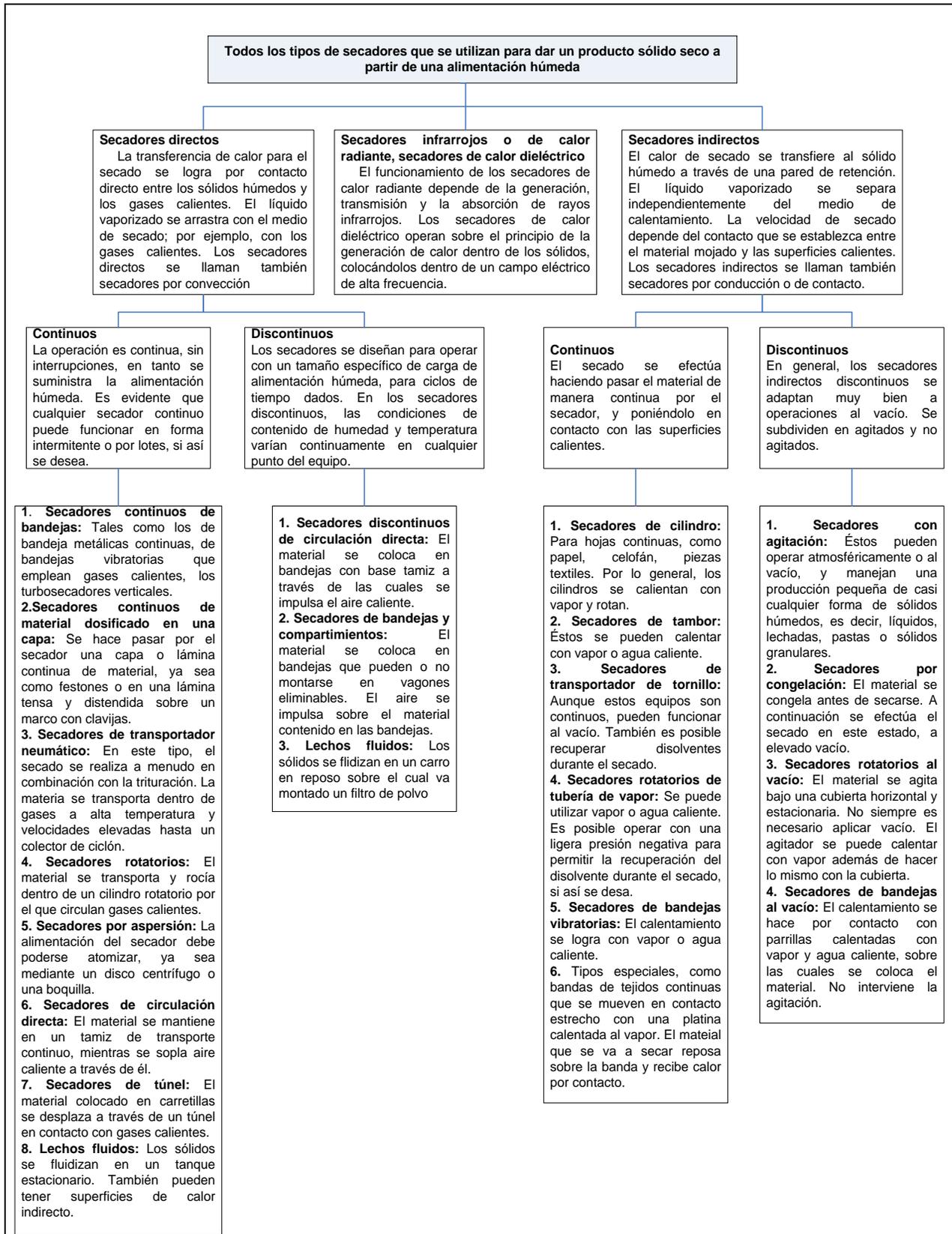


Figura 2.3. Clasificación de los secadores basada en el método de transferencia de calor.
Fuente: Perry, 2001.

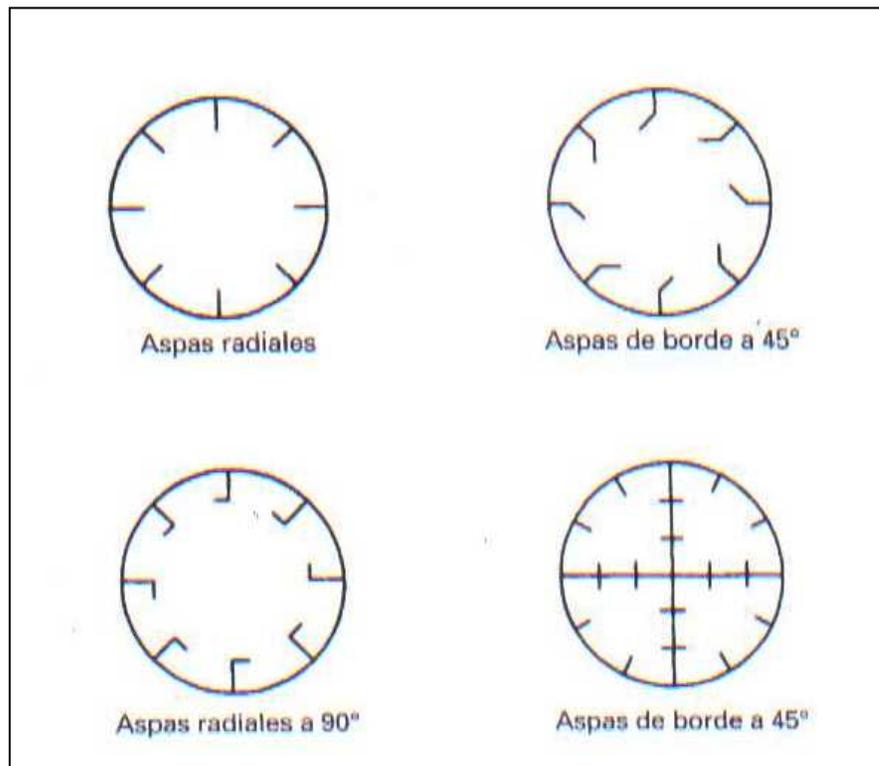


Figura 2.4. Secador rotatorio de calor directo, con diferentes configuraciones.
Fuente: Perry, 2001

2.2.5 Diseño de Experimento

En el campo de la industria es una práctica común hacer experimentos o pruebas con la intención de que al mover o hacer algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso se puedan detectar, resolver o minimizar los problemas de calidad. El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma eficaz de hacer pruebas en los procesos, ya que proporciona la técnica y la estrategia necesarias para llevar de manera eficaz los procesos a mejores condiciones de operación (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

En general, cuando se quiere mejorar un proceso existen dos maneras básicas de obtener la información necesaria para ello: una es observar o monitorear vía herramientas estadísticas, hasta obtener señales útiles que permitan mejorarlo; se puede decir que ésta es una estrategia pasiva. La otra manera es experimentar, es decir, hacer cambios estratégicos y deliberados al proceso para provocar dichas

señales útiles. Al analizar los resultados del experimento se tienen de manera inmediata las pautas a seguir, que muchas veces se concretan en mejoras sustanciales del proceso (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

El diseño de experimento consiste en planear un conjunto de pruebas experimentales, de tal manera que los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca del sistema o proceso. (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

El objetivo del experimento se ha utilizado como criterio general de clasificación de los diseños experimentales así como el número de factores a controlar, el número de niveles que se prueban en cada factor, los efectos que interesa investigar y el costo del experimento, tiempo y precisión deseada. En este sentido, los diseños se pueden clasificar como:

1. Diseños para comparar dos o más tratamientos.
2. Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s).
3. Diseño para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
4. Diseños para la optimización de una mezcla.
5. Diseños para hacer el producto insensible a factores no controlables.

2.2.5.1 Unidad experimental

Es la muestra de artículos que es necesario producir en una condición de operación del proceso para obtener, a partir de ellos, una medición o dato representativo de lo que allí ocurre (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.2 Variable de respuesta

Es la característica, variable de salida o propiedad del producto, cuyo valor interesa mejorar. Por lo general el valor de dicha característica determina algún aspecto de la calidad del producto (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.3 Factores controlables

Son variables del proceso o variables de entrada que se pueden fijar en un punto o un nivel de operación. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso, y se distinguen porque para cada uno de ellos existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.4 Factores no controlables o de ruido

Son variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso, como las variables ambientales (luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, etc), el ánimo de los operadores, la calidad del material que se recibe del proveedor (interno o externo) y los diversos usos que el cliente le pueda dar al producto (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.5 Factores estudiados

Son las variables que se investigan en el experimento, en cuanto a cómo influyen o afectan a la(s) variable(s) de respuesta. Los factores estudiados pueden ser factores controlables o no controlables, donde estos últimos fue posible y de interés controlarlos durante el experimento. Para que un factor pueda ser estudiado es necesario que durante el experimento se haya probado en al menos dos niveles o condiciones (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.6 Niveles y tratamientos

Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores se llama tratamiento o punto de diseño.

2.2.5.7 Diseño factorial

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas o características de calidad, es decir, lo que se busca es estudiar la relación entre los factores y la respuesta, con la finalidad de conocer mejor cómo es esta relación y generar conocimiento que permita tomar acciones y decisiones que mejoren el desempeño del proceso, por medio de la creación de una matriz (ver tabla 2.3). A nivel industrial se pueden utilizar para determinar una combinación de niveles de los factores en el cual el desempeño del proceso sea mejor que en las condiciones de operación actuales, es decir, encontrar nuevas condiciones de operación que eliminen o disminuyen cierto problema de calidad en la variable de salida. También puede definirse como el problema que muchas veces en la práctica se traduce a buscar centrar la media de la respuesta de interés en su valor objetivo y con variabilidad mínima (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

**TABLA 2.3
MATRIZ DE DISEÑO**

| Totales | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
|---------|---|---|---|----|----|----|-----|
| (1) | - | - | - | + | + | + | - |
| a | + | - | - | - | - | + | + |
| b | - | + | - | - | + | - | + |
| c | + | + | - | + | - | - | - |
| ab | - | - | + | + | - | - | + |
| ac | + | - | + | - | + | - | - |
| bc | - | + | + | - | - | + | - |
| abc | + | + | + | + | + | + | + |

Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2004)

2.2.5.8 Superficie de respuesta

Es la superficie que resulta de representar gráficamente el modelo ajustado. Esta describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región

experimental y permite encontrar condiciones de operación óptimas de un proceso para mejorar la calidad del producto (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.9 Mejor tratamiento

La metodología de la superficie de respuesta es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, que son aquellas que dan por resultado valores óptimos de una o de varias características de calidad del producto. En muchas ocasiones, el objetivo del proyecto es encontrar un mejor tratamiento donde la manera de proceder es completamente diferente. El mejor tratamiento es la mejor combinación de niveles de los factores, considerando los niveles utilizados durante el estudio experimental (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.5.10 Punto óptimo

Es la mejor combinación de valores de los factores estudiados, considerando toda la región de operabilidad. Es decir, el punto óptimo indica que es el mejor tratamiento posible en toda la región de operabilidad. Así, para determinar el punto óptimo se requiere de una mayor experimentación, una estrategia más completa que incluye la posibilidad de necesitar varios experimentos de forma secuencial y el uso de otras técnicas de análisis (Gutiérrez y De la Vara, 2004).

2.2.6 Análisis de factibilidad económica

Con objeto de evaluar la rentabilidad de los proyectos y procesos es necesario definir con precisión los diversos parámetros (Perry, 2001). La rentabilidad de un proyecto es una medida que permite conocer de una manera anticipada el resultado global de la operación de un proyecto desde un punto de vista económico. Por tal razón, es necesario conocer la totalidad de los flujos monetarios asociados, la duración del

proyecto y, por ende, el efecto de la tasa de interés o tasa mínima de rendimiento (Giugni, 2007). En resumen, la rentabilidad de un proyecto es una función de:

- Los costos e ingresos.
- La vida o período de estudio.
- La tasa mínima de rendimiento.

La rentabilidad se determina a través de un modelo que se denomina **Modelo de Rentabilidad o Base de comparación o Modelo de Evaluación**.

La ingeniería económica utiliza, para determinar la rentabilidad de los proyectos de inversión, los siguientes modelos:

- El valor actual
- El equivalente anual o Valor presente neto.
- La tasa interna de retorno.

2.2.6.1 Valor presente neto (VPN o VA)

Es el valor prometido para un negocio en un momento determinado en el tiempo, que se calcula a través de la sumatoria de los flujos de la caja que han sido descontados previamente a una tasa proporcional al riesgo de invertir recursos en la actividad evaluada. De acuerdo con este concepto deben definirse dos conceptos fundamentales: los flujos de caja y el costo de oportunidad del inversionista (Najul, 2006).

Los flujos de caja no son más que el saldo entre los ingresos y los egresos calculados en cada período de tiempo considerado por el analista. Se trata del dinero que entra o sale de la caja del negocio, cuyo saldo generalmente se presenta en un diagrama de tiempo (ver figura 2.5). Por otra parte el costo de oportunidad de los fondos invertidos viene a ser la tasa o rendimiento esperado por los proveedores de recursos, establecidas a través de las referencias que brinda el mercado financiero acerca del costo del dinero (Najul, 2006).

Según Giugni y colaboradores (2007), los criterios de rentabilidad son:

- Si $VA > 0$ Los ingresos del proyecto superan a los costos, incluyendo la tasa mínima de rendimiento, en una cantidad de dinero igual al equivalente anual. En este caso, el proyecto genera una ganancia superior a la mínima exigida.
- Si $VA = 0$ Los ingresos y los costos del proyecto, incluyendo la tasa mínima de rendimiento son iguales, y en consecuencia el proyecto genera un beneficio igual al mínimo exigido.
- Si $VA < 0$ Los ingresos del proyecto no son suficientes para cubrir los costos y la tasa mínima de rendimientos, por lo que el proyecto genera una pérdida igual al equivalente anual.

2.2.6.2 Tasa interna de retorno

Es la tasa de rentabilidad que promete el capital no recuperado en un proyecto de inversión, es decir, expresa el beneficio neto anual que se obtiene en relación con la inversión pendiente por recuperar al comienzo de cada año (Giugni, 2007). La consecuencia de esta definición es que la tasa interna de retorno corresponde a la tasa de descuento del valor presente igual a 0. Esta rentabilidad interna se obtiene de la relación matemática que permite calcular el mismo valor presente de una serie de flujos, solo que despejamos de ésta la tasa considerada por los factores de descuento (Najul, 2006).

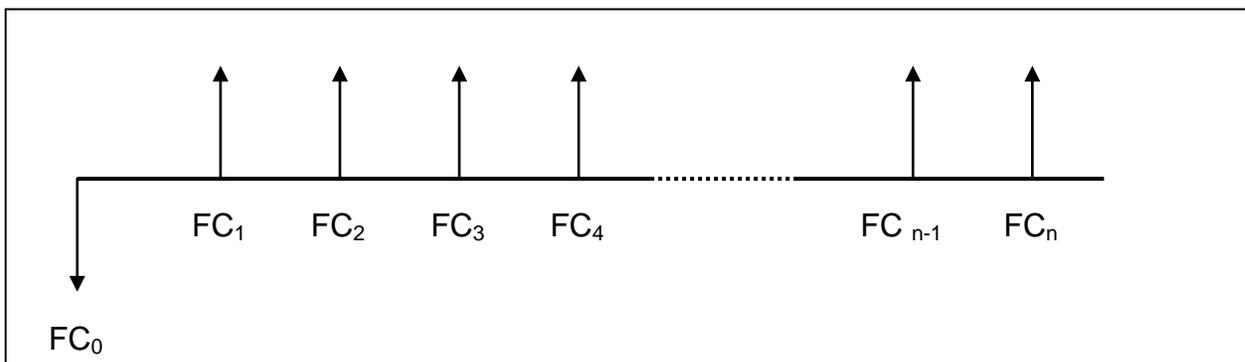


Figura 2.5. Diagrama tiempo – valor. Configuración básica de un proyecto de inversión.
Fuente: Najul, 2006.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología empleada para cumplir paso a paso cada uno de los objetivos de la investigación.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene como propósito optimizar el proceso de secado de nepe de la cervecería Polar planta san Joaquín, mediante la estrategia o diseño de la investigación de tipo experimental, ya que se manipularán variables a diferentes condiciones de operación, para finalmente obtener una combinación de variables que garantizarán las mejores condiciones de operación del proceso. Bavaresco (1992).

Debido a que se evaluarán y compararán las condiciones antes y después de implementar las estrategias de mejoras generadas, se considera que la investigación tiene un alcance evaluativo, esto de acuerdo al cumplimiento de los objetivos planteados. Bavaresco (1992).

Para el desarrollo de la investigación se plantean las siguientes fases:

- Evaluación del proceso en campo.
- Evaluación de las variables que participan en el proceso de secado del nepe.
- Ejecución de un diseño experimental.
- Evaluar las mejores condiciones de operación del proceso.
- Evaluar los costos que se generan al implementar las herramientas usadas.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS QUE INTEGRAN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE.

Para comprender los sistemas que integran el proceso de secado del nepe, se procedió a realizar una inspección del área que ocupa, así como entrevistas con el personal involucrado en el proceso, por medio de una serie de herramientas las cuales se explican a continuación:

3.2.1 Comprensión detallada del proceso de secado de nepe.

3.2.1.1 Inspección del área

Mediante la inspección del área, se buscó la familiarización con el secado del nepe, a fin de identificar los equipos tanto del proceso en si como de medición, y la materia prima involucrada y su transporte, además posibles factores que puedan presentar fallas operacionales en el área. La herramienta utilizada para ello se muestra en la figura 3.1.

| <p style="text-align: center;">TABLA_ CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LAS SECADORAS DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE Y MEDIDORES INSTALADOS PARA FACILITAR LA LECTURAS DE LAS MISMAS</p> | | | | | | | |
|---|-------------------------|---|--|------------------------|---------------------|---------|---------------|
| Equipo | Material que transporta | Condiciones de operación | | | | Medidor | Observaciones |
| | | Porcentaje de frecuencia de velocidad (V ± 0,1) % | Temperatura de operación (T ± 0,01) °C | Presión (P ± 0,01) bar | Humedad (H ± 0,1) % | | |
| | | | | | | | |

Figura 3.1. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para establecer las condiciones de operación de los equipos involucrados en el proceso de secado del nepe.

3.2.1.2 Entrevistas con el personal involucrado en el proceso.

En esta fase se mantuvieron conversaciones con todo el personal que labora día a día en la planta, tales como: operadores, supervisores, analistas de calidad, superintendente del área, buscando con esto profundizar en el proceso, compartir vivencias y experiencias sucedidas en el área, así como también recopilar información de fallas o eventos ocurridos en el proceso. En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran las herramientas empleadas para ello.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

EMPRESA POLAR C.A

ENTREVISTA N° 1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

1. Equipos que conforman el proceso de secado del nepe y función de cada uno de ellos:

2. Materia prima involucrada en el proceso de secado y como interfieren el proceso:

3. Medidores, controladores y automatización, instalados en el proceso:

4. Cantidad de operadores que laboran en el proceso y funciones manuales que realizan:

5. ¿La cantidad de operadores son suficientes para cubrir la faena diaria?

Figura 3.2 Modelo de entrevista realizada para conocer los componentes que conforman el proceso de secado del nepe.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERIA

EMPRESA POLAR C.A

ENTREVISTA N° 2



RECONOCIMIENTO DE FALLAS OPERACIONALES EN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

1. Fallas a nivel de operadores ocurridas:

2. Fallas en los equipos:

Tuberías de transporte y alimentación: _____

Tolva de alimentación: _____

Tornillos sin fin: _____

Mezclador de alta revolución _____

Secadora: _____

Válvulas reguladoras: _____

Scrubber: _____

Silos de nepe húmedo: _____

Silos de nepe seco: _____

Tanque de levadura: _____

Medidores: _____

Otros sistemas: _____

3. Ausencia de equipos o equipos fuera de funcionamiento:

4. Falta de recursos como materia prima, servicios de mantenimiento, entre otros:

Figura 3.3 Modelo de entrevista para reconocer fallas operacionales en el proceso de secado del nepe.

3.2.1.3 Elaboración del diagrama de flujo del proceso de secado del nepe

Al conocer las etapas involucradas y ubicación de los equipos instalados, se realizó el diagrama de flujo del proceso mostrado en la figura 4.6, el cual permite visualizar e identificar de forma sencilla el sentido de los fluidos y los equipos.

3.2.1.4 Revisión de las especificaciones de los equipos

Tomando como referencia el diagrama de flujo del proceso (ver figura 4.6), se recopilaron las hojas técnicas de los equipos principales que lo conforman, con la finalidad de identificar la capacidad de diseño y los medidores instalados. Luego se realizó una comparación con lo instalado en la planta. Para realizar la inspección de las dimensiones de los equipos instalados se utilizó una cinta métrica de precisión 0,5 cm. Los datos de la inspección y de las fichas técnicas se reportaron en la tabla que se visualiza en la figura 3.4.

| TABLA_ | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|---------------|
| ESPECIFICACIONES DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LOS EQUIPOS REPORTADAS EN LAS FICHAS TÉCNICAS DE LA EMPRESA Y LAS FORMULADAS EN LA INSPECCIÓN REALIZADA EN PLANTA | | | | | | | | | |
| Equipo | Altura ($h \pm 0,5$) cm | | Largo ($L \pm 0,5$) cm | | Ancho ($A \pm 0,5$) cm | | Diámetro ($D \pm 0,5$) cm | | Observaciones |
| | F.T | I.P | F.T | I.P | F.T | I.P | F.T | I.P | |
| | | | | | | | | | |

F.T: Ficha técnica
I.P: Inspección realizada en planta

Figura 3.4. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado en la comparación de las especificaciones de capacidad de producción de los equipos reportadas en las fichas técnicas con las inspeccionadas en la planta.

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SALIDA DEL NEPE DEL PROCESO DE SECADO

3.3.1 Medición de la humedad del nepe al finalizar el proceso de secado.

La humedad del nepe se determinó mediante el secado de la muestra en un horno (estufa) (véase figura 3.5), técnica tradicional para la determinación de la humedad en sólidos, establecida por Glaria (2000) y señalada por el Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de empresas Polar C.A (2007).

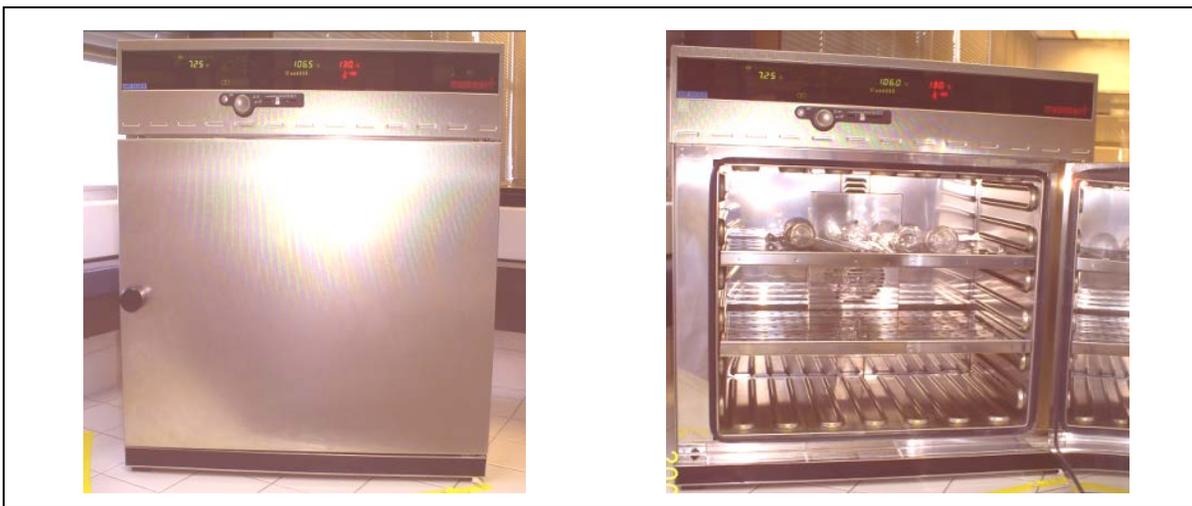


Figura 3.5. Estufa empleada para determinar la humedad del nepe.

3.3.1.1 Procedimiento

El procedimiento inicia pesando una cápsula o crisol con su tapa en una balanza analítica y tarar, luego se pesan $(4,0000 \pm 0,0001)$ g de nepe en dicho crisol. A continuación se verifica la temperatura de la estufa en un rango entre $(105 - 107)$ °C, para calentar la cápsula sin tapa en el horno cerrado por un tiempo de 3 horas a temperatura constante aproximadamente 105 °C. Una vez transcurrido el tiempo se procede a tapar el crisol, retirarlo de la estufa y dejarlo enfriar en un desecador durante 20 minutos, para finalmente pesarlo. En la figura 3.6 se muestra la tabla en la que fueron recolectados los valores de humedad del nepe.

Al transportar la muestra es vital mantener la cápsula cerrada para garantizar su hermetismo y evitar que absorba humedad del ambiente (Glaria, 2000) e (Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de empresas Polar C.A, 2007). Es importante destacar que la técnica es una medición lenta pero precisa.

La determinación de la humedad del nepe viene representada por los siguientes modelos matemáticos de acuerdo con Glaria (2000):

$$P_S = P_{MS+CT} - P_{CT} \tag{3.1}$$

$$\%H_N = \frac{(P_M - P_S) \times 100}{P_M} \tag{3.2}$$

Donde:

P_{MS+CT} : Peso de la muestra después de secar + Peso del crisol con tapa, (g)

P_{CT} : Peso del crisol con tapa, (g)

$\%H_N$: Porcentaje de humedad del nepe, (%)

P_M : Peso de la muestra antes de secar, (g)

P_S : Peso de la muestra después de secar, (g)

100: Factor porcentual, (adim)

| <p style="text-align: center;">TABLA _ VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL NEPE A SALIDA DEL PROCESO DE SECADO POR EL MÉTODO TRADICIONAL</p> | | | |
|--|---|--|---|
| Muestra | Peso de la capsula vacía con tapa ($P_{CT} \pm 0,0001$)g | Peso de muestra inicial ($P_M \pm 0,0001$)g | Peso de la capsula más muestra después de calentar ($P_{MS+CT} \pm 0,0001$)g |
| | | | |

Figura 3.6. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación de la humedad del nepe a la salida del proceso de secado.

3.3.2 Verificación del cumplimiento de las especificaciones de calidad de la empresa en las condiciones de humedad del nepe

La Cervecería Polar C.A establece entre sus normativas de calidad (véase apéndice C figura C.1), que el nepe debe poseer un rango de humedad entre (5 – 8)% para suministrarlo al cliente. Una vez recopilados los valores de humedad del nepe en la salida de las secadoras, se realizó el análisis de las muestras por medio de la ecuación (3.3) de acuerdo con Gutiérrez (2004), la cual permite comparar los resultados con el rango establecido por la normativa.

$$\% DE = \frac{|H_{Nn} - H_{NE}|}{H_{Nn}} * 100 \quad (3.3)$$

Donde:

%DE: Porcentaje de desviación estándar, (%)

$\overline{H_{Nn}}$: Humedad del nepe promedio establecido por la norma al finalizar el proceso de secado, (adim)

H_{NE} : Humedad del nepe determinada de forma experimental a la salida del proceso de secado, (adim)

3.3.3 Determinación del flujo másico de nepe seco

En esta fase se determinó el flujo másico de nepe al finalizar el proceso de secado mediante balances de masa realizados en el sistema que lo conforman (véase figura 3.7), para esto se verifico los flujos conocidos o que se puedan determinar de forma experimental involucrados en el balance, los pasos a seguir para determinar dichos flujos se explicaran a continuación de los balances de masa efectuados.

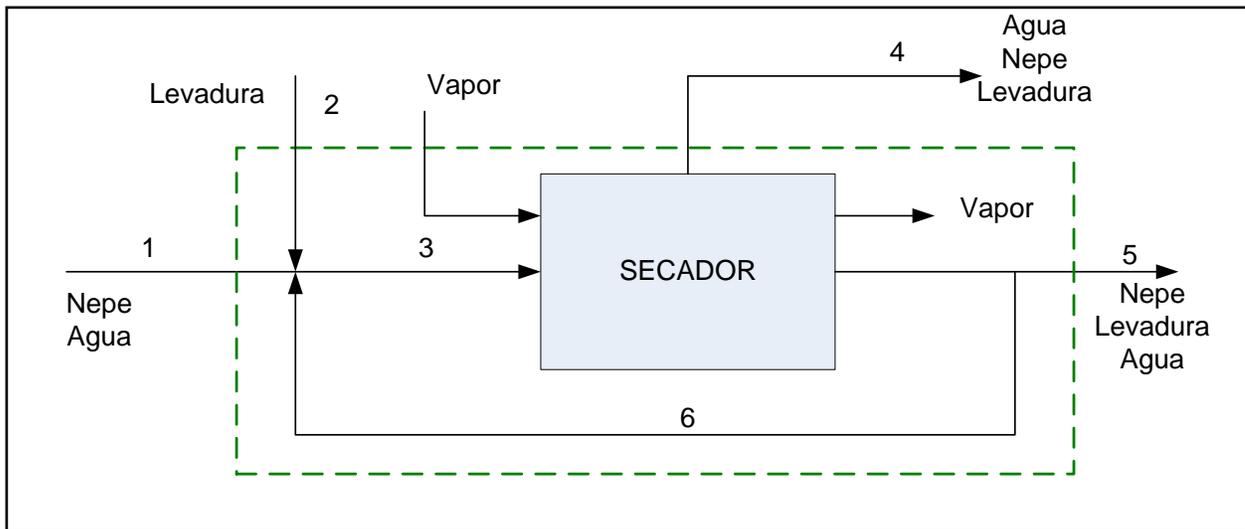


Figura 3.7 Diagrama de bloque del proceso de secado del nepe.

Balance de masa:

Consideraciones:

- En la corriente 4 el flujo de nepe y levadura es despreciable.
- El vapor no está en contacto con la mezcla en el proceso de secado, solo actúa como agente térmico.
- nepe:1, Agua:2 y levadura :3

Balance global, según Himmelblau (1995):

$$m_1 + m_2 = m_4 + m_5 \tag{3.4}$$

Donde:

$m_{(1,2,3...n)}$ = flujo másico en cada una de las corrientes del volumen de control (kg/h)

Balance por componente en agua, según Himmelblau (1995):

$$X_{21} * m_1 = X_{24} * m_4 + X_{25} * m_5 \tag{3.5}$$

$X_{(1,2,3...n)}$ = fracción másica (adim)

3.3.3.1 Medición del flujo másico de la alimentación de nepe al proceso de secado

Para cuantificar el flujo másico de alimentación de nepe húmedo al sistema se utilizó como herramienta la siguiente ecuación según Himmelblau (1995):

$$F_{NH} = \frac{V \times \rho}{t} \times fc_1 \quad (3.6)$$

Donde:

F_{NH} : Flujo másico de alimentación de nepe, (Kg./h)

V: Volumen que ocupa el nepe en la tolva de alimentación, (mL)

ρ : Densidad del nepe de alimentación, (g/mL)

t: Tiempo de vaciado de la tolva de alimentación, (s)

fc_1 : Factor de conversión de unidades de g/s a Kg./h, (3,6g.Kg/s.h)

3.3.3.1.1 Medición de la capacidad de almacenamiento de las tolvas de alimentación de nepe húmedo

Usando los datos reportados en la tabla mostrada por la figura 3.4 y manuales de la empresa (véase Apéndice C figuras C.1 y C.2), se determina el volumen de almacenamiento de la tolva de alimentación empleando las siguientes ecuaciones según Navarro (1999), de acuerdo a la forma geométrica que presentan las tolvas de cada secadora:

$$Vr = b \times h \times P \quad (3.7)$$

Donde:

Vr: Volumen de un rectángulo, (cm³)

b: Base del rectángulo, (cm)

h: Altura del rectángulo, (cm)

P: Profundidad del rectángulo, (cm)

$$V_t = \frac{(AB + AB' + \sqrt{AB} \times \sqrt{AB'})}{3} \times h' \quad (3.8)$$

Donde:

Vt: Volumen de un tronco de pirámide, (cm³)

AB: Área de la base inferior, (cm²)

AB': Área de la base superior, (cm²)

h': Altura de la pirámide truncada, (cm)

3.3.3.1.2 Medición del tiempo de vaciado de la tolva

Se midió el tiempo de vaciado considerando como altura de referencia aquella tomada en la determinación del volumen de material que contiene la tolva, el tiempo se contabilizó con un cronometro hasta observar (con ayuda de una linterna) a través de una tapa ubicada en la parte superior de la tolva (véase figura 3.8) que la misma se encontraba vacía. Los tiempos se reportaron en la tabla mostrada en la figura 3.9, y se tomaron por triplicado.



Figura 3.8. Tolvas de nepe húmedo. La vista (a) proporciona una imagen de la tolva completa, mientras que la (b) representa un acercamiento a la tapa de la tolva.

Para contabilizar el tiempo en segundos se considero la siguiente ecuación:

$$t = t_1 + t_2 \times 60 + t_3 \times 3600 \quad (3.9)$$

Donde:

t: Tiempo de vaciado de la tolva, (s)

t1: Parte en segundos del tiempo de vaciado, (s)

t2: Parte en minutos del tiempos de vaciado, (min)

t3: Parte en horas del tiempo de vaciado, (h)

60: Factor de conversión de minutos a segundos, (adim)

3600: Factor de conversión de horas a segundos, (adim)

| TABLA _ | |
|--|---------------------|
| TIEMPOS DE VACIADO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN | |
| Equipo | Tiempo (t ± 0,01) s |
| | |
| | |

Figura 3.9. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para reportar los tiempos de vaciado de la tolva de alimentación.

3.3.3.1.3 Medición de la densidad del material de alimentación al proceso de secado

Para llevar a cabo este propósito, se pesó en una balanza de precisión 0,01g un cilindro graduado de 2000mL, se taró y luego se vertió el material a analizar hasta un volumen de 1000mL visualizado en el rotulado del cilindro graduado (ver figura 3.10). Para garantizar un valor preciso, se compacta al material dentro del cilindro con ayuda de una espátula para minimizar espacios de aire que puedan quedar dentro del instrumento. Finalmente se procede a pesar el cilindro con la muestra en la balanza, y empleando la ecuación 3.10 de acuerdo a Smith (2003), se determinó la densidad de la muestra. Este procedimiento se efectuó por triplicado y la data se reportó en la tabla que se visualiza en la figura 3.11, según Gutiérrez (2004).

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{3.10}$$

Donde:

ρ : Densidad de la muestra, (g/mL)

M: Masa de la muestra, (g)

V: Volumen que ocupa la muestra pesada, (mL)

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3} \tag{3.11}$$

Donde:

$\bar{\rho}$: Densidad promedio de la muestra, (g/mL)

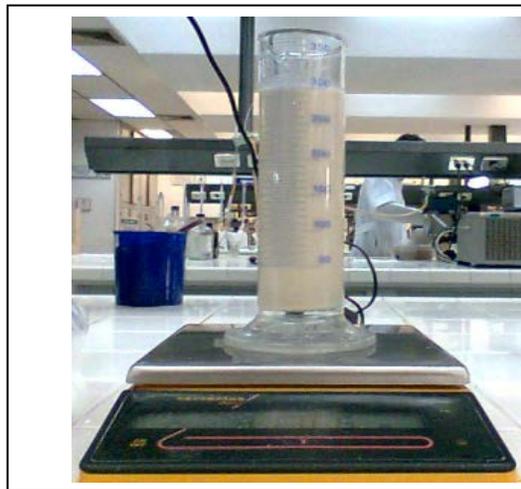


Figura 3.10. Representación de la medición de densidad de la levadura o del nepe.

| TABLA _ | | |
|---|--|---|
| VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS A ANALIZAR EN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE | | |
| Muestra | Volumen de muestra a analizar ($V_m \pm$) mL | Masa de la muestra ($M_m \pm 0,01$) g |
| | | |
| | | |

Figura 3.11. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación de la densidad de las muestras a analizar.

3.3.3.2 Medición del flujo másico de alimentación de levadura al proceso de secado.

Se trabajó con la levadura autolizada (término que se refiere a la inactivación del microorganismo de la levadura por medio de calentamiento), remanente del proceso de elaboración de cerveza. Para regular el flujo de ésta en el proceso se ajusta la válvula de tornillo (véase figura 3.12). El flujo que se deseado, se contabiliza por medio de la tobimetría.

La técnica tobimetría consiste en contabilizar el tiempo de llenado de un tobo o recipiente colector hasta un volumen de 19,5 L que se visualiza en una marca establecida en el recipiente, dicho volumen se cuantificó previo al ensayo con un cilindro de 2 L, de acuerdo a Himmelblau (1995).

$$F_L = \frac{V_L \times \rho_L}{t_L} \times fc_1 \quad (3.12)$$

Donde:

F_L : Flujo másico de levadura, (kg/h)

V_L : Volumen de llenado, (mL)

ρ_L : Densidad de la muestra, (g/mL)

t_L : Tiempo de llenado, (s)



Figura 3.12. Válvula de tornillo por medio de la cual se regula el flujo de levadura.

3.3.3.2.1 Medición de la densidad de la levadura que se le alimenta al proceso de secado.

La levadura remanente del proceso de elaboración de Cerveza es muy viscosa, por lo que para determinar la densidad de la muestra se utilizó la misma metodología planteada para determinar la densidad del nepe de alimentación al sistema, utilizando como instrumento un cilindro graduado de 350 mL para medir un volumen fijo de 300 mL. Este procedimiento se efectuó por triplicado y la data se reportó en la tabla que se visualiza en la figura 3.11.

3.3.3.3 Medición del flujo másico de la recirculación de material en el proceso de secado.

Para cuantificar el flujo másico de la recirculación de nepe al sistema se utilizó como herramienta la siguiente ecuación según Himmelblau (2000):

$$F_{NR} = \frac{M_R}{t_R} \times fc_1 \quad (3.13)$$

Donde:

F_{NR} : Flujo másico de la recirculación de nepe, (kg/h)

M_R : Masa de nepe establecida como referencia, (1 kg)

t : Tiempo de traslado de 1 kg de nepe en la recirculación en las referencias establecidas, (s)

3.3.3.3.1 Medición de la densidad del nepe que recircula en el proceso de secado.

Para medir la densidad de la muestra se utilizó la misma metodología planteada para determinar la densidad del nepe de alimentación al sistema, utilizando como instrumento un cilindro graduado de 350 mL para medir un volumen fijo de 150 mL. Este

procedimiento se efectuó por triplicado y la data se reportó en la tabla que se visualiza en la figura 3.11.

3.3.3.3.2 Determinación del volumen que ocupa el nepe en el ducto de recirculación del proceso de secado.

Por medio de datos reportados en la tabla mostrada por la figura 3.4, se determina el volumen que ocupa el nepe en el ducto de recirculación (véase figura 3.13), empleando la siguiente ecuación de acuerdo a la forma geométrica que presenta el ducto, según Navarro (1999).

$$V_D = \pi \times a \times b \times L \quad (3.14)$$

Donde:

V_D : Volumen que ocupa el nepe en el ducto de recirculación, (cm^3)

a: Radio del ancho del ducto, (cm)

b: Radio del alto del ducto, (cm)

L: Largo del ducto tomado como referencia, (cm)



Figura 3.13. Ducto de recirculación del proceso de secado.

3.3.3.3.3 Medición del tiempo de traslado del nepe en la recirculación del proceso de secado.

Para contabilizar el tiempo de traslado del nepe en el ducto de recirculación se fijó una referencia delimitada por el volumen del ducto. Con éste parámetro y la densidad del material, a esas condiciones, se conoció la masa de nepe en el ducto según la ecuación 3.10. Luego se utilizó como patron 1 kg de nepe y con la ecuación 3.15 se determinó el tamaño que ocupa el kilo de material en el ducto para crear un patrón de cartulina que simulara al nepe en la recirculación. Posteriormente, con la herramienta creada se contabilizó el tiempo transcurrido por la cartulina desde el inicio del ducto hasta el final de la referencia (Largo). Los tiempos se reportaron en la tabla mostrada en la figura 3.14, y se tomaron por triplicado.

| TABLA _ | |
|---|---------------------|
| TIEMPOS TRASLADO DE MATERIAL EN EL DUCTO DE RECIRCULACIÓN | |
| Equipo | Tiempo (t ± 0,01) s |
| | |

Figura 3.14. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para reportar los tiempos de vaciado de la tolva de alimentación y traslado de material en el ducto de recirculación instalado en el sistema.

$$T = \frac{c \times L}{M_d} \tag{3.15}$$

Donde:

T: Tamaño del patrón, (cm)

c: Masa del patrón, (1 kg)

M_d: Masa de la muestra ocupada en el ducto, (kg)

3.3.4 Caracterización de los lodos de descarga del Scrubber instalado en el proceso de secado.

3.3.4.1 Medición de la demanda química de oxígeno (DQO) total

La demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica en los lodos que emite el Scrubber, susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte. La metodología empleada para la determinación de este parámetro fue la enunciada en el Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de empresas Polar C.A (2007).

3.3.4.1.1 Reactivos

Los reactivos involucrados en la prueba fueron: una solución de digestión de Dicromato de potasio 0,25 M, solución de ácido sulfúrico concentrado (95-97 % p/v), Sulfato de plata (Ag_2SO_4) sólido, solución indicadora de ferroína y una solución de Sulfato de amonio ferroso (SAF) 0,1 M.

3.3.4.1.2 Selección de Cantidades de muestra y reactivos

La selección se realizó en función de la disponibilidad de los vasos o tubos de digestión, se dispuso de tubos de digestión de tamaño 25x150 mm, y empleando la tabla 3.1 se seleccionaron las cantidades de muestra y reactivos a utilizar.

**TABLA 3.1
CANTIDADES DE MUESTRA Y REACTIVOS PARA VARIOS VASOS DE DIGESTIÓN**

| Tubo de cultivo | Muestra (mL) | Solución de digestión (mL) | Reactivo Ácido sulfúrico (mL) | Volumen total final (mL) |
|-----------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 16 x 100 mm | 2,5 | 1,5 | 3,5 | 7,5 |
| 20 x 150 mm | 5,0 | 3,0 | 7,0 | 15,0 |
| 25 x150 mm | 10,0 | 5,0 | 15,0 | 30,0 |

3.3.4.1.3 Procedimiento

Inicialmente se realiza una dilución de la muestra colocando 1 mL de ésta y 9 mL de agua destilada en un tubo de digestión 25x150 mm para ser un total de 10 mL según lo establecido por la tabla 3.1. Luego, se le agrega una pizca (aproximadamente 0,2 g) de Sulfato de plata (Ag_2SO_4) sólido y 5 mL de solución de digestión de Dicromato de potasio 0,25 M. A continuación, con cuidado y en la campana extractora se vierten 15 mL de ácido sulfúrico concentrado (95-97 % p/v) en el vaso, agitándose para disolver el Ag_2SO_4 . Finalmente se adicionan 3 perlas de ebullición en el tubo digestor, se termina el montaje del equipo (véase figura 3.15), y se colocan en un horno precalentado a 150 °C sometiéndose a reflujo durante 2 horas.

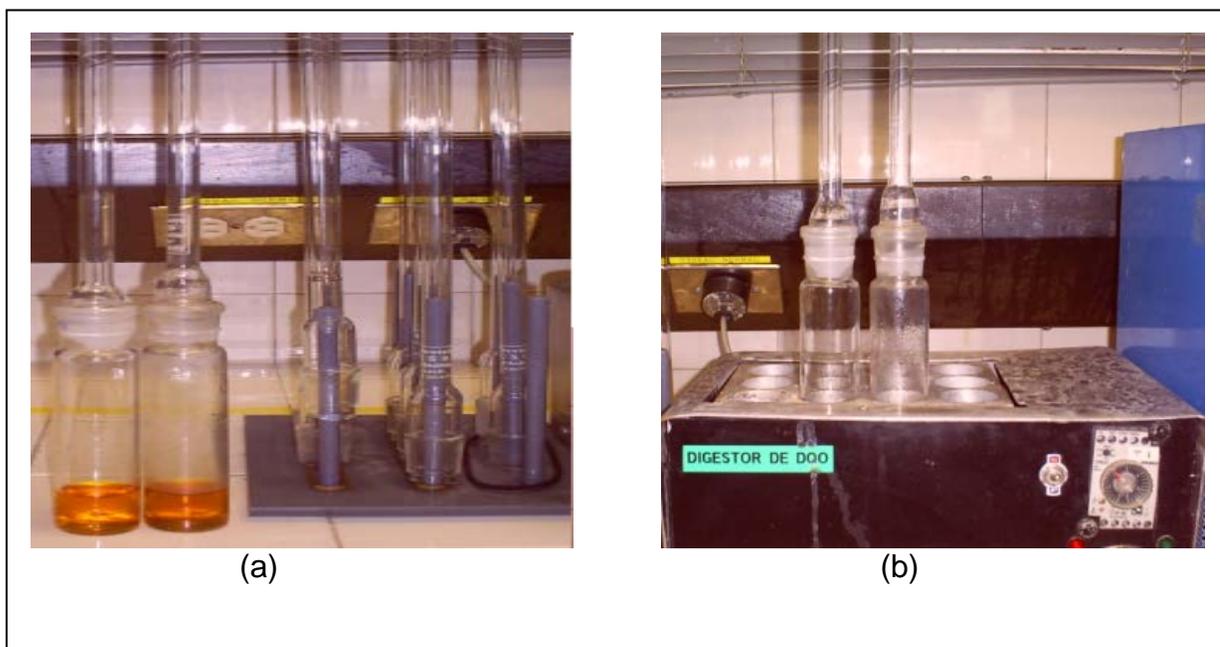


Figura 3.15. Equipo de digestión de DQO. La vista (a) refleja los tubos digestores, mientras que la (b) es la plancha.

Transcurrido el tiempo se apaga el horno y se dejan enfriar los tubos a temperatura ambiente, colocándolos en la rejilla de tubos digestores. Una vez temporizados los tubos se le agregan 40 mL de agua destilada y 3 ó 4 gotas de una solución indicadora de ferroína. Finalmente se titula con una solución de Sulfato de amonio ferroso (SAF) 0,1 M. El punto final es un marcado cambio de color de azul

verdoso a marrón rojizo. De la misma forma, se sometió a refluo un blanco que contenía los reactivos y un volumen de agua destilada igual al de la muestra. Los volúmenes gastados en la titulación con SAF se reportaron en la tabla observada en la figura 3.16.

| TABLA _ | |
|--|---|
| VOLUMENES DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE AMONIO FERROSO GASTADOS EN LA TITULACIÓN INVOLUCRADA EN LA PRUEBA | |
| Muestra | Volumen de sulfato de amonio ferroso ($V_{SAF} \pm 0,1$) mL |
| | |

Figura 3.16. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación del DQO en las muestras

3.3.4.1.4 Cálculo

Para la determinación del DQO en la muestra se utilizó la siguiente ecuación como herramienta de cálculo de acuerdo a Moore (1951):

$$DQO = \frac{(V_A - V_B) \times [R] \times 8000}{V_M} \quad (3.16)$$

Donde:

V_A : Volumen de SAF utilizados en la titulación para el blanco, (mL)

V_B : Volumen de SAF utilizados en la titulación para la muestra, (mL)

[R]: Concentración del SAF, (mol/L)

V_M : Volumen de muestra utilizado, (mL)

3.3.4.2 Medición de Fósforo total

El análisis del fósforo incluye dos pasos generales:

- conversión de la forma fosforada en ortofosfato disuelto
- determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto

El método de digestión del ácido sulfúrico se recomienda para la mayoría de las muestras, ésta fue la metodología empleada, establecida en el Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de empresas Polar C.A (2007).

3.3.4.2.1 Reactivos

Para la realización de la prueba se utilizaron los siguientes reactivos: una solución de Ácido sulfúrico 1 N, Persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) sólido, solución acuosa de indicador de Fenolftaleína, solución de Hidróxido de sodio 1 N, solución de Molibdato amónico y una solución de Cloruro estañoso,

3.3.4.2.2 Procedimiento

Inicialmente se realizó una dilución de la muestra colocando 10 mL de ésta y 50 mL de agua destilada en una fiola de 250 mL. Luego, se agregaron aproximadamente 0,5 g con una espátula de Persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) sólido y 15 mL de Ácido sulfúrico 1 N. A continuación, se coloca en una plancha precalentada a digestión hasta evaporarse 50 mL aproximadamente. Una vez evaporado los 50 mL, se deja enfriar a temperatura ambiente. Ya fría la fiola se añadió 3 gotas de solución indicadora de fenolftaleína y se neutralizó hasta color rosa pálido con la solución de hidróxido de sodio 1 N, Inmediatamente se tituló la solución con ácido sulfúrico 1 N hasta decolorarse la solución.

Al neutralizar la solución, se procedió a traspasarla a un balón aforado de 250 mL, realizándole un lavado con agua destilada a la fiola para verterlo también al balón. Luego, se agregaron 4 mL de una solución de Molibdato de amonio dejando reposar la muestra por 2 minutos para añadirle 10 gotas de la solución de cloruro estañoso, reposándola por 10 minutos para atenuar la coloración azul. Una vez transcurrido los 10 minutos de haber agregado el cloruro estañoso se procedió a medir por

espectrofotometría UV - Visible la concentración en fósforo totales de la muestra contra un blanco preparado con la misma receta de reactivos y 100 mL de agua destilada.

3.3.4.2.3 Cálculo

Una vez determinada la concentración en fósforo por espectrofotometría UV - Visible, se procedió a utilizar la siguiente ecuación para contrarrestar la dilución efectuada al inicio de acuerdo a Moore (1951):

$$[P] = [P]_e \times 10 \quad (3.17)$$

Donde:

[P]: Concentración en fósforo de la muestra, (mg/L)

[P]_e: Concentración en fósforo de la muestra dada por el espectrofotometro, (mg/L)

10: Factor de dilución de 10 mL de muestra en 100 mL de solución, (adim)

3.3.4.3 Medición de Sólidos suspendidos totales

Los sólidos totales incluyen los "sólidos totales suspendidos", o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los "sólidos disueltos totales" o porción que atraviesa el filtro. Para la determinación de este parámetro se utilizó la metodología establecida en el Instructivo de inspección, medición y/o ensayo de empresas Polar C.A (2007).

3.3.4.3.1 Procedimiento

Inicialmente en una balanza analítica se pesa un papel de de filtro pre-secado en una estufa, para ser insertado con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado (véase montaje en la figura 3.17). Luego, agregar 5 mL de la muestra en el aparato seguido de 95 mL de agua destilada, a continuación hacer vacío y realizar la succión hasta eliminar todo vestigio de agua. Se procede a desechar el agua de lavado que quedo almacenada en el quipo y a trasladar el papel de filtro a una capsula de aluminio

o acero inoxidable para ser secada en un horno a una temperatura aproximadamente (103-105) °C durante una hora.

Una vez transcurrido el tiempo se procedió a enfriar la muestra en un desecador para equilibrar la temperatura durante 20 min. Luego, se pesó el papel de filtro en una balanza analítica de precisión 0,0001g. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Los pesos nombrados en la metodología se reportaron en la tabla que se visualiza en la figura 3.18.

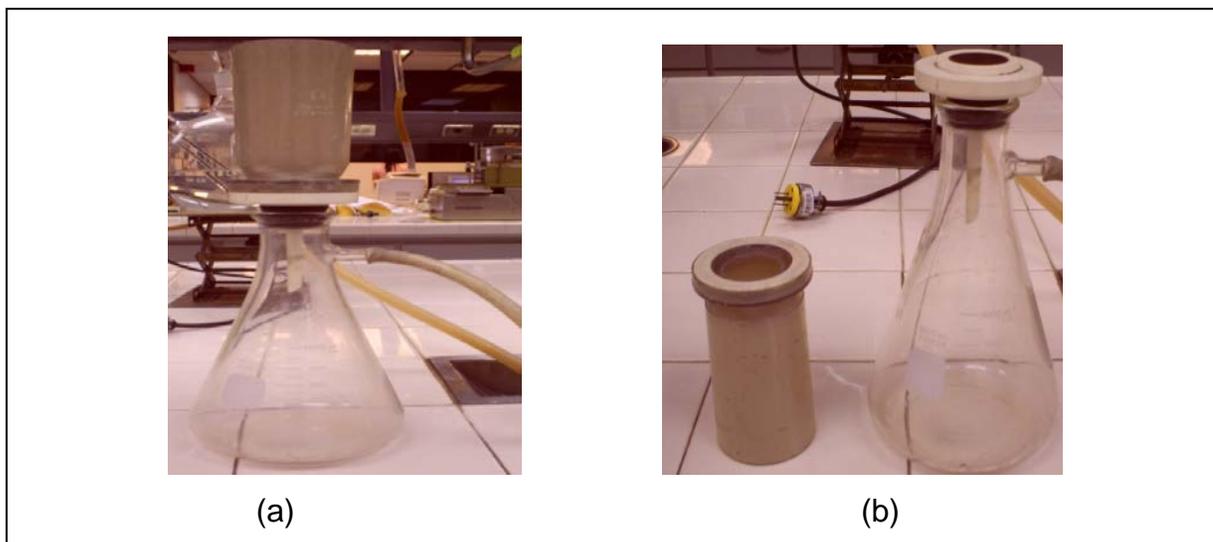


Figura 3.17. Proceso de filtración para determinar los sólidos suspendidos totales. La vista (a) muestra el montaje del equipo de filtrado y en la (b) el espacio donde va el papel de filtro.

| <p style="text-align: center;">TABLA _</p> <p style="text-align: center;">VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES PRESENTES EN LA MUESTRA</p> | | |
|---|---|--|
| <p>Volumen de muestra ($V_m \pm 0,05$)mL</p> | <p>Masa del papel de filtro vacío ($M_v \pm 0,0001$)g</p> | <p>Masa del papel de filtro después de la prueba ($M_f \pm 0,0001$)g</p> |
| | | |

Figura 3.18. Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación de los sólidos suspendidos totales en la muestra.

3.3.4.3.2 Cálculo

Para la determinación de los sólidos suspendidos se utilizó la ecuación de Moore (1951):

$$SST = \frac{(M_f - M_v) * 1000000}{V_M} \quad (3.18)$$

Donde:

SST: Sólidos totales suspendidos en la muestra, (mg/L)

M_f : Masa del papel de filtro después de la prueba, (g)

M_v : Masa del papel de filtro vacío, (g)

V_M : Volumen de muestra, (mL)

1000000: Factor de conversión de g/mL a mg/L

3.4 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE.

3.4.1 Diagrama Causa - Efecto

Se utilizó un diagrama de Ishikawa (González y Thompson, 2007) para establecer las variables más influyentes en el proceso de secado del nepe. Por medio de seis categorías fundamentales denominadas las seis “M”: Mano de obra, Maquinaria, Materiales, Métodos, Medición y Medio ambiente, las categorías se agruparon en la herramienta gráfica conocida como “Espina de Pescado”, donde se ubicaron las categorías y se determinaron las variables del proceso. En la figura 3.19, se muestra el diagrama causa – efecto realizado.

La construcción del diagrama se realizó mediante una tormenta de ideas producidas en una reunión en la planta de San Joaquín, donde participaron los superintendentes del área de elaboración, coordinador de proyectos de la planta y de plantas del grupo polar C.A y pasante del área.

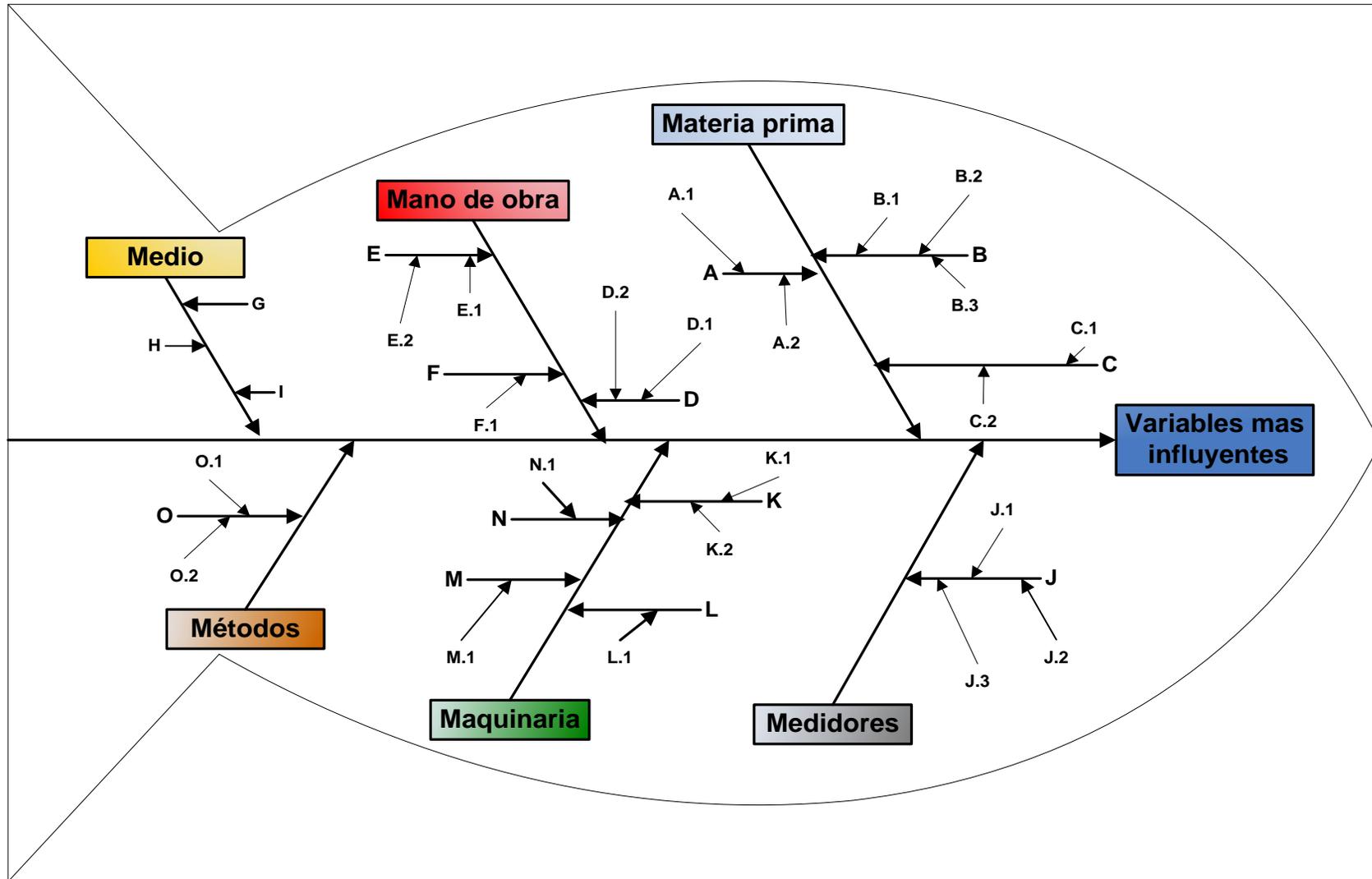


Figura 3.19. Diagrama causa-efecto que permite determinar las variables más influyentes en un proceso.

3.5 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DONDE EL PROCESO LOGRA MEJOR DESEMPEÑO.

La herramienta que se empleó en esta fase fue la creación de una superficie de respuesta, la cual es una estrategia experimental y de modelación que permite encontrar condiciones de operación óptima del proceso de secado para mejorar la calidad del nepe. Para esto se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS versión 5.1, el cual posee dicha herramienta y permite hacer el estudio de forma interactiva.

La superficie de respuesta se realizó empleando un diseño de experimento tipo factorial 2^3 (véase Figura 3.20), a las tres secadoras involucradas en el proceso, el diseño relaciona la interacción entre tres factores (Variables) a dos niveles de operación.

3.5.1 Diseño de experimento factorial 2^3 .

Para la realización del diseño factorial se sigue la siguiente ruta: StatWizard → Diseñar un nuevo experimento o plan de muestreo → Diseñar un experimento → Clase Multi Nivel Factorial. En esta última ventana (figura 3.20) parte c, se deben especificar el número de variables de respuestas (la humedad del nepe seco) y el número de factores experimentales, que en este caso serían 3, la velocidad de alimentación del nepe, el flujo de alimentación de levadura y la temperatura de operación.

Se siguen los pasos mostrados en la figura 3.20, usando como ejemplo el diseño experimental aplicado a la secadora 2, para crear el orden en el que se va a tomar la muestra y bajo qué condiciones va a operar el proceso en la experimentación planteada, de acuerdo a los niveles de cada variable establecidos en reuniones llevadas a cabo con el superintendente del área, coordinador de proyectos, y todo el personal involucrado en el proceso de secado del nepe. Cabe destacar que los niveles de cada variable se plantean de acuerdo a los objetivos que se requiera con cada una.

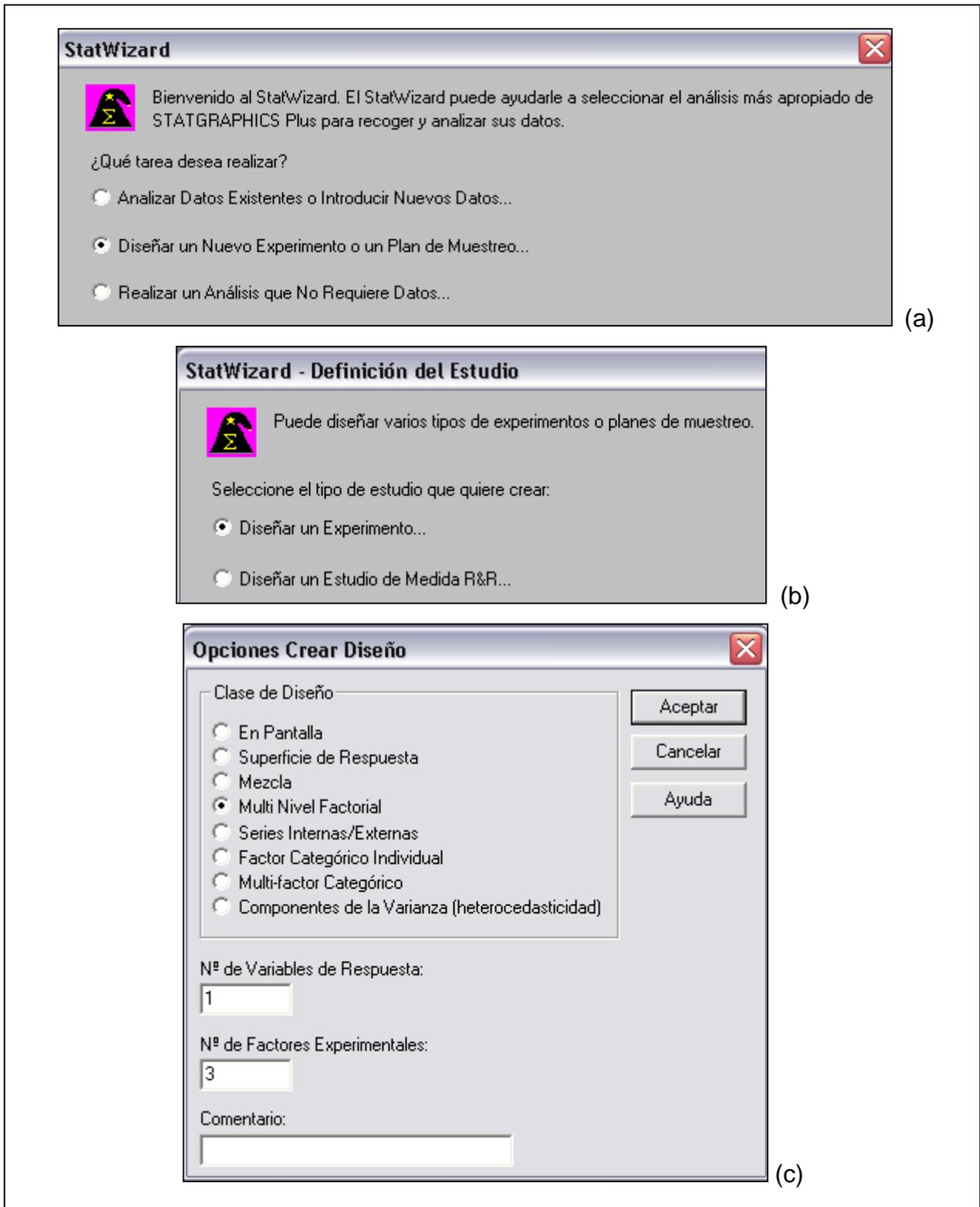


Figura 3.20. Definición del diseño de experimento factorial. La imagen (a) muestra la selección de un diseño de experimento, la (b) la creación de un diseño de experimento y la (c) la selección del diseño factorial.

Una vez establecido el número de factores, se procedió a establecer los niveles de operación de cada uno de ellos en el programa (véase figura 3.21). Cabe destacar que estos parámetros fueron establecidos mediante entrevistas previas realizadas a los operadores, supervisores y superintendentes del área.

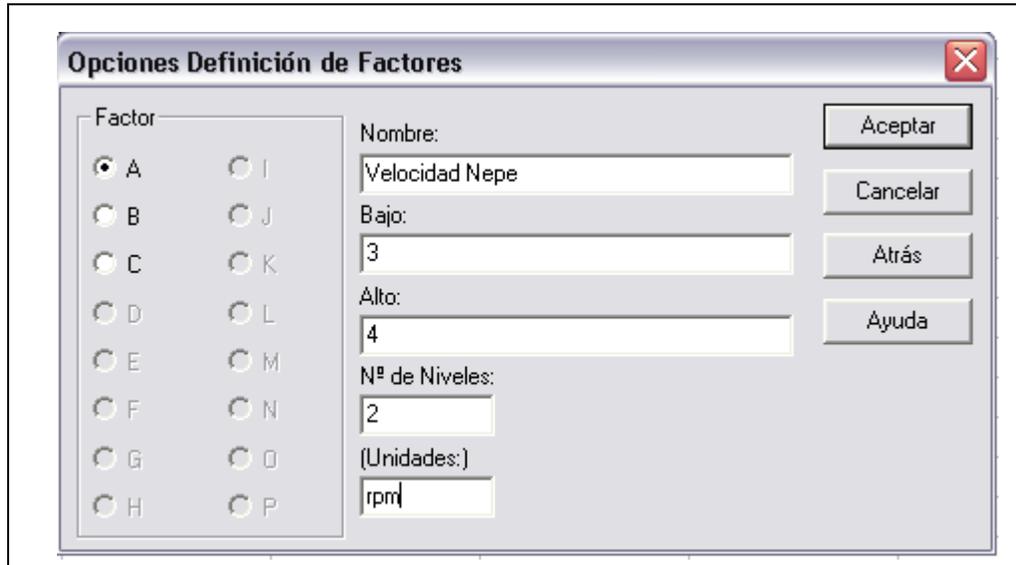


Figura 3.21. Definición de los niveles de los factores experimentales

Una vez establecidos los niveles con sus respectivas unidades de cada factor se enuncia la variable de respuesta a analizar en el diseño de experimento (véase figura 3.22).

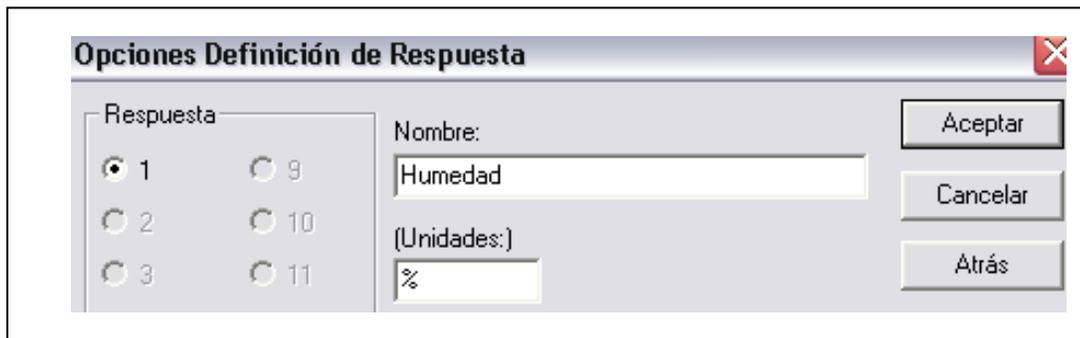


Figura 3.22. Definición de la variable de respuesta.

A continuación se indicó el número de replicas a efectuar como se visualiza en la figura 3.23, dando como resultado el diseño factorial 2^3 realizado en la secadora 2

(véase figura 3.24). El diseño experimental establece la forma de recolección de muestras para el análisis de la variable de respuesta del estudio, haciendo combinaciones entre los factores experimentales. De esta forma al establecer las réplicas a efectuar se debe asegurar que la opción “Aleatorizar” que se visualiza en la figura 3.23 se encuentre activa, para realizar un muestreo de forma aleatoria.

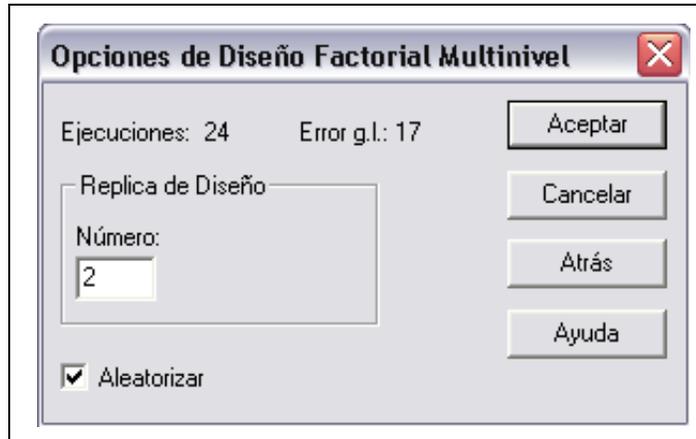


Figura 3.23 Definición del número de réplicas a efectuar en el diseño experimental

| STATGRAPHICS Plus - StatFolio sin Nombre - [<sin nombre>] | | | | | |
|---|--------|----------------|----------------|-------------|---------|
| Archivo Edición Gráficos Descripción Comparación Dependencia Avanzado SnapStats!! Ver Ventana Ayuda | | | | | |
| [Icons] | | | | | |
| | BLOQUE | Velocidad Nepe | Flujo Levadura | Tempeartura | Humedad |
| 1 | 1 | 4,0 | 380,0 | 70,0 | |
| 2 | 1 | 3,0 | 380,0 | 80,0 | |
| 3 | 1 | 3,0 | 380,0 | 70,0 | |
| 4 | 1 | 3,0 | 0,0 | 80,0 | |
| 5 | 1 | 3,0 | 0,0 | 70,0 | |
| 6 | 1 | 4,0 | 0,0 | 70,0 | |
| 7 | 1 | 4,0 | 380,0 | 80,0 | |
| 8 | 1 | 4,0 | 0,0 | 80,0 | |
| 9 | 2 | 3,0 | 0,0 | 80,0 | |
| 10 | 2 | 4,0 | 0,0 | 80,0 | |
| 11 | 2 | 3,0 | 380,0 | 70,0 | |
| 12 | 2 | 4,0 | 0,0 | 70,0 | |
| 13 | 2 | 3,0 | 380,0 | 80,0 | |
| 14 | 2 | 4,0 | 380,0 | 80,0 | |
| 15 | 2 | 4,0 | 380,0 | 70,0 | |
| 16 | 2 | 3,0 | 0,0 | 70,0 | |
| 17 | 3 | 4,0 | 0,0 | 70,0 | |
| 18 | 3 | 3,0 | 0,0 | 80,0 | |
| 19 | 3 | 4,0 | 380,0 | 70,0 | |
| 20 | 3 | 3,0 | 0,0 | 70,0 | |
| 21 | 3 | 3,0 | 380,0 | 70,0 | |
| 22 | 3 | 3,0 | 380,0 | 80,0 | |
| 23 | 3 | 4,0 | 0,0 | 80,0 | |
| 24 | 3 | 4,0 | 380,0 | 80,0 | |

Figura 3.24. Diseño de experimento factorial 2^3 .

Una vez establecido el diseño de experimento, se manipulan las variables según el orden establecido por el software (véase figura 3.24), determinándose en el laboratorio su variable de respuesta (Humedad) para cada condición evaluada según la metodología propuesta en el paso 3.2.1.

Para mejor comprensión de la creación del diseño experimental factorial 2^3 visualizar figura 3.25 que muestra la ruta a seguir para crearlo en el programa STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

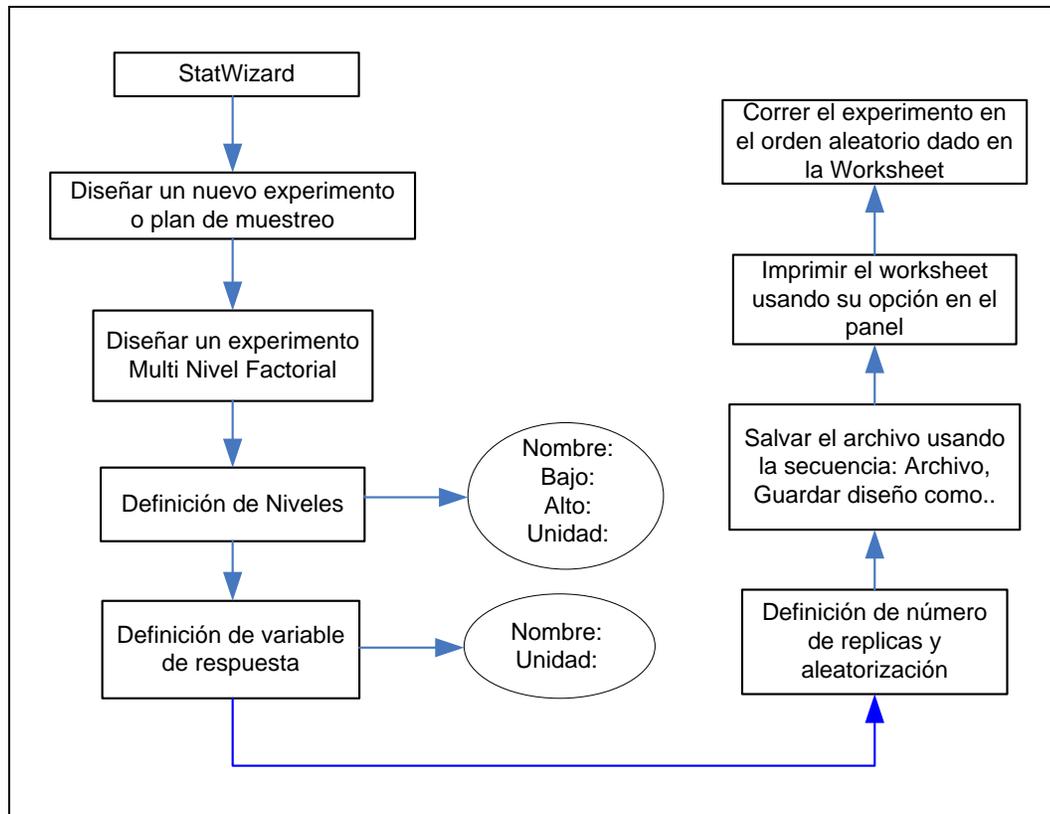


Figura 3.25 Construcción del diseño experimental 2^3 con el uso del Statgraphics plus.

3.5.2 Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico al diseño de experimento factorial 2^3 , se introdujo la data experimental correspondiente a la variable de respuesta (humedad del nepe a su salida) en el programa STATGRAPHICS PLUS versión 5.1, procediendo a realizar los análisis estadísticos según los siguientes pasos:

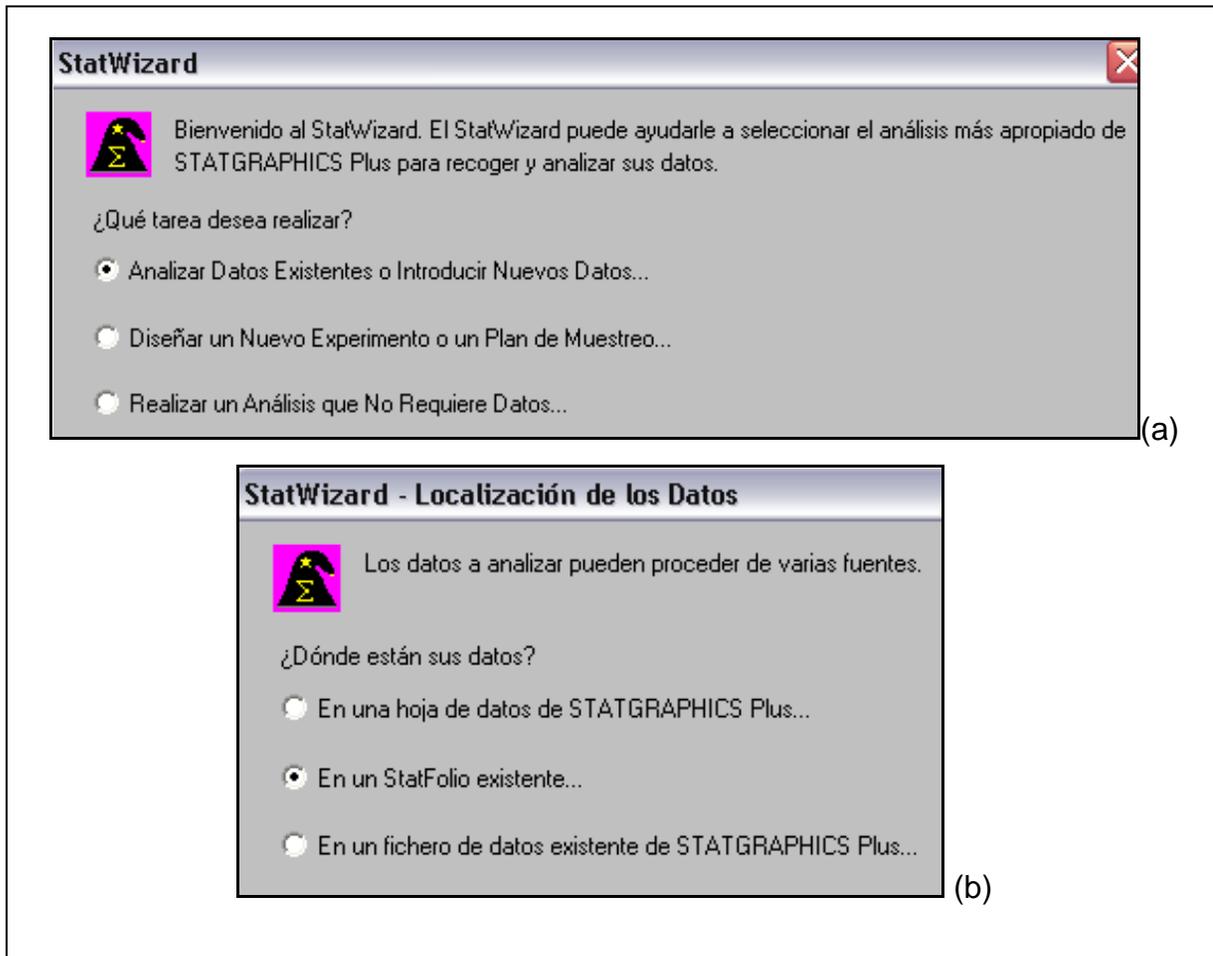


Figura 3.26 Apertura del Diseño experimental a analizar. La imagen (a) muestra la selección de análisis de los datos del diseño ya existente y la (b) muestra la selección de la ubicación del diseño de experimento.

Inicialmente se abre el diseño experimental a analizar de la forma que se representa en la figura 3.26, siguiendo la siguiente ruta: StatWizard → Analizar Datos existentes... → En un StatFolio existente... → Seleccionar el diseño experimental y presionar Abrir.

Para hacer el análisis estadístico, se siguen las siguientes opciones (véase figura 3.27): StatWizard → Analizar diseño → se da el nombre de la variable de respuesta a analizar, y entonces se tendrá acceso a un conjunto de opciones de análisis tanto gráficas como analíticas representadas en la figura 3.28.

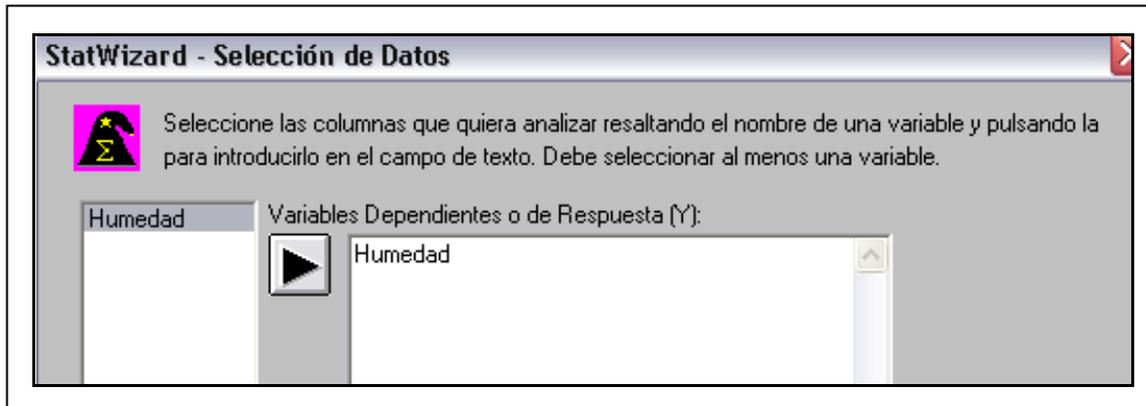


Figura 3.27. Selección de datos a analizar.

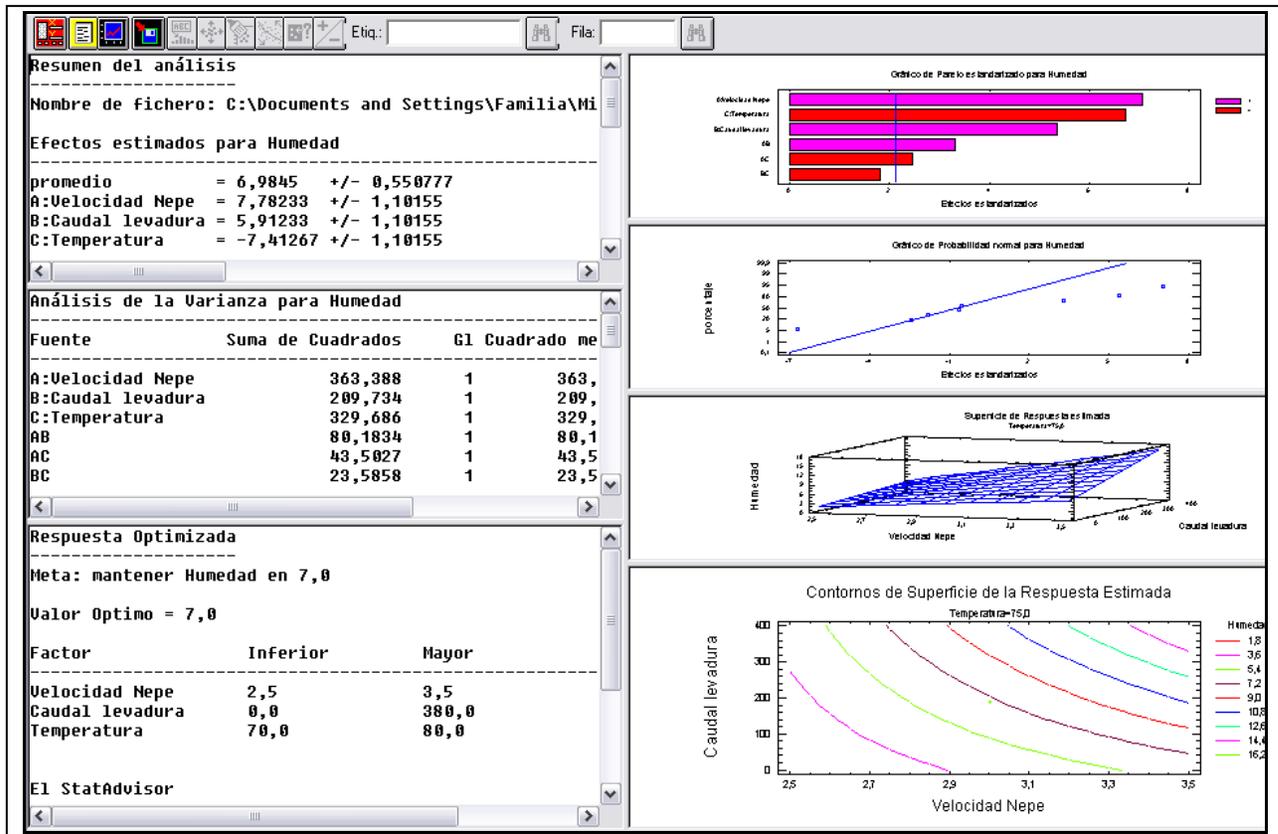


Figura 3.28. Resumen de análisis analíticos y gráficos.

Adicionalmente a los análisis estadísticos que se muestran en la figura 3.28 en esa misma ventana se pueden activar otros tipos de análisis de ser necesarios utilizando los botones del panel, el amarillo con una libreta insertada activa las opciones

tabulares (análisis analíticos) y el negro con una grafica insertada activa las opciones graficas de análisis estadísticos.

3.5.3 Diseño de superficie de respuesta.

Para la elaboración de la superficie de respuesta del diseño de experimento efectuado, se procedió a realizar la misma metodología expuesta en el paso 3.4.2 que enuncia el análisis del diseño, al abrirse la ventana del resumen de análisis expuesto en la figura 3.4.9, se procedió a activar mediante los botones del panel en opciones de tabuladores la función de optimización (véase figura 3.29) y en opciones graficas las dos funciones que involucran gráficos de la respuesta (véase figura 3.29)

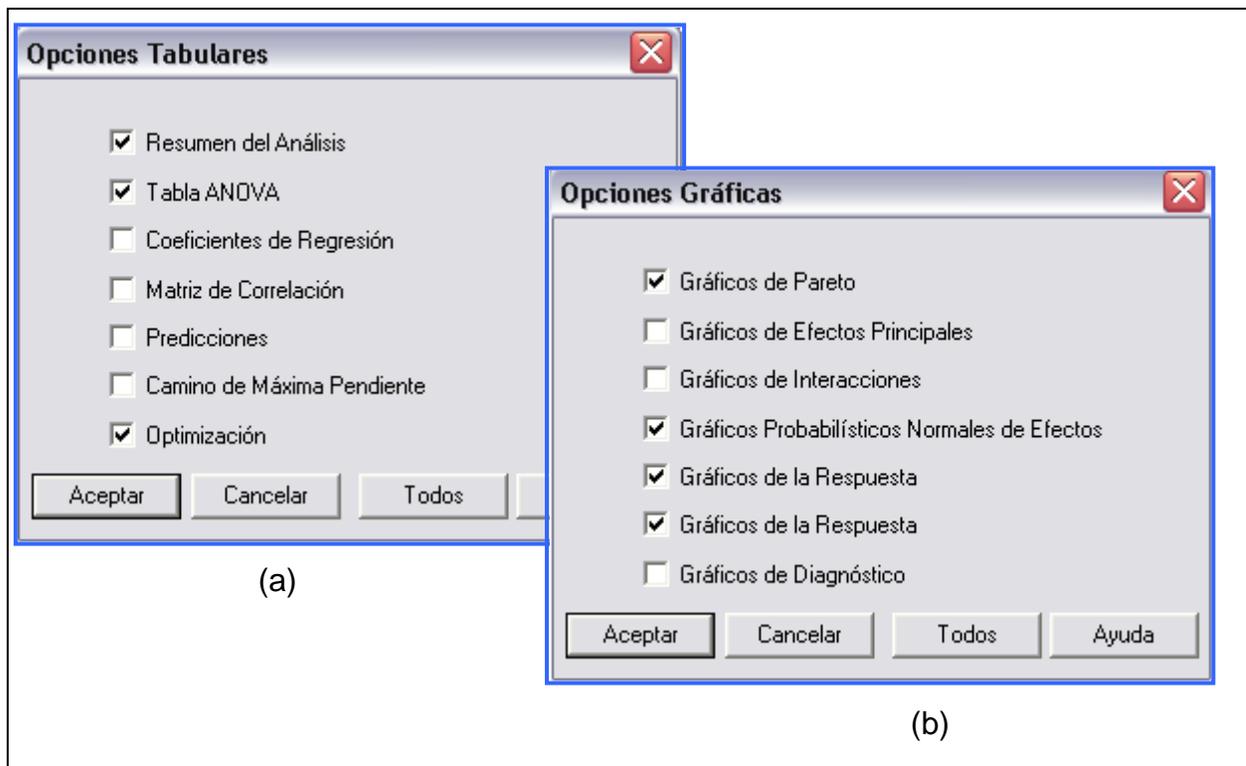


Figura 3.29. Ventanas de opciones para análisis analíticos y gráficos del diseño.

Una vez activadas las ventanas de optimización, se encontraron los puntos óptimos de operación de acuerdo a los parámetros de calidad exigidos por la empresa, en este caso fue de (5-8)% de humedad. Los pasos para llevar a cabo dicha función serian los siguientes:

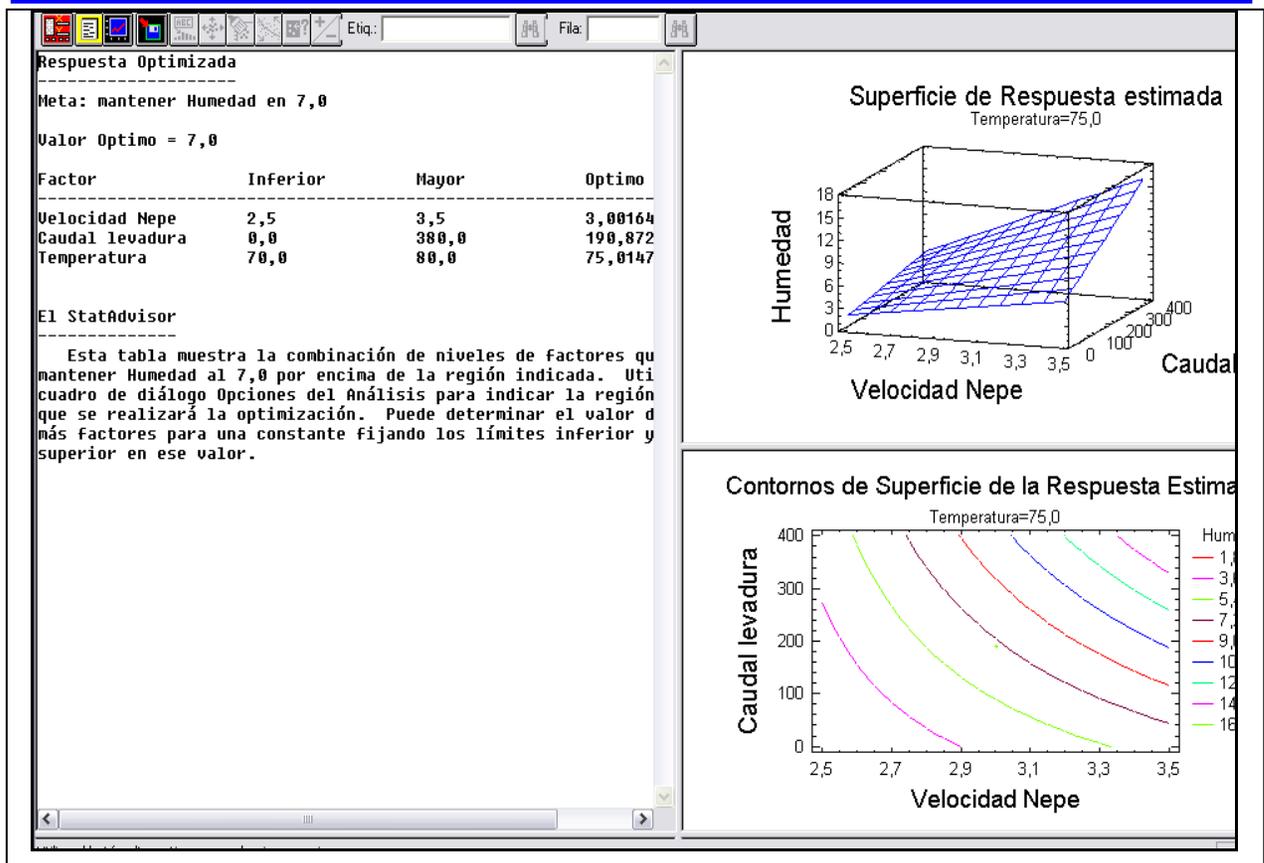


Figura 3.30 Superficie de respuesta del diseño.

Para encontrar un valor específico de humedad se presiona el clic derecho del mouse sobre el análisis analítico que se visualiza en la figura 3.30 titulado respuesta optimizada y se selecciona la función opciones de ventana, dando apertura a la siguiente ventana:

Opciones Optimizar Respuesta

Tipo de Optimización

Máximizarse

Minimizar

Mantener en 7,

Puntos de Inicio Adicionales

Mejor Punto de Diseño

Todos los Puntos de Diseño

Mejor Vértice

Todos los Vertices

| Factor | Bajo | Alto | Principio |
|-----------------|------|------|-----------|
| Velocidad Nepe | 2,5 | 3,5 | 3, |
| Caudal levadura | 0, | 380, | 190, |
| Temperatura | 70, | 80, | 75, |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Aceptar

Cancelar

Ayuda

Figura 3.31. Opciones para optimizar respuestas.

Una vez abierta la ventana mostrada en la figura 3.31 se selecciona la función “mantener en” y se coloca el valor deseado entre (5-8) % de humedad en el cuadro blanco, representando en la ventana de análisis analítico y se grafica el punto óptimo de operación. Para mejor comprensión del análisis del diseño visualizar la figura 3.32 que muestra la ruta a seguir para hacerlo en el programa STATGRAPHICS PLUS versión 5.1.

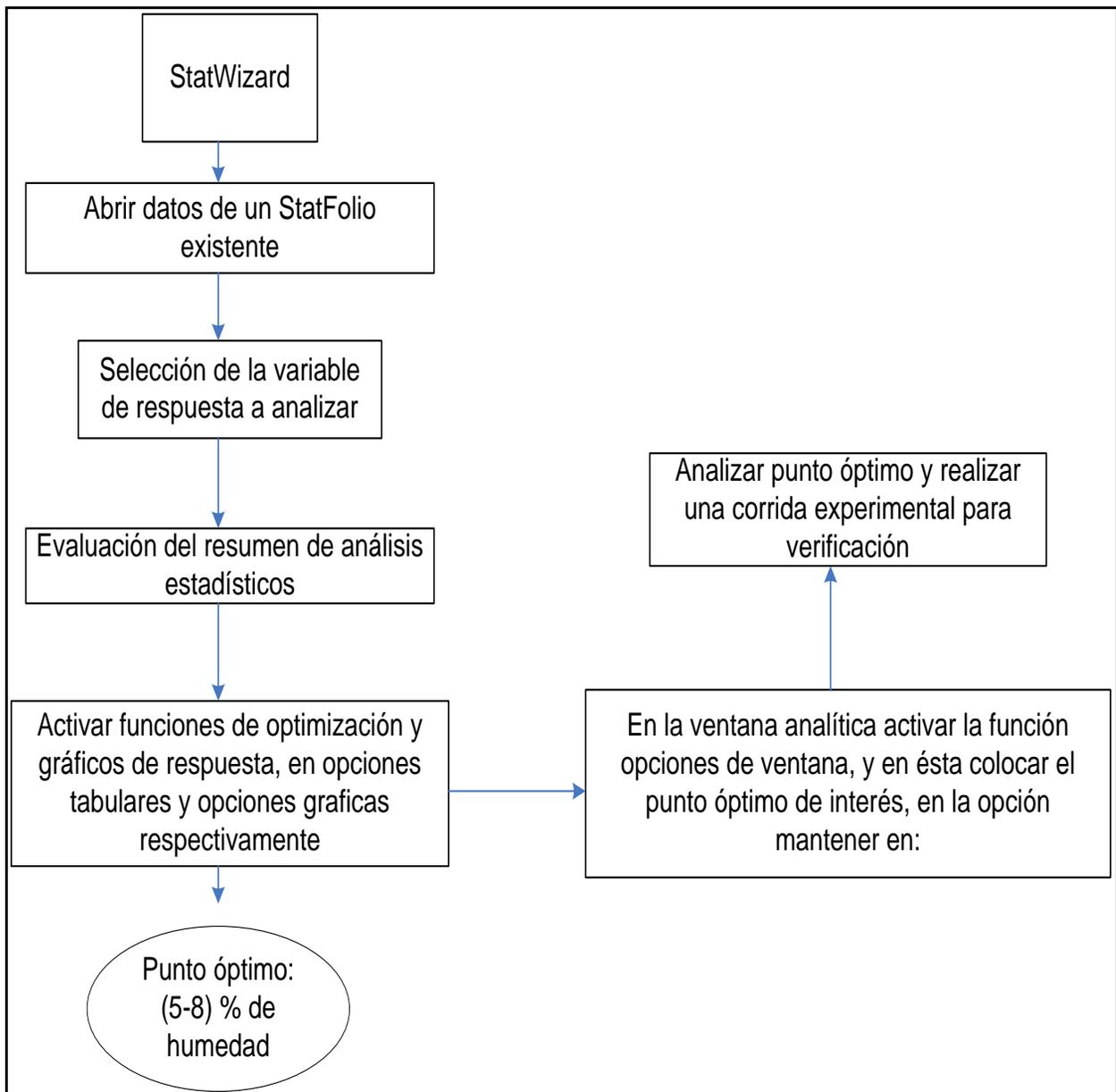


Figura 3.32 Construcción y análisis de la superficie de respuesta usando el Statgraphics Plus 5.1.

3.6 COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SALIDA DEL NEPE ANTES Y DESPUÉS DE MANIPULAR LAS VARIABLES.

Se realizó una corrida experimental en el proceso una vez implementadas las mejoras, utilizando como metodología la presentada en el paso 3.2.

Se compararon los valores de humedad, flujo de salida de nepe seco y parámetros característicos de los lodos, utilizando como herramienta la siguiente ecuación de acuerdo con Gutiérrez (2004):

$$\% Inc = \frac{|V_{oi} - V_{fi}|}{V_{fi}} \times 100 \quad (3.19)$$

Donde:

%Inc: Incremento del parámetro a evaluar, (%)

V_o : Valor del parámetro inicial, (función de i)

V_f : Valor del parámetro después de implementar la mejora, (función de i)

i: Humedad del nepe seco (adim), Flujo másico de salida del nepe (kg/h), DQO de los lodos (mg/L), Fosforo en los lodos (mg/L), Sólidos suspendidos en los lodos (mg/L)

3.7 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA ESTRATEGIA PROPUESTA.

Una vez verificado el punto óptimo de operación, se evaluó de forma monetaria los costos que implican la implementación de dicha estrategia y otras alternativas de mejoras al proceso de secado. Para esto se utilizó como herramientas ecuaciones de flujos monetarios que se presentan a continuación:

3.7.1 Estimación de capital fijo

Se determinó el capital fijo mediante la siguiente ecuación de acuerdo a Najul (2006):

$$CF = CE + CA + CP + CO \quad (3.20)$$

Donde:

CF: Capital fijo, (Bs)

CE: Costo medidor de humedad propuesto, (Bs)

CA: Costo de adiestramiento a los operadores con la nueva estrategia, (Bs)

CP: Costo del programa de automatización, (Bs)

CO: Costo de modificaciones de mejoras implementadas, (Bs)

Los costos de adiestramiento a los operadores, del programa de automatización y de las modificaciones de mejoras implementadas, se obtuvieron mediante entrevistas con el personal administrativo, personal de proyectos y superintendente del área de la empresa.

3.7.2 Estimación del capital de trabajo

Se determinó el capital de trabajo mediante la siguiente ecuación de acuerdo a Najul (2006):

$$CT = CMP + CP + CR + CS + EC \quad (3.21)$$

Donde:

CT: Capital de trabajo, (Bs.F)

CMP: Costo de inventario de materia prima, (Bs.F)

CP: Costo de inventario de producto, (Bs.F)

CR: Costo inventario de repuestos, (Bs.F)

CS: Costo por salario, (Bs.F)

EC: Efectivo en caja, (Bs.F)

Los costos de inventario de materia prima, de producto, de repuestos, por salario y el efectivo en caja, se obtuvieron mediante entrevistas con el personal administrativo, personal de proyectos y superintendente del área de la empresa.

3.7.3 Estimación de la inversión inicial

Se determinó la inversión inicial mediante la siguiente ecuación de acuerdo a Najul (2006):

$$I_o = CF + CT \quad (3.27)$$

Donde:

Io: Inversión inicial, (BsF)

3.7.4 Estimación de los costos de producción e impuesto sobre la renta

Mediante entrevistas con el personal administrativo, personal de proyectos y superintendente del área, de la empresa, se conocieron los costos involucrados en la producción del proceso tales como: Costo de materias primas, servicios industriales, pago a los supervisores, operadores, analistas, entre otros costos asociados a la producción del nepe seco, y el impuesto sobre la renta.

3.7.5 Estimación de los indicadores de rentabilidad.

Para la estimación de la rentabilidad de las mejoras implementadas se aplicaron los indicadores económicos tales como: el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). Para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones de acuerdo a Najul (2006):

$$VPN = -I_o + \sum_{x=1}^n \frac{F_x}{(1+I)^x} \quad (3.28)$$

Donde:

Io: Inversión inicial, (BsF)

Fx: Flujo de caja representado como la diferencia entre los ingresos y egresos, (BsF)

I: Tasa porcentual para ajustar valor de dinero año tras año, (0,08)

$$\sum_{x=1}^n \frac{F_x}{(1 + TIR)^x} = 0 \tag{3.29}$$

| TABLA _ VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL FIJO | | | | |
|--|-------------------------------------|--|---|---|
| Costo del medidor de humedad (Bs) | Costo del adiestramiento (Bs) | Costo del programa de automatización (Bs) | Costo de modificaciones de mejoras (Bs) | Costo del sistema de lavado de ductos del Scrubber (Bs) |
| | | | | |

Figura 3.33 Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación del capital fijo.

| TABLA _ VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL DE TRABAJO | |
|--|-----------------------|
| Costo de inventario de producto (Bs) | Efectivo en caja (Bs) |
| | |

Figura 3.34 Modelo del instrumento de recolección de datos utilizado para la determinación del capital de trabajo.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el presente capítulo se describe el proceso de secado del nepe y los equipos que lo conforman, de manera detallada a fin de garantizar la completa comprensión y familiarización con el mismo.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

El proceso de secado del nepe (ver figura 4.1) inicia con el suministro del nepe húmedo desde los silos de almacenamiento a las tolvas de alimentación encargadas de mantener una alimentación continua a su respectiva secadora de acuerdo a la velocidad establecida en las pantallas de control automático. La descarga de las tolvas de alimentación desemboca en un grupo de tornillos sin fin encargado del transporte del material hacia las secadoras, en el primero se alimenta la levadura remanente del proceso cervecero, la cual es usada para incrementar el contenido proteico del afrecho, al terminar el recorrido del primer tornillo si fin se procede a unificar la materia prima en un mezclador e alta revolución para facilidad de su tratamiento y crear una mezcla de todos los ingredientes que pasaran a formar parte del nepe seco.

Una vez creada la mezcla a secar, el material pasa por un último tornillo sin fin que se va a encargar de suministrarlo a la secadora, en este equipo se lleva a cabo el proceso de secado del nepe húmedo, por medio del haz de tubos que posee el horno en su interior por donde circula el vapor que va a actuar como agente térmico transmitiéndole el calor necesario (Parámetro controlado con la temperatura de operación ajustada por pantalla) al material que va circulando por las paletas encargadas de su transporte dentro de la secadora, produciendo así el fenómeno de la evaporación del agua presente en el nepe húmedo. El vapor disminuye la humedad del nepe (parámetro de control del proceso y de calidad del producto, determinado por el laboratorio de la empresa), y es retirado por un ducto que lo transporta a un lavador de gases (Scrubber).

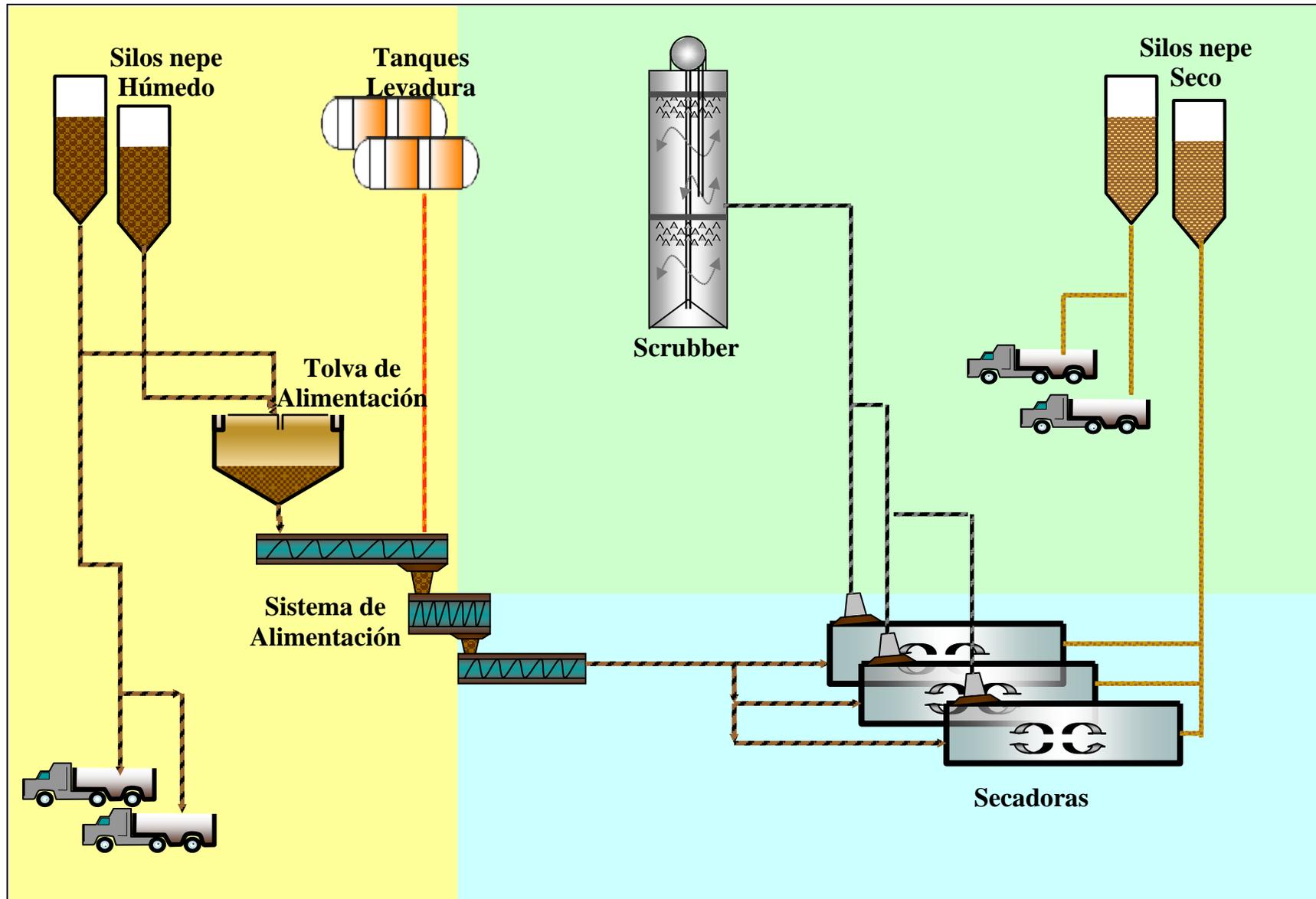


Figura 4.1. Diagrama de flujo del proceso de secado del nepe.

El proceso es controlado de acuerdo al parámetro de humedad que posea el nepe seco al salir de la secadora, modificando las condiciones de operación de forma adecuada para obtener el nepe de acuerdo a las especificaciones exigidas por la empresa, recirculando a la alimentación el que se encuentre fuera de dicho punto. Es importante controlar la humedad del nepe que sale de la secadora, ya que si ésta es mayor que el 10 % puede favorecer la descomposición prematura del afrecho mientras se encuentra almacenado en los silos a donde es transportado a su salida, formando gas metano y aumentando las posibilidades de producir un incendio o explosión dentro de los mismos ante la presencia de cualquier chispa. Por eso su especificación de calidad en la empresa se encuentra en un rango de (5 - 8) % de humedad con un máximo de 10 % en los camiones.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

4.2.1 Alimentadores o Tolva de alimentación

Inicialmente, al extraer el material de una tolva para un transportador, se debe usar un alimentador automático, a no ser que el material esté seco y corra con facilidad como el grano. El funcionamiento satisfactorio de cualquier transportador depende de que se alimente con una corriente uniforme y continua del material. El alimentador automático no solamente asegura una alimentación constante y regular, cualquiera que sea el tamaño del material, sino que economiza el gasto de un hombre, que, en caso contrario, sería necesario en el punto de vista de alimentación. (Marks 1979).

La figura 4.2 muestra la forma de una tolva de alimentación que se encuentra instalada en el proceso de secado del nepe, la cual se encarga de la alimentación constante y uniforme de material al sistema por medio de un medio de transporte (tornillo sin fin) que posee el equipo internamente. La frecuencia de velocidad que aporta el motor del sistema, regula el flujo de alimentación o cantidad de material que se desea secar. Su capacidad de almacenamiento se encuentra controlado por medio de un medidor de nivel que tiene instalado, el cual activara la señal de carga de material desde los silos de nepe húmedo en caso de no estar en contacto con el material.



Figura 4.2. Tolva de alimentación.

4.2.2 Transportadores de tornillo sin fin

Los transportadores de tornillo sin fin o de espiral son ampliamente usados para materiales pulverizados o granulares, no corrosivos y no abrasivos, cuando la capacidad necesaria es moderada, la distancia no es mayor de 60 cm, y la trayectoria no es demasiado inclinada. Este Transportador manipulará material en terrenos si éstos no son muy grandes en relación con el diámetro de la hélice. Los transportadores de tornillo sin fin pueden trabajar inclinados, una hélice de peso estándar puede mover material en planos inclinados hasta 35 grados.

A continuación se describen los tipos de transportadores de tornillo:

- Los tornillos de paso corto, son convenientes para inclinaciones de más de 29 grados.
- Los tornillos de paso variable, con paso corto en el extremo de alimentación, regulan automáticamente el paso del material hacia el transportador, de manera que la carga es proporcionada correctamente en la longitud que queda más allá del punto de alimentación.

- Los transportadores de espiral cortada, (véase figura 4.3), se usan para transportar y mezclar cereales, granos y otros materiales ligeros.
- Los tornillos de cinta, (véase figura 4.3), se usan para materiales húmedos y pegajosos tales como melazas, alquitrán caliente o asfalto, los cuales de otra manera se pegarían al eje.
- Los tornillos de paletas o aspas, (véase figura 4.3), son usados primordialmente para mezclar materiales tales como morteros y mezclas bitulíticas bituminulíticas para pavimentos. (Marks, 1979)

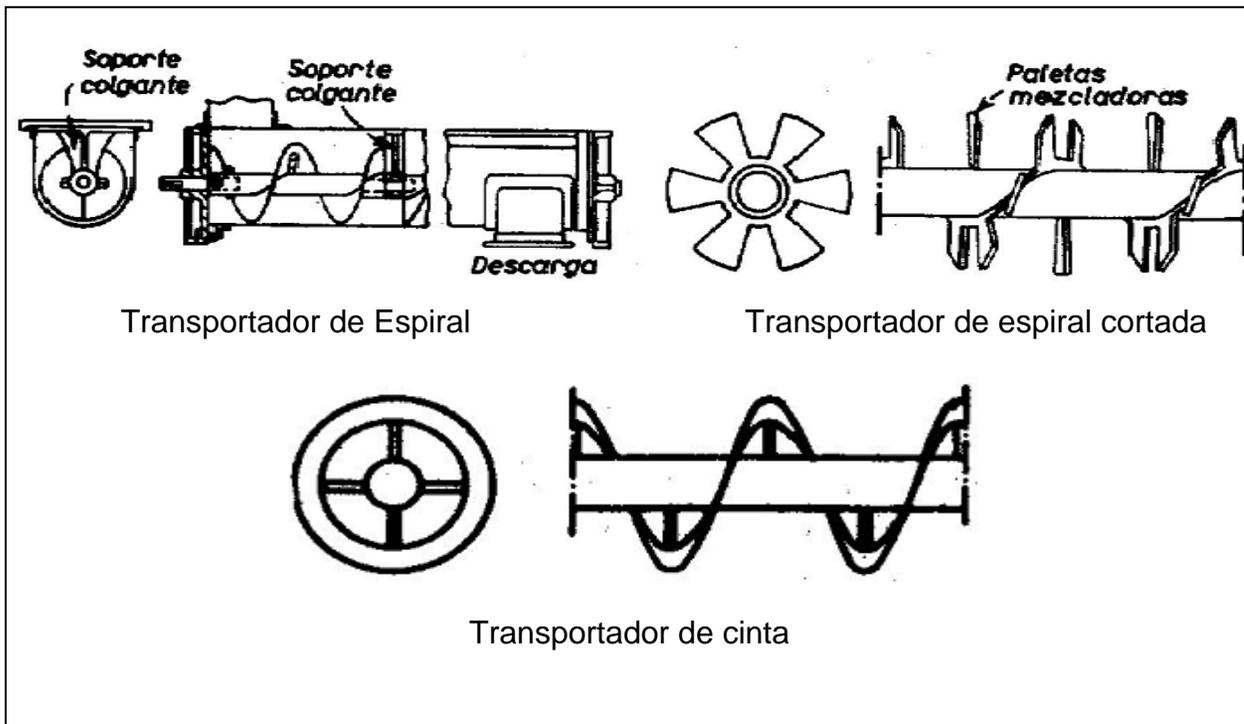


Figura 4.3. Tipos de tornillos sin fin.
Fuente: Marks (1979).

El nepe húmedo se alimenta al proceso por medio de un sistema de transporte constituido por dos tornillos sin fin (véase figura 4.4) de paso variable del tipo espiral cortada (véase figura 4.3) y un mezclador de alta revolución encargado de unificar la mezcla resultante al agregarle la levadura autolizada al nepe. Las condiciones de operación de estos equipos dependen de la frecuencia de velocidad establecida en la tolva de alimentación.



Figura 4.4. Tornillo sin fin de alimentación de material al proceso de secado.

4.2.3 Silos

Son estructuras cilíndricas-cónicas que se utilizan para almacenar granos, cereales, semillas y otros tipos de materiales sólidos, con la finalidad de garantizar la calidad del material sólido almacenado hasta el momento de su utilización (véase figura 4.5).

A continuación se dan algunas recomendaciones para un adecuado almacenamiento en silos:

- Antes de usar el silo, verificar su estado y funcionamiento, evitar filtraciones y condensaciones, procure que esté, seco y limpio.
- Seleccionar lo que se guardará, de acuerdo al silo con que se cuente.
- Nunca mezclar un buen grano con otro de mala calidad, o uno seco con otro un poco húmedo.
- Controlar y evitar la proliferación de insectos, roedores, etc.

El proceso de secado del nepe posee 2 silos de almacenamiento de nepe húmedo los cuales reciben el afrecho retirado de la etapa de filtración del proceso cervecero. Adicionalmente tiene instalado cuatro silos de acero inoxidable para

almacenar el nepe producto del área de secado, los cuales se pueden visualizar en la figura 4.5.



Figura 4.5. Silos de almacenamiento de nepe húmedo y seco.

4.2.4 Lavador de aire, vapor, gases (Scrubber)

Son generalmente del tipo de torre, circulando el gas, vapor o aire a lavar hacia arriba en contracorriente con el líquido descendente, el agua o líquido es descargado a otros sistemas si se desea reutilizar o desechadas al drenaje, el vapor es descargado por conexiones de la parte superior ya purificado (libre de sólidos o componentes que puedan crear un impacto ambiental o atente contra la salud humana) en forma de vapor saturado. (Marks, 1979).

La figura 4.6 muestra el Scrubber instalado en el proceso de secado del nepe, el cual se encarga de lavar el vapor y polvillo que es exhalado del sistema por medio de cada ducto que conecta a cada secadora con el equipo. El vapor que circula en el

Scrubber es purificado con agua que circula en contracorriente con el fluido en tratamiento, para luego ser expulsado por el tope en forma de vapor saturado al ambiente, y las impurezas son retiradas por el fondo mediante el lodo que forma para ser tratado en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

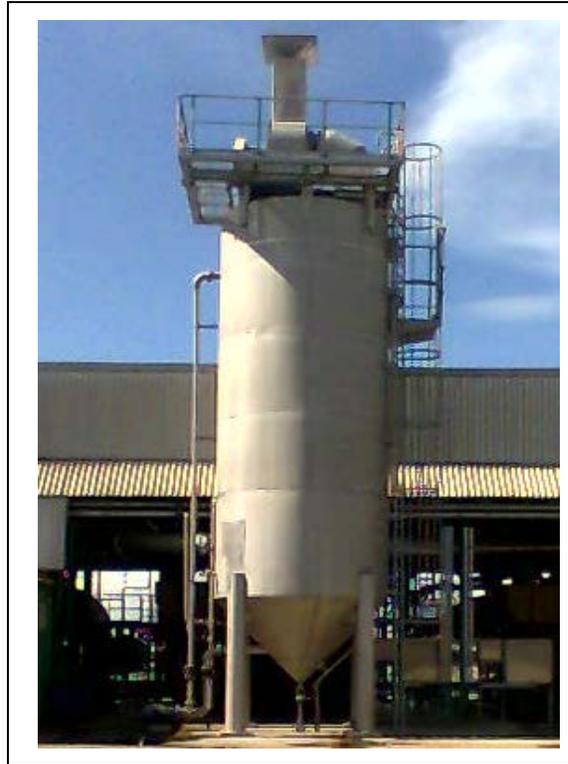


Figura 4.6. Scrubber o lavador del vapor retirado del proceso de secado.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos durante la investigación para cada uno de los objetivos planteados para la mejora del proceso de secado del nepe.

5.1 SISTEMAS QUE INTEGRAN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

El proceso de secado del nepe esta constituido por tres hornos rotatorios (secadoras) que llevan a cabo la función de retirar humedad al material (nepe) que se le esta suministrando, para así obtener un producto con una humedad establecida (véase apéndice C figura C.1), que satisfaga las exigencias del mercado de dicho producto.

Cada secadora esta conformada por un sistema de equipos que trabajan bajo las condiciones de operación establecidas por los operadores (véase Tablas B.1, B.2, B.3 y B.4 y figura 4.6), los cuales se verificaron mediante una inspección realizada en el área donde se encuentra implementado el proceso, observándose posibles fallas operacionales que disminuyen la eficiencia de la faena diaria, estas problemáticas también fueron confirmadas mediante entrevistas (véase apéndice B.1 entrevistas 1 y 2) con el personal que laboran en la planta, tales como los operadores, supervisores, analistas, superintendente del área, y personal involucrado con el proceso. Verificándose que el proceso opera bajo las siguientes condiciones presentándose fallas tales como:

Secadores: Estos equipos presentan fallas a nivel de secado confirmadas por el monitoreo realizado por los analistas del laboratorio de calidad de la empresa, el cual reportó un incumplimiento en la calidad del producto al compararlo con la norma. Al verificar el sistema se observó que la falla era a causa de la calidad del vapor que se le inyecta al horno para llevar a cabo el proceso, a taponamientos de sistemas que serán explicado más adelante y a fallas vinculadas con el medidor de humedad instalado en línea, trayendo como consecuencia la pérdida de confiabilidad en el medidor como control del proceso.

Tolvas de alimentación: Este equipo controla el suministro de materia prima de acuerdo a un medidor de nivel que tienen instalado, el cual presenta fallas de lectura debido a obstrucción de material en el medidor, por lo cual el instrumento asume que la tolva esta llena de nepe húmedo, para este hecho se les encomendó a los operadores mantener limpios los medidores, por medio de un monitoreo progresivo a los medidores para disminuir la falla encontrada. También se verificó la ausencia de medidores de flujo de nepe húmedo a las secadoras en el sistema, por lo que para conocer este parámetro se aplicaron herramientas expuestas en el marco metodológico 3.2.3.1.

Mezcladores de alta revolución: Estos equipos presentan fallas de sobrecarga generando paradas del proceso de secado, como medidas de precaución se le suministra poco material al sistema lo que genera disminución en la producción de nepe seco.

Sistema de alimentación de levadura: Es necesario que la levadura se encuentre autolizada, es decir, inactiva como microorganismo, antes de ser suministrada en el proceso de secado, ya que ésta a bajas temperaturas o cercanas a la ambiente es más densa y viscosa, provocando taponamiento en el sistema de suministro (válvulas, tuberías, entre otros) y disminución de la eficiencia del proceso de secado, debido a que le va a costar más secar el material con levadura fría que estando caliente, requiriendo mayor consumo de vapor para elevar la temperatura de operación. Adicionalmente la levadura no autolizada forma grumos con el material (empelotamiento). Este hecho disminuye la calidad de presentación del producto y afecta a la humedad del mismo, ya que la levadura forma una capa sobre el nepe generando una resistencia térmica que disminuye la transferencia de calor de éste con el vapor, provocando un aumento en la humedad del nepe seco.

No tener un control sobre el flujo de alimentación de esta materia prima, lo cual fue evidenciado en la inspección realizada en el área, limita a los operadores a la hora de suministrarla al proceso, dejando exceso de levadura en el proceso cervecero que involucra pérdidas económicas para la empresa y un gran impacto ambiental a la hora de tratarla.

Scrubber: Se evidenció que el equipo presentaba taponamiento de sus ductos, que generaban grandes pérdidas económicas a la hora de realizar el mantenimiento para volverlo a un estado adecuado de operación. Adicionalmente el Scrubber produce lodos muy espesos (mucho contenido en nepe) generando pérdidas de producto a vender por este equipo. Esto se debe a las condiciones de operación del proceso (que se explican con mayor detenimiento en siguientes objetivos), las cuales producen un nepe muy seco, lo que lo hace un producto más liviano fácil de ser succionado por el ducto del lavador de gases.

Silos de nepe húmedo y seco: De acuerdo a la inspección realizada se verificó la ausencia de medidores de nivel que presenta algunos silos (véase Apéndice B.1 entrevista N°2), hecho que origina medidas rudimentarias y poco confiables por parte de los operadores. El no conocer la cantidad de producto almacenado limita a la empresa sobre el control adecuado en su venta.

Otras fallas que presenta el proceso de secado del nepe se encuentra vinculado con los operadores que laboran en éste, ya que la falta de uniformidad de criterios a la hora de operar, descuidos del proceso, y respuestas lentas frente incidentes que surjan en la marcha, afectan notablemente al sistema. Por lo que una vez verificada la investigación se debe realizar un adiestramiento a todo el personal para unificar las modalidades y condiciones de operación.

Es notable la necesidad de aplicar una reingeniería en el proceso de secado del nepe debido a que las fallas expuestas afectan la calidad del material, disminuye la producción del nepe seco y limita el control de las variables de operación del sistema, operando el proceso con baja eficiencia por reprocesamiento de material fuera de especificación de calidad de la empresa.

5.2 CONDICIONES DE SALIDA DEL NEPE Y SUBPRODUCTO DEL PROCESO DE SECADO

El proceso de secado del nepe es controlado de acuerdo a la humedad que posea el material a la descarga de la secadora, este parámetro es resultado en parte de

las condiciones de operación del sistema, y una vez determinado se verifica si dichas condiciones producen un nepe seco de calidad, comparándolo con la norma establecida por empresas Polar C.A planta San Joaquín (véase apéndice C figura C.1).

Se realizó una inspección al nepe seco (véase tabla 5.1) para verificar sus condiciones de salida, determinándose la humedad siguiendo la metodología expuesta en el capítulo anterior, ya que el medidor que se encuentra instalado en el sistema presenta fallas y no es confiable su operación.

TABLA 5.1
HUMEDAD DEL NEPE SECO DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN QUE TRABAJAN CADA SECADORA

| Secadora | Velocidad de alimentación del nepe ($V \pm 0,01$) rpm | Temperatura de operación ($T \pm 0,01$) °C | Humedad del nepe seco ($H \pm 0,01$) % |
|----------|--|---|--|
| 1 | 2,17 | 75,53 | 1,50 |
| 2 | 1,63 | 76,56 | 1,40 |
| 3 | 1,88 | 65,42 | 3,50 |

De acuerdo a las condiciones de operación se obtuvo que ninguna de las secadoras producía nepe dentro de las especificaciones de calidad de la empresa (véase figuras 5.1, 5.2 y 5.3), observándose un producto con humedad menor a la del límite inferior de la norma, la cual es entre (5-8) % de humedad. La secadora 1 presentó un $70,0 \pm 0,1$ % de desviación estándar con respecto al límite inferior de la norma (5%), la secadora 2 un $72,0 \pm 0,1$ % y la secadora 3 un $30,0 \pm 0,1$ % (véase tabla 5.2), lo que conlleva a realizar un estudio que permita encontrar condiciones de operación que mejoren la calidad del producto y disminuyan las pérdidas y baja eficiencia del proceso por reprocesamiento de material.

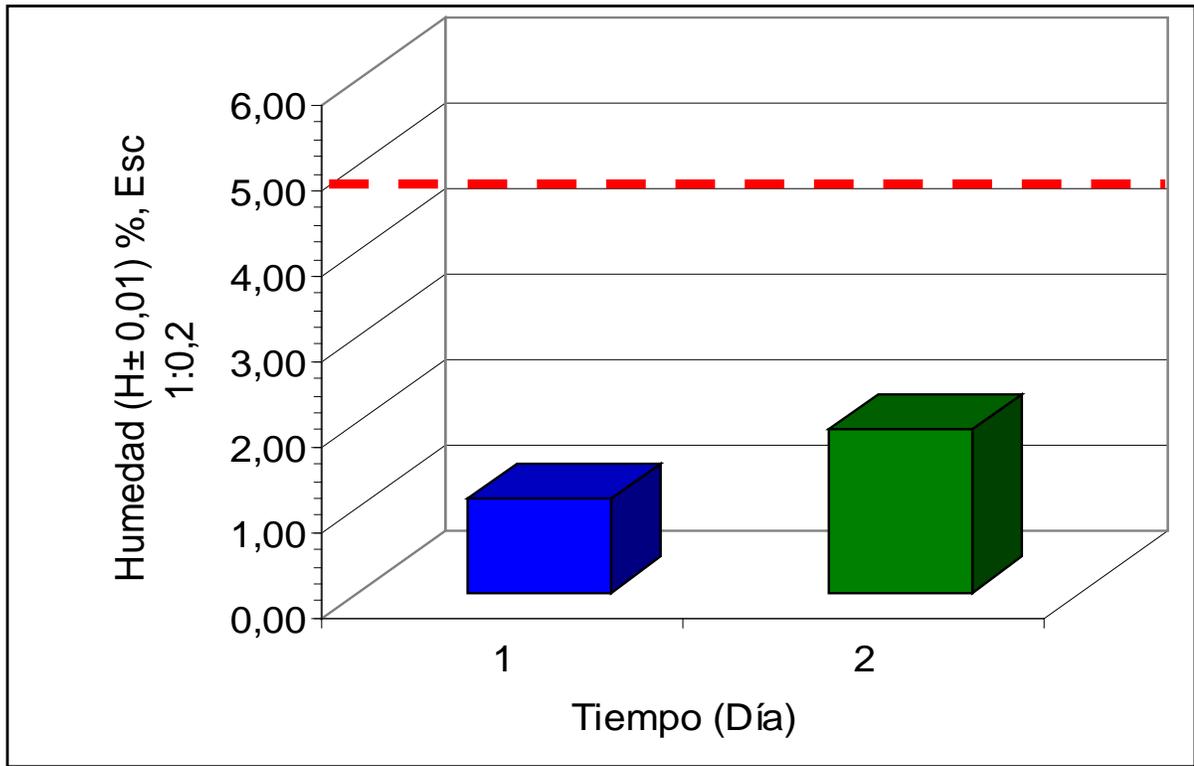


Figura 5.1. Humedad del nepe seco en la descarga de la secadora uno.

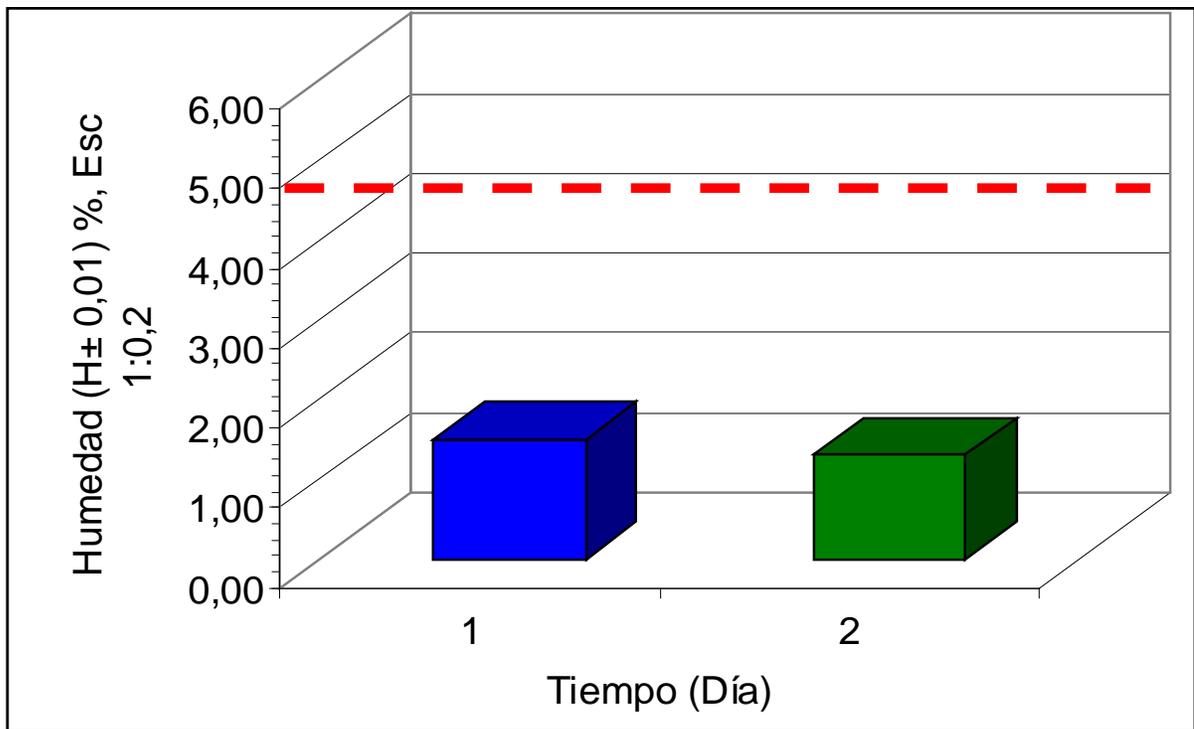


Figura 5.2. Humedad del nepe seco en la descarga de la secadora dos.

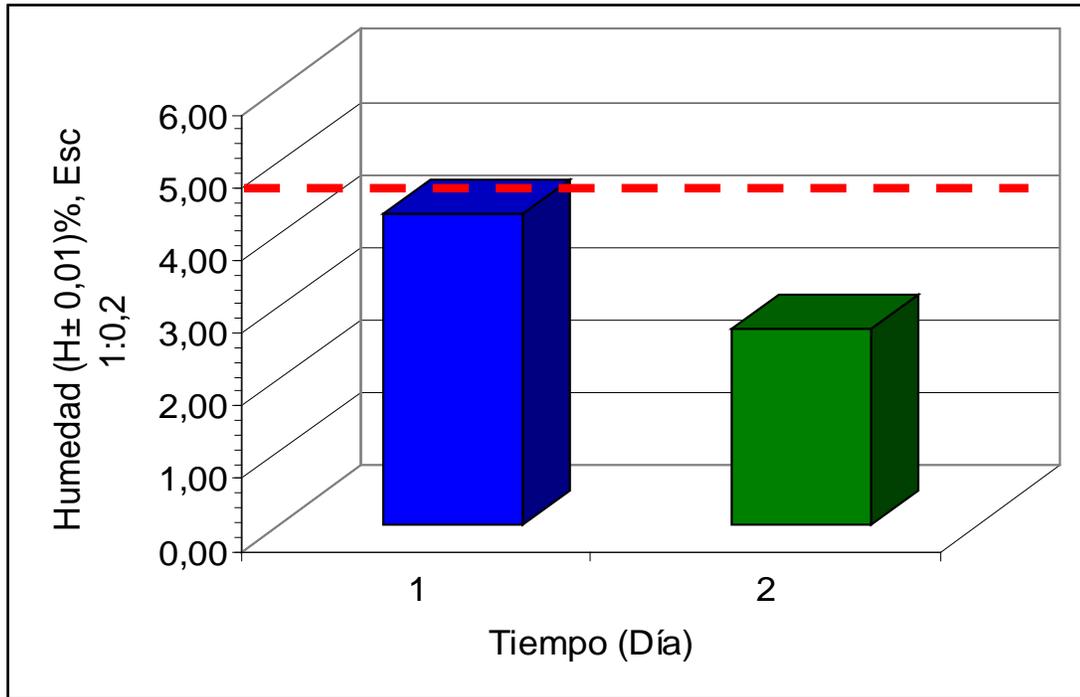


Figura 5.3. Humedad del nepe seco en la descarga de la secadora tres.

TABLA 5.2
PROCENTAJE DE DESVIACIÓN DE LA HUMEDAD DEL NEPE SECO DE CADA SECADORA CON RESPECTO A LAS ESPECIFICACIONES DE CALIDAD EXIGIDAS POR LA EMPRESA

| Secadora | Humedad del nepe seco experimental (H ± 0,01) % | Especificación de la humedad del nepe seco exigida por la empresa (%) | Porcentaje de desviación estándar (D ± 0,1) % |
|----------|---|---|---|
| 1 | 1,5 | 5 | 70,0 |
| 2 | 1,4 | | 72,0 |
| 3 | 3,5 | | 30,0 |

Al observar las desviaciones que presenta el nepe seco con lo exigido por la empresa, se plantean las siguientes hipótesis de las causas de la problemática:

La cantidad de material húmedo que se esta alimentando (véase tabla 5.1) es insuficiente para la cantidad de vapor suministrado, ya que el fenómeno de la evaporación del agua contenida en el nepe se lleva a cabo en un secador indirecto de

tubos de vapor, y éste funciona a la temperatura del vapor disponible, es decir, la calidad (presión y temperatura) del vapor viene establecida por su proveedor (calderas de servicios industriales) y se le suministra al proceso a un flujo constante ya establecido por la empresa, por lo tanto si se alimenta al proceso de secado poco nepe húmedo para la cantidad de vapor presente, éste le retira mucha humedad al material obteniéndose el producto con baja humedad.

La velocidad de recirculación del proceso de secado es de $65,0 \pm 0,1$ %, quizás se este recirculando demasiado nepe, lo que trae como consecuencia que el material se seque más de lo debido.

La temperatura de operación tal vez es muy alta para la cantidad de material suministrado originando una baja humedad del producto de salida. Todas estas hipótesis se confirmarán más adelante en la investigación.

Debido a la falta de medidor de levadura, no se conoce el caudal exacto que se está suministrando al proceso para verificar su influencia en la humedad del. Más adelante, se explicará las medidas tomadas para evaluar su influencia sobre la variable de respuesta (humedad) en la investigación.

El proceso de secado del nepe, produce un lodo como subproducto, al cual se le determinaron los parámetros característicos siguientes: demanda química de oxígeno (DQO), fósforo y sólidos suspendidos totales (SST), para evaluar que éstos no afecten al proceso donde son tratados una vez que son desechados del Scrubber y cuantificar de forma aproximada la cantidad de nepe que se esta perdiendo del proceso de secado mediante la característica sólidos suspendidos totales, se procedió a determinar los parámetros nombrados.

Los resultados obtenidos mediante la caracterización de los lodos están reportados en la tabla 5.3, observándose que se encuentran por encima de lo exigido por la norma de la empresa para la unidad de cedazo (véase figuras 5.4, 5.5 y 5.6), unidad donde llegan las aguas residuales de la empresa en la planta de tratamientos de

aguas residuales (PTAR). Los parámetros de control de los lodos exigidos por la empresa se pueden visualizar en el Apéndice B, figura C.2.

TABLA 5.3
CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS DESCARGADOS POR EL SCRUBBER DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

| Día | Demanda Química de Oxígeno (DQO ± 100) mg/L | Fósforo (P± 0,01) mg/L | Sólidos suspendidos totales (SST ± 1000) mg/L |
|-----|---|------------------------|---|
| 1 | 16000 | 45,07 | 74000 |
| 2 | 9600 | 42,07 | 83000 |

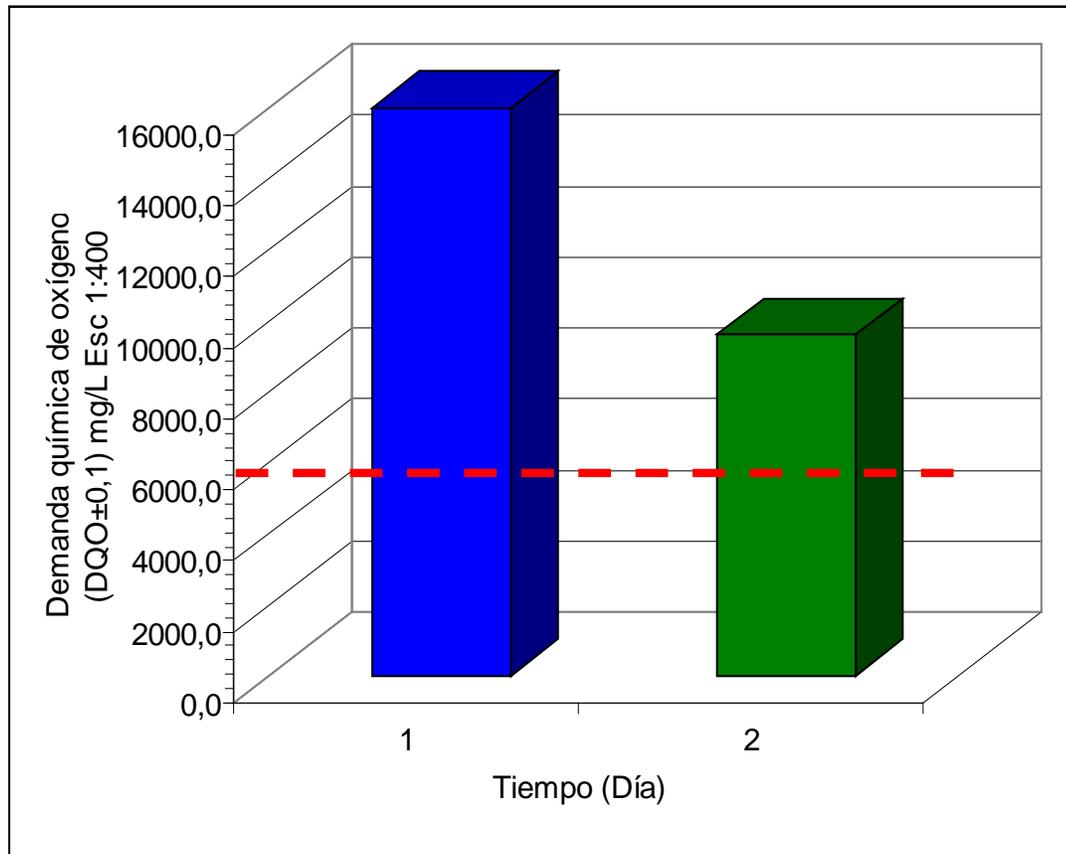


Figura 5.4. Demanda química de oxígeno (DQO) de los lodos.

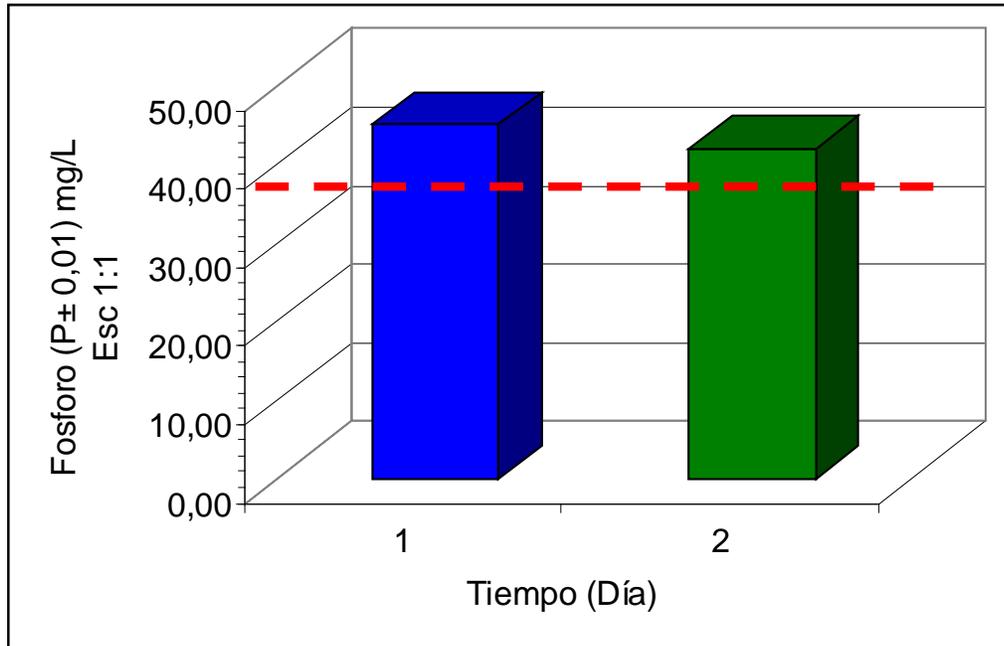


Figura 5.5. Concentración de fósforo de los lodos descargados por el Scrubber.

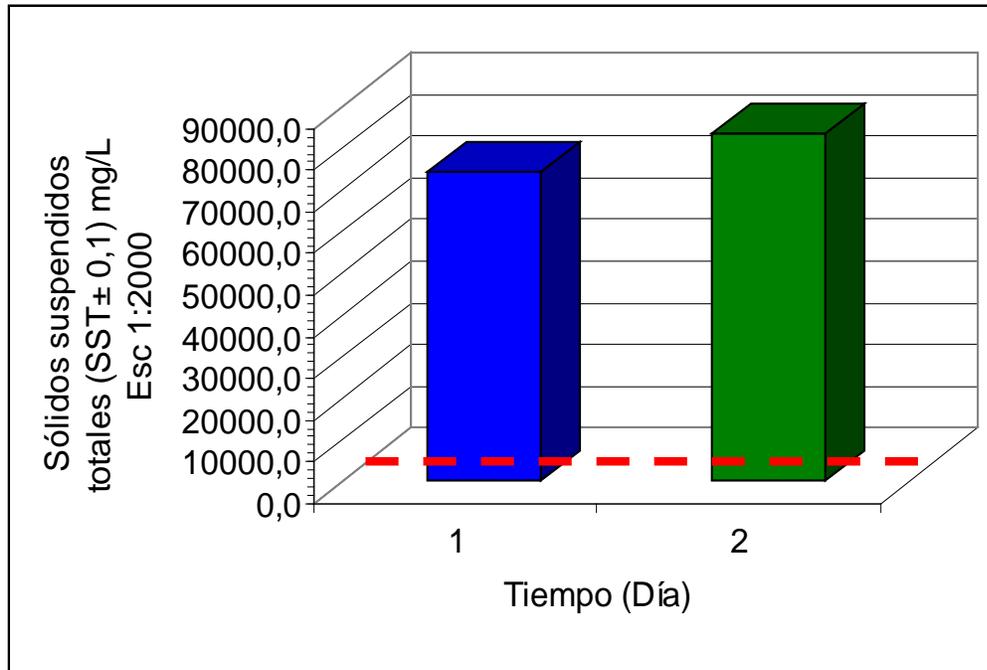


Figura 5.6. Sólidos suspendidos totales de los lodos descargados por el Scrubber.

El alto contenido de los SST evidencia que debido a la baja humedad del nepe seco bajo las condiciones de operación expuestas, éste es más liviano y fácil de succionar por el Scrubber, perdiéndose material que pueda afectar a la unidad de

tratamiento donde se envían al no cumplir con las especificaciones de las variables de operación de la planta de tratamiento.

Los parámetros DQO y fósforo hay que controlarlo para el futuro tratamiento de las aguas residuales, ya que disminuirían las eficiencias de los equipos de la PTAR a la hora de tratar dichos parámetros.

5.3 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

Para llevar a cabo el análisis de las variables involucradas en el proceso de secado del nepe se utilizó la metodología propuesta por Ishikawa, a fin de evaluarlo mejor, verificando la incidencia de cada variable en los sistemas, dando como resultado la figura 5.7.

Las variables involucradas en el diagrama causa efecto son:

Materia Prima: Uno de los factores más importante en la selección de las variables más influyentes en la calidad del nepe seco es la materia prima involucrada las cuales son: nepe húmedo, Levadura y Vapor. Estas van a depender de condiciones de suministro y operación, entre ellas las siguientes:

- **Temperatura:** en la levadura este factor es influyente a la hora de suministrarla al sistema de secado, y en el vapor el controlar este parámetro (o la presión), influye en la temperatura de operación del proceso, la cual garantiza la eficiencia del secado.
- **Velocidad de alimentación o caudal:** Es importante contar con un suministro de nepe húmedo y levadura, y esto es contabilizado mediante dichos parámetros respectivamente.
- **Disponibilidad:** en el caso del nepe húmedo y el vapor, se deben contar con estos componentes para llevar a cabo el proceso de secado.

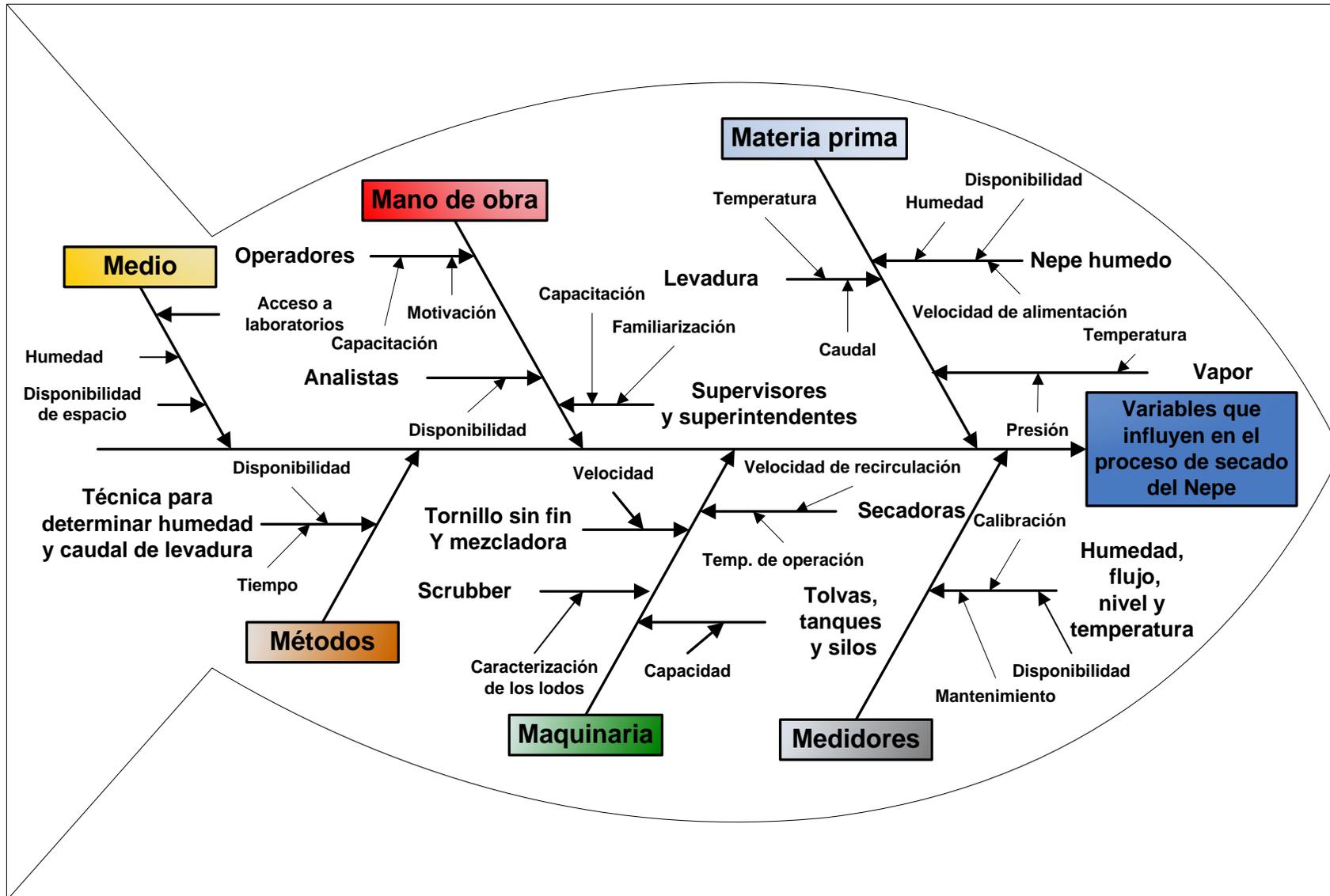


Figura 5.7. Diagrama causa-efecto que permite determinar las variables más influyentes en el proceso de secado del nepe.

Mano de obra: La motivación de hacer las cosas y capacitación de los operadores con el proceso, la disponibilidad de los analistas para evaluar las muestras, y capacitación y familiarización de los supervisores, superintendentes y el experimentador con el proceso, constituyen la mano de obra que influyen en el proceso de secado del nepe a la hora de manipular sus variables.

Maquinaria: El factor maquinaria se relaciona con los equipos involucrados en el proceso, entre ellos están: Tornillos sin fin, mezcladora de alta revolución, hornos rotatorios (secadoras), tolvas, tanques, silos y un Scrubber. Éstos van a depender de variables como: Velocidad de los tornillos sin fin y mezclador, velocidad de la recirculación del horno, capacidad de almacenamiento de los silos tolvas y tanques, entre otras, que van a limitar las condiciones de operación y funcionamiento del proceso de secado del nepe.

Métodos: En la sección de métodos se analiza la técnica a emplear para la determinación de humedad y caudal de levadura. En vista de que involucra el procedimiento a seguir para analizar las muestras de estudio, influye directamente en los resultados que se esperan. Los factores considerados son:

- Tiempo: la duración de la técnica empleada para determinar la humedad del nepe al finalizar el proceso de secado y el caudal de levadura.
- Disponibilidad de la técnica: es importante contar con los pasos a seguir en la metodología para determinar la humedad del nepe y el caudal de levadura, así como disponibilidad de los equipos involucrados en la misma.

Medición: El factor medición involucra los equipos de medición de humedad, flujos, nivel y temperatura instalados en el proceso de secado, y van a depender de factores como:

- Mantenimiento: El correcto mantenimiento de los equipos influye de manera considerable en su uso y manejo.

- **Calibración:** Si los equipos están calibrados o su calibración se puede realizar fácilmente.
- **Disponibilidad:** Los medidores de las variables deben estar instalados en el proceso, para la manipulación de las mismas de forma automática.

Medio ambiente: El factor medio ambiente está constituido por el lugar donde se realice la experimentación y además de cómo éste afecta la calidad del producto de salida del proceso.

- **Laboratorios:** Por ser el lugar donde se realizaran las experimentaciones, deben poseer los equipos necesarios en buen funcionamiento y además deben ser de fácil acceso.
- **Humedad:** Por ser la característica de calidad a optimizar en el proceso, se debe garantizar que las muestras no absorban humedad del ambiente.

Todas las variables expuestas en el diagrama causa – efecto fueron resultado de una tormenta de ideas realizadas en una reunión asistida por el superintendente de proyectos y control de procesos, coordinadores de proyectos, superintendente de mantenimiento y experimentador, realizando un descarte de variables que no interfieren en la humedad del nepe seco, tal como sigue a continuación:

La **materia prima** del proceso de secado del nepe son: el nepe húmedo y la levadura. El vapor es el agente térmico; el factor disponibilidad en cada materia prima se descarta, ya que la levadura y el nepe húmedo son desechos del proceso cervecero. Cada vez que se hagan cocimientos va a haber esta materia prima. El vapor es suministrado por el área de sala de maquinas de la empresa garantizando su calidad en 4 bar de presión.

La humedad del nepe húmedo está en un rango entre (73 - 75) %, esto fue verificado experimentalmente por varios días para garantizar este factor como

constante, ya que esta materia prima es el resultado de la mezcla de los diferentes tipos de afrechos retirado según el tipo de mosto que se este cociendo, es decir, de un mosto de malta o cervezas. Este factor no se considera en el estudio debido a que no varía notablemente, de variar sería considerado un factor no controlable.

La variable temperatura de la levadura es descartada, ya que del área de centrifugación de donde es generada, la envían autolizada, por lo tanto es considerada como constante para permanecer en dicho estado.

La velocidad de alimentación del nepe es una variable que influye en la humedad del nepe seco, ya que puede ser manipulado por el operador, y la variable de respuesta (humedad) se ve influenciada con una variación de la velocidad de alimentación del material. Por la misma razón se puede decir que el caudal de alimentación de la levadura es influyente en el proceso de secado del nepe.

La temperatura y presión del vapor están intrínsecamente relacionadas, ya que al modificar una varía la otra, esta variable no puede ser controlada por el proceso ya que el vapor es enviado desde las calderas instaladas en el área de servicios industriales de la empresa, con cierta presión y temperatura ya establecida, por esta razón no es considerada como factor, ya que es una variable no controlable.

El factor **mano de obra** de la espina de pescado tiene como variables influyentes en el proceso de secado a los supervisores, analistas, supervisores y superintendentes, éstos son descartados de ser un problema ya que a la hora de contratarlos se garantiza que posean un perfil calificado para ocupar el puesto, por lo que la mano de obra que operan en el proceso posee la motivación y capacitación necesaria para realizar el trabajo, así como disponibilidad y familiarización con los sistemas.

El factor **medio ambiente** se descarta como variables de estudio en el proceso de secado del nepe, ya que el lugar donde se van a realizar los experimentos es el laboratorio de calidad de la empresa, y éste se encuentra equipado, con disponibilidad de espacio para realizar los experimentos y presenta accesibilidad al experimentador a toda hora del día que lo necesite. Por otra parte el factor medio ambiente también esta

relacionado con como éste afecta a la muestra, esto se controla con el uso de recipientes herméticos para la recolección de la muestra y a la hora de almacenarla antes o después de analizarla se dispone de desecadores.

El factor **métodos** es descartado debido a que las variables vinculadas con las técnicas para determinar la humedad y el caudal de levadura están controlados, ya que antes de realizar los experimentos se hicieron corridas pilotos para evaluar el tiempo de experimentación y la disponibilidad de las metodologías realizadas, resultando métodos confiables y viables para realizar la experimentación.

En el caso del factor **maquinaria** la variable que se considera más influyente en el proceso de secado es la temperatura de operación de la secadora en vista de que al modificarla se ve afectada la humedad del nepe seco y es manipulable por los operadores. Los parámetros DQO, SST y fósforo de los lodos producidos en el scrubber afectan a futuros procesos donde son enviados para ser tratados, por ende no influyen directamente en el proceso de secado del nepe, sin embargo es necesario caracterizarlos para verificar que se encuentren dentro de las normas de operación de los futuros sistemas. La velocidad de recirculación de la secadora se descarta como variable influyente debido a que se propone minimizarla lo máximo posible dejándola en un valor constante de 25 % de frecuencia de velocidad, valor establecido en la reunión ya nombrada.

La velocidad de los tornillos sin fin y del mezclador de alta revolución instalados como sistema de alimentación al proceso de secado del nepe, son descartados como variables influyentes en el proceso ya que éstas no pueden ser controladas por el operador y dependen de la velocidad de alimentación de nepe húmedo al sistema, al modificarla varía las velocidades de los equipos nombrados.

La capacidad de almacenamiento de los silos no influye en el proceso de secado ya que éstos fueron dimensionados para almacenar la cantidad de nepe húmedo y seco producidos.

Los **medidores** de humedad, nivel y temperatura instalados en el proceso de secado del nepe se le realizan continuamente calibración y mantenimiento, por ende no son variables influyentes en el proceso de secado, sin embargo hay variables como flujos de alimentación de nepe húmedo y flujo de la recirculación de nepe en la secadora que no poseen medidores instalados en el proceso pero se dispone de metodologías aplicables para determinarlos de forma experimental.

Una vez realizado el descarte (véase figura 5.8), se establecieron como variables más influyentes en el proceso de secado las siguientes: la velocidad de alimentación del nepe húmedo, la temperatura de operación y el caudal de alimentación de levadura, las cuales se estudiarán para encontrar una combinación de éstas que permitan producir el nepe seco dentro de normativa.

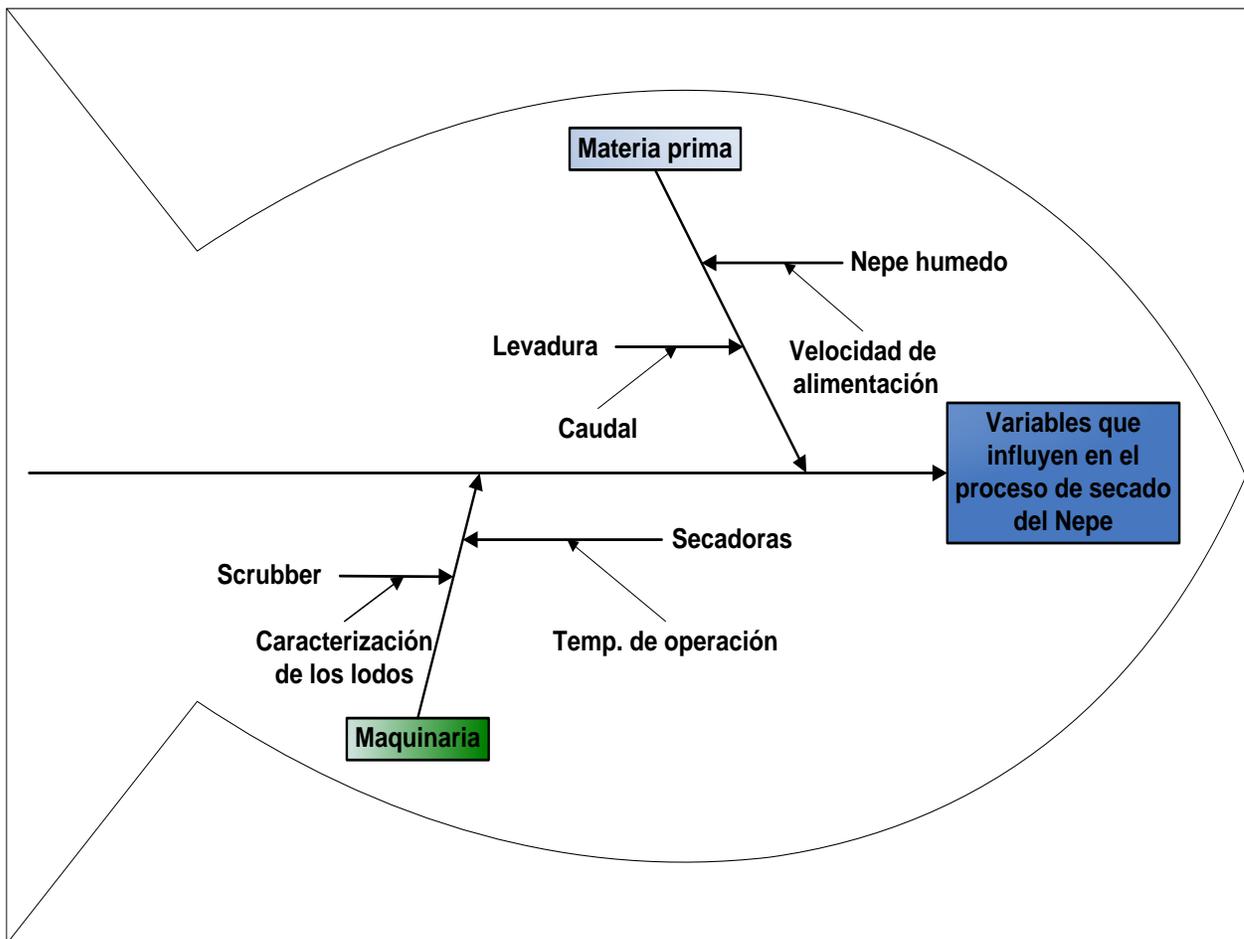


Figura 5.8. Diagrama causa-efecto con las variables más influyentes en el proceso de secado del nepe.

5.4 DETERMINACIÓN DE UNA NUEVA MANERA DE OPERAR EL PROCESO MODIFICANDO LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES.

En el campo de la industria es una práctica común hacer experimentos o pruebas con la intención de que al mover o hacer algunos cambios en las condiciones de operación del proceso se puedan detectar, resolver o minimizar los problemas de calidad que presente el producto.

El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma eficaz de hacer pruebas en el proceso, ya que proporciona la técnica y estrategia necesarias para llevar de manera eficaz los procesos a mejores condiciones de operación. En su parte modular, el diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas y cómo es que se deben realizar, para obtener los datos que al analizarlos estadísticamente se obtengan conclusiones y decisiones que deriven en mejoras del desempeño del proceso. (Gutiérrez, 2004)

Según lo planteado anteriormente se utilizó como herramienta de evaluación del proceso de secado del nepe un diseño de experimento factorial 2^3 , que consiste en modificar las tres variables influyentes resultados del objetivo anterior a dos niveles de operación para cada secadora, para así tomar la data que permitirá realizar el estudio y encontrar la mejor condición de operación que produzca nepe seco en los valores de calidad exigidos por la empresa (5-8) % de humedad, los diseños de experimentos obtenidos utilizando el software STATGRAPHICS plus se encuentran reportados en apéndice B.2 figuras B.2.1, B.2.7 Y B.2.13.

Los niveles de estudios se determinaron mediante consulta con los operadores, supervisores y el superintendente de coordinación y control de procesos de la empresa, dando como resultados los propuestos para la elaboración del diseño de experimento explicado anteriormente. La selección de los niveles está basada en la optimización del proceso de secado, tomando en cuenta los siguientes factores:

Humedad del nepe seco: El objetivo principal de la optimización del proceso de secado es encontrar una forma de operación donde el producto se obtenga con una humedad entre 5-8 %.

Nivel de producción: Se consideró aumentar el flujo de alimentación de nepe húmedo para obtener mayor producto que ofrecer al mercado agro-industrial y mayor eficiencia del proceso, además que como se pudo evidenciar en objetivos anteriores el nepe seco poseía una humedad muy baja (véase tabla 5.1) debido a que se le estaba suministrando poco material.

Consumo de levadura: En la variable caudal de levadura del diseño de experimento se consideraron valores que satisficieran la cantidad de levadura desechada del proceso cervecero, ya que con los flujos que se estaban trabajando no se consumía en su totalidad, teniendo que tomar medidas que generaban pérdidas económicas a la planta y gran impacto a la hora de tratar este microorganismo.

Una vez desarrollado el diseño de experimento, se procedió a aplicarlo a cada secadora involucrada en el proceso, siguiendo el orden establecido por el worksheet (hoja de trabajo presentada por el software) resultando un muestreo constituido por 24 muestras por secadoras (véase Apéndice B.2 figuras B.2.1, B.2.7 Y B.2.13), haciendo un total de 72 muestras a recopilar en el estudio de las tres secadoras involucradas en el proceso de secado del nepe. Luego, se suministro la característica humedad determinada a cada muestra analizada en la casilla de la variable de respuesta del worksheet, para ser analizada la influencia de las variables propuestas en el capítulo anterior mediante parámetros y gráficos estadísticos como los que se presentan a continuación:

El análisis estadístico de las variables más influyentes en el proceso de secado para la secadora número uno se encuentran reportados en la tabla 5.4 y la gráfica 5.9, originando los siguientes resultados, los cuales reflejaran el efecto de influencia de cada variable de acuerdo a la herramienta del pareto estandarizado y el descarte o no de la hipótesis nula evaluada por el parámetro del estadístico de prueba (p -value):

TABLA 5.4
EFFECTOS Y PÁRAMETROS ESTADÍSTICOS INVOLUCRADOS EN EL ANÁLISIS DE
LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES DE LA SECADORA UNO

| Variables | Efectos ($E \pm 0,0001$) adim | Significancia calculada ($p\text{-value} \pm 0,0001$) adim |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| Velocidad de alimentación del nepe | 9,3600 | 0,0000 |
| Caudal de alimentación de levadura | 4,4025 | 0,0065 |
| Temperatura de operación | -4,8650 | 0,0037 |

Pareto Estandarizado: Usando las herramientas establecidas en la metodología (Startgraphics) se estimaron cada efecto o también conocidos como cambios observados en la variable de respuesta (humedad) debido a un cambio de nivel en los factores, obteniéndose los resultados reportados en la tabla 5.4. Estos efectos se estandarizaron determinando su desviación estándar para graficarse luego en un diagrama de pareto generado por el software, visualizándose cuáles efectos tienen un mayor impacto o incidencia sobre la humedad del nepe seco (véase figura 5.9).

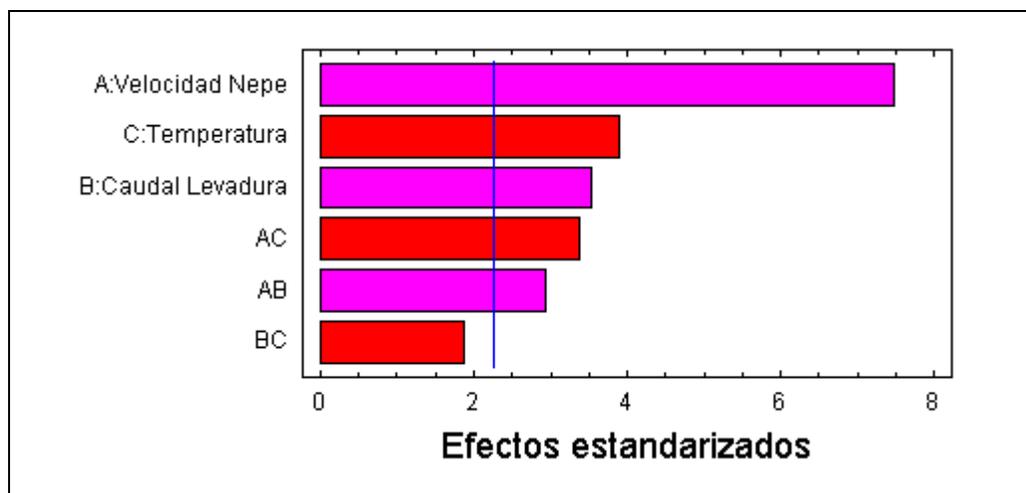


Figura 5.9. Diagrama de pareto estandarizado para la humedad del nepe a la descarga de la secadora uno.

El gráfico de Pareto para la secadora 1 muestra que las variables: velocidad de alimentación del nepe, temperatura de operación del horno rotatorio y el caudal de alimentación de la levadura influyen notoriamente sobre la humedad del nepe seco en orden decreciente al nombrado, observándose que las barras que representan dichas variables se encuentran por encima de la línea que representa el mínimo de influencia sobre la variable de respuesta (Gutiérrez, 2004).

El hecho de que la velocidad de alimentación resultase influyente en el proceso de secado es totalmente lógico, ya que es la variable que controla el suministro de material al sistema. A una temperatura constante y alta alimentación de nepe húmedo mayor va a ser la humedad del nepe seco al finalizar el tratamiento (véase figura 5.10). Este resultado está asociado a la capacidad del agente térmico en retirar humedad del material. Mientras más sea la velocidad de alimentación, mayor es la cantidad de nepe que el agente térmico tiene que secar, lo que genera una disminución de la eficiencia del vapor, resultando un material con un contenido de humedad alto.

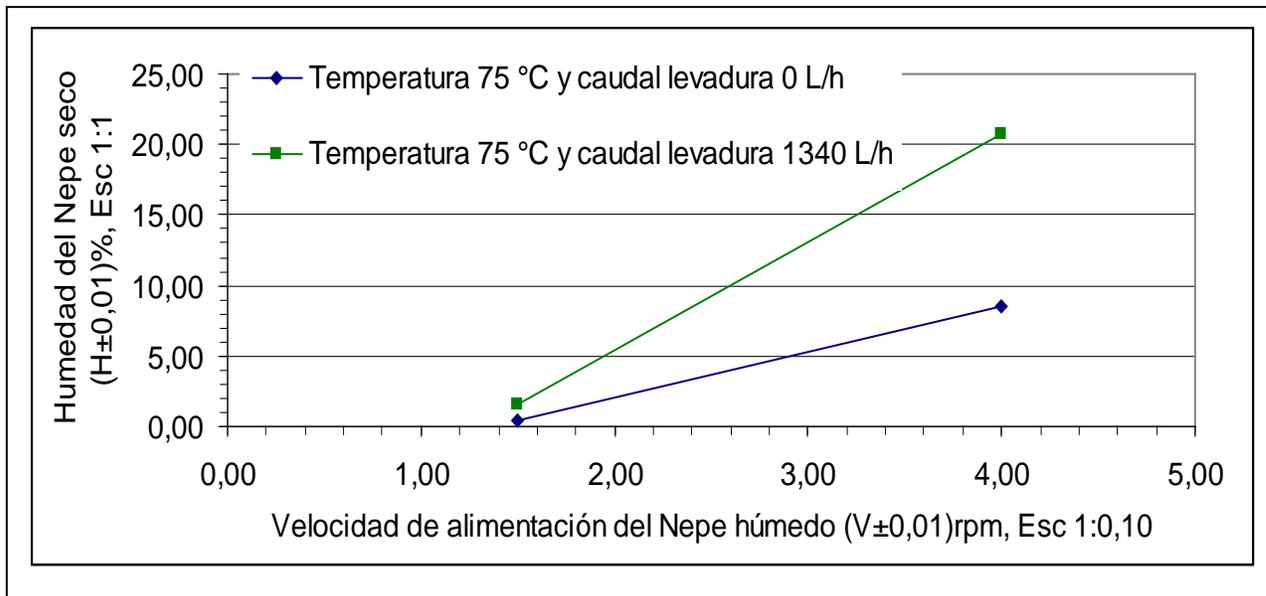


Figura 5.10. Comportamiento de la humedad del producto de la secadora uno de acuerdo a la variación de la velocidad de alimentación de nepe húmedo y el caudal de levadura.

El caudal de alimentación de levadura al proceso de secado también resultó influyente sobre la humedad del nepe (véase grafica 5.9). Al aumentar el suministro de esta materia prima con las demás variables constante se incrementa el contenido de humedad del nepe seco (véase graficas 5.10 y 5.11), e incrementa el contenido proteico del producto, principal objetivo del microorganismo en el proceso. Al seleccionar los niveles de estudio de esta variable, se consideró un punto critico el máximo caudal de levadura que se podría alimentar sin afectar la presentación del nepe seco, ya que al suministrarla en exceso forma grumos con el nepe húmedo, disminuyendo la calidad del producto, formando una capa que genera una resistencia térmica que disminuye la transferencia de calor, produciendo finalmente un incremento de la humedad del producto.

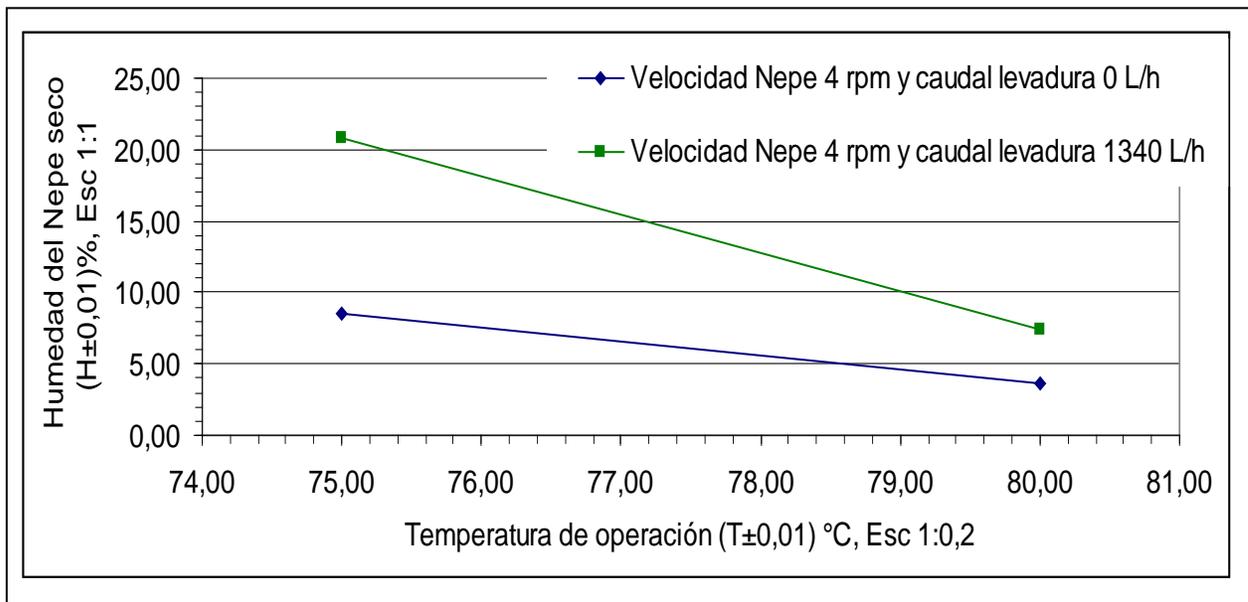


Figura 5.11. Comportamiento de la humedad del producto de la secadora uno de acuerdo a la variación de la temperatura de operación y el caudal de levadura.

El secado de sólidos se refiere generalmente a la separación de un líquido de sólido por evaporación, usando como fuerza impulsora una variación de temperatura que permitirá efectuar el fenómeno (Perry, 2001). De esta forma se justifica el hecho que la temperatura de operación resulte influyente en el proceso de secado, ya que esta variable va a ser la encargada de realizar el principal efecto sobre el material, es decir, la evaporación del agua en el proceso. Al modificar la variable según los niveles establecidos resulto que a mayor temperatura menor va a ser la humedad del nepe

seco dejando el resto de las variables constantes (véase grafica 5.11), esta tendencia es la esperada ya que mientras más alta sea la temperatura mayor cantidad de agua logra evaporar del nepe.

Estadístico de prueba (p-value): Este parámetro permite rechazar o no la hipótesis nula planteada, si el estadístico de prueba cae en la región de rechazo (Gutiérrez, 2004). El p-value determinado con el Statgraphics para cada variable de estudio, se comparó con el parámetro “ α ” que representa a la significancia predefinida, estableciendo el máximo riesgo que el experimentador está dispuesto a correr de rechazar la hipótesis nula (H_0) indebidamente. Con estos parámetros se puede rechazar la H_0 si la significancia observada es menor que la dada, es decir, si $p\text{-value} < \alpha$, el valor recomendado por Gutiérrez (2004) de significancia predefinida es de 0,05.

Para el estudio se planteó la siguiente hipótesis nula: La velocidad de alimentación del nepe húmedo, temperatura de operación y caudal de alimentación de levadura no son variables influyentes en el proceso de secado. Usando la herramienta Statgraphics se determinó el p-value a las variables propuestas, dando como resultado lo reportado en la tabla 5.4.

Los valores de p-value para las tres variables de estudio resultaron menor a 0,05, que coincide con lo visto en el diagrama de pareto, lo que trae como consecuencia el descarte de la hipótesis nula planteada, verificando de esta forma la influencia de las variables en el proceso de secado del nepe.

Al verificar la influencia de las variables en la humedad del nepe seco y evaluar su comportamiento, se utilizó el statgraphics para buscar de acuerdo al diseño experimental elaborado una combinación de las variables que permita obtener el nepe seco con la especificación de humedad requerida, resultando la combinación reportada en la tabla 5.5. Este punto óptimo se ubico con la ayuda de la herramienta propuesta en la metodología como superficie de respuesta, la cual describe el comportamiento de la vibración sobre la región experimental (véase figura 5.12). Esta herramienta se utiliza ampliamente para optimizar procesos, maximizar o minimizar producción, buscando combinaciones de los niveles de las variables de estudio (Gutiérrez, 2004).

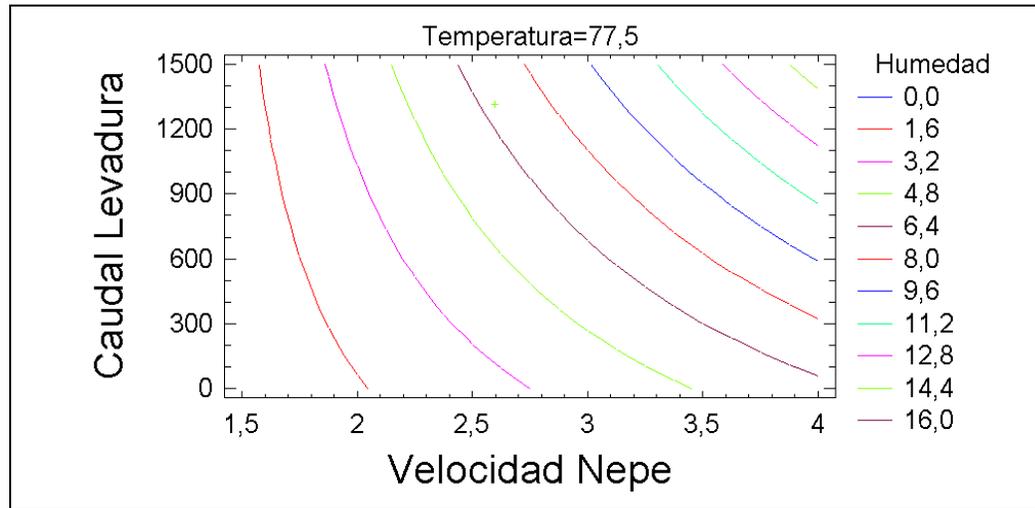


Figura 5.12. Contornos de la superficie de respuesta estimada para la operación de la secadora número uno.

Para el estudio planteado en la secadora uno, el punto óptimo encontrado satisface las propuestas deseadas en el producto, ya que se aumentó la velocidad de alimentación del nepe lo cual genera mayor producción de nepe seco. Se obtuvo mayor consumo de levadura que mejora la cantidad remanente en el proceso cervecero, y la operación se efectúa a una temperatura de operación viable en el rango de calefacción que puede generar el vapor suministrado por sala de maquina. Todas estas condiciones ofrecen a su vez el producto con una humedad de 6,5 % según el software (véase tabla 5.5).

TABLA 5.5
PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN DE LA SECADORA NÚMERO UNO
DETERMINADO POR EL PROGRAMA STATGRAPHICS

| Velocidad de alimentación del nepe húmedo (Vn ± 0,1) rpm | Caudal de alimentación de levadura (C ± 0,1) L/h | Temperatura de operación (T ± 0,01) °C | Humedad del nepe seco óptima (H ± 0,1) % |
|--|--|--|--|
| 2,6 | 1300,0 | 77,68 | 6,5 |

El análisis estadístico de las variables más influyentes en el proceso de secado para la secadora número dos se encuentran reportados en la tabla 5.6 y la gráfica 5.13, originando los siguientes resultados:

TABLA 5.6
EFFECTOS Y PÁRAMETROS ESTADÍSTICOS INVOLUCRADOS EN EL ANÁLISIS DE
LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES DE LA SECADORA DOS

| Variables | Efectos ($E \pm 0,0001$) adim | Significancia calculada ($p\text{-value} \pm 0,0001$) adim |
|------------------------------------|---------------------------------|--|
| Velocidad de alimentación del nepe | 3,3125 | 0,0000 |
| Caudal de alimentación de levadura | 2,3125 | 0,0009 |
| Temperatura de operación | -6,8625 | 0,0000 |

La velocidad de alimentación del nepe húmedo, la temperatura de operación y el caudal de alimentación de levadura al proceso, influyen en la humedad del nepe seco producido, este hecho se puede visualizar en la figura 5.13.

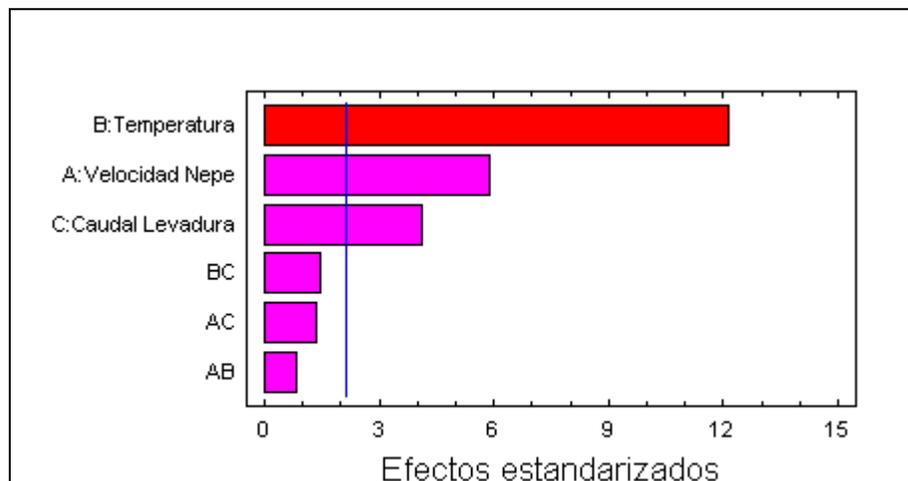


Figura 5.13. Diagrama de Pareto estandarizado para la humedad del nepe a la descarga de la secadora dos.

Al evaluar el comportamiento de cada variable por separado dejando las demás constante en el proceso de secado (véase figuras 5.14 y 5.15), se obtuvieron las

tendencias esperadas, de acuerdo a lo explicado en el estudio realizado a la secadora uno.

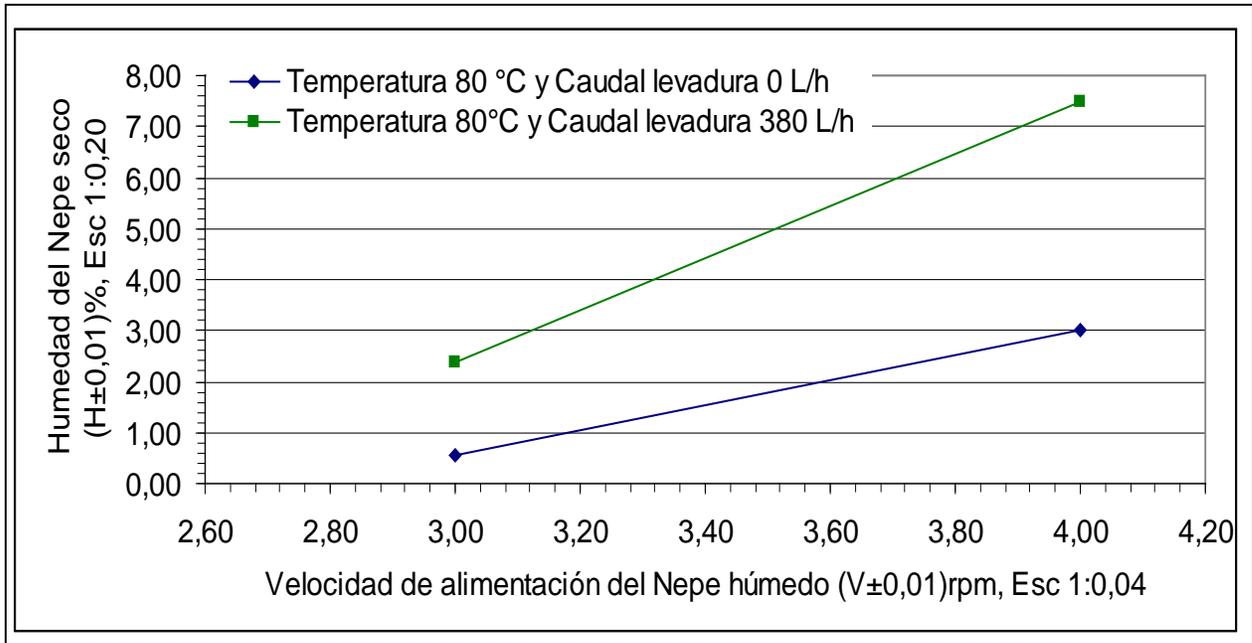


Figura 5.14. Comportamiento de la humedad del producto de la secadora dos de acuerdo a la variación de la velocidad del de nepe y el caudal de levadura.

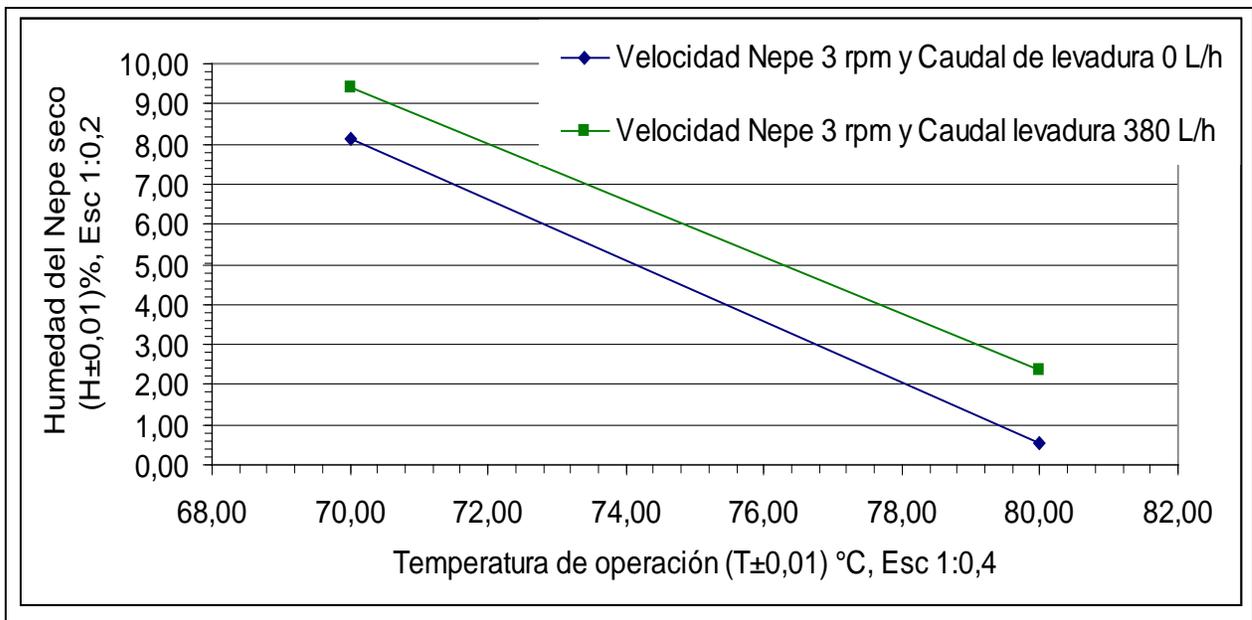


Figura 5.15. Comportamiento de la humedad del producto de la secadora dos de acuerdo a la variación de la temperatura de operación y el caudal de levadura.

De igual forma que en el estudio de la secadora anterior se descarta la hipótesis nula planteada (La velocidad de alimentación del nepe húmedo, temperatura de operación y caudal de alimentación de levadura no son variables influyentes en el proceso de secado), ya que los valores de p-value de las variables de estudiadas resultaron menor a 0,05 (véase tabla 5.6).

Para la secadora número dos se encontró un punto óptimo reportado en la tabla 5.7, utilizando como herramienta la superficie de respuesta resultado del diseño experimental planteado para este sistema (véase figura 5.16).

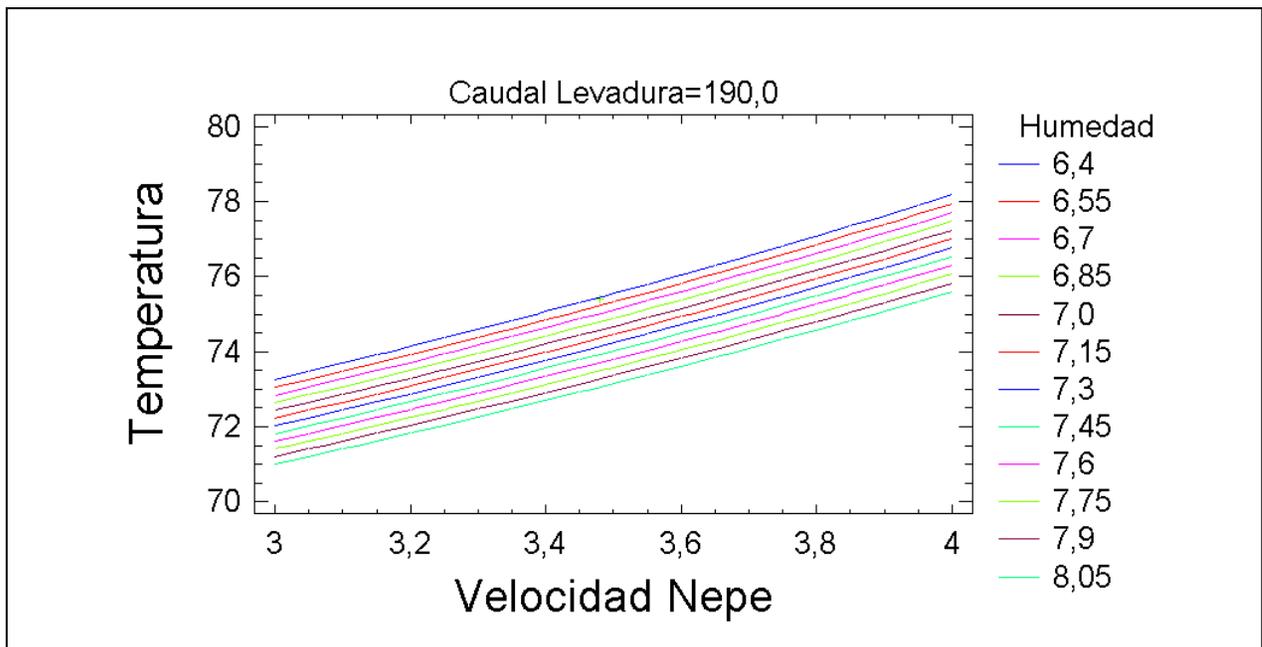


Figura 5.16. Contornos de la superficie de respuesta estimada para la operación de la secadora número dos.

El punto de operación para esta secadora involucra una mayor alimentación de nepe húmedo al sistema que la secadora anterior, a un menor caudal de levadura y una temperatura de operación similar. Estas diferencias se deben a que las dimensiones de las secadoras difieren, siendo la dos de mayor tamaño que la uno (véase apéndice B.1 tabla B.4), y a diferencias de distribución interna que presentan las secadoras.

TABLA 5.7
PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN DE LA SECADORA NÚMERO DOS
DETERMINADO POR EL PROGRAMA STATGRAPHICS

| Velocidad de alimentación del nepe húmedo ($V_n \pm 0,1$) rpm | Caudal de alimentación de levadura ($C \pm 0,1$) L/h | Temperatura de operación ($T \pm 0,01$) °C | Humedad del nepe seco óptima ($H \pm 0,1$) % |
|--|---|---|---|
| 3,5 | 200,0 | 75,42 | 6,5 |

El análisis estadístico de las variables más influyentes en el proceso de secado para la secadora número tres se encuentran reportados en la tabla 5.8 y la gráfica 5.17, originando los siguientes resultados:

TABLA 5.8
EFFECTOS Y PÁRAMETROS ESTADÍSTICOS INVOLUCRADOS EN EL ANÁLISIS DE
LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES DE LA SECADORA TRES

| Variables | Efectos ($E \pm 0,0001$) adim | Significancia calculada ($p\text{-value} \pm 0,0001$) adim |
|------------------------------------|---------------------------------|---|
| Velocidad de alimentación del nepe | 7,7823 | 0,0000 |
| Caudal de alimentación de levadura | 5,9123 | 0,0001 |
| Temperatura de operación | -7,4127 | 0,0000 |

La velocidad de alimentación del nepe húmedo, la temperatura de operación y el caudal de alimentación de levadura al proceso, influyen en la humedad del nepe seco producido, este hecho se puede visualizar en la figura 5.17.

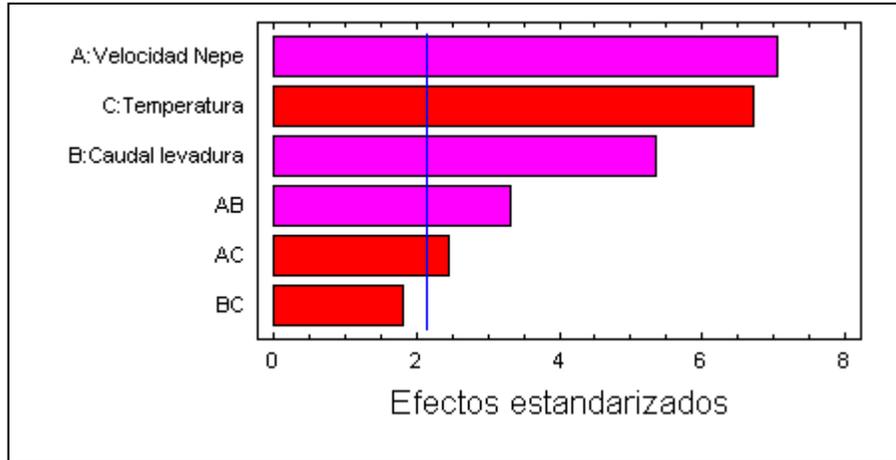


Figura 5.17. Diagrama de Pareto estandarizado para la humedad del nepe a la descarga de la secadora tres.

Al evaluar el comportamiento de cada variable por separado dejando las demás constante en el proceso de secado (véase figuras 5.18 y 5.19), se obtuvieron las tendencias esperadas, de acuerdo a lo explicado en el estudio realizado a la secadora uno.

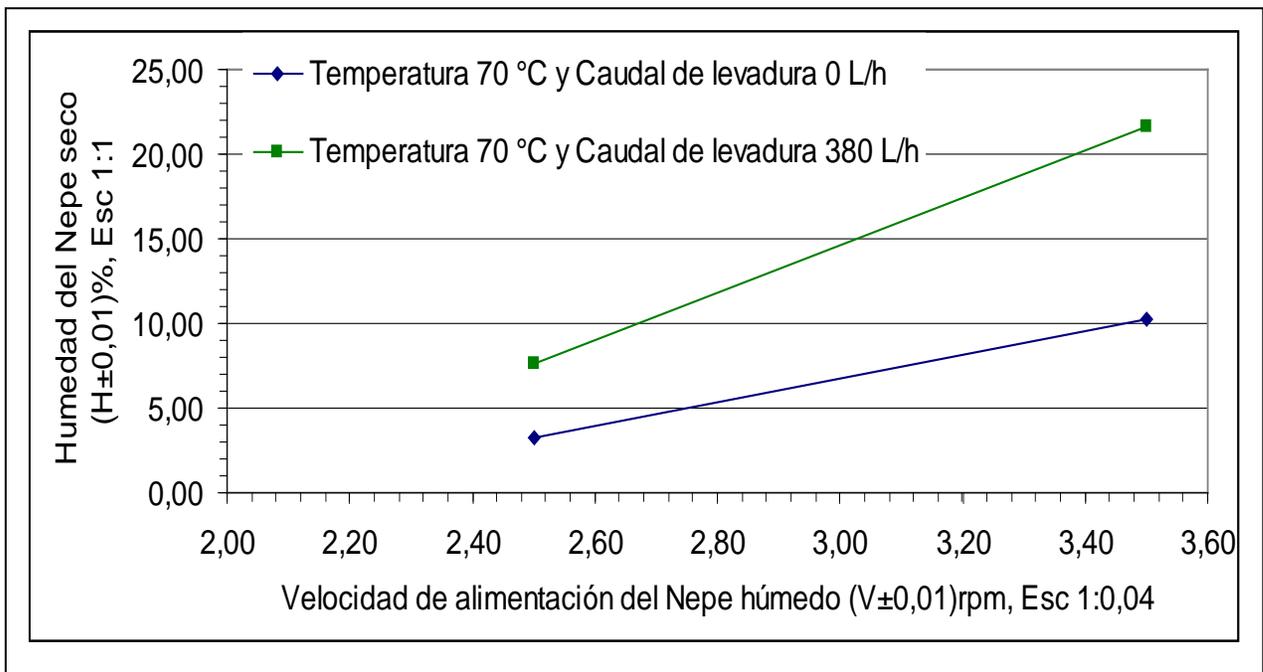


Figura 5.18. Comportamiento de la humedad del producto de la secadora tres de acuerdo a la variación de la velocidad del de nepe y el caudal de levadura.

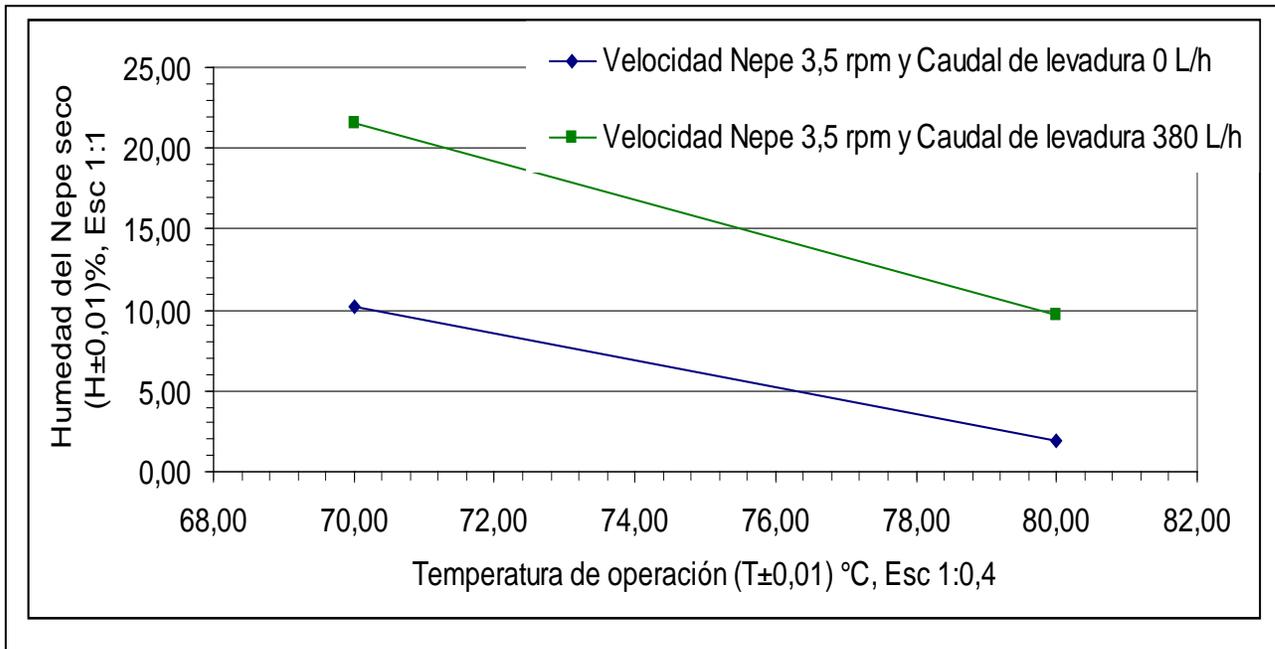


Figura 5.19. Comportamiento de la humedad del producto de la secadora tres de acuerdo a la variación de la temperatura de operación y el caudal de levadura.

De igual forma que en el estudio anterior se descarta la hipótesis nula planteada (La velocidad de alimentación del nepe húmedo, temperatura de operación y caudal de alimentación de levadura no son variables influyentes en el proceso de secado), ya que los valores de p-value de las variables de estudiadas resultaron menor a 0,05 (véase tabla 5.8).

Para la secadora número tres se encontró un punto óptimo reportado en la tabla 5.9, utilizando como herramienta la superficie de respuesta resultado del diseño experimental planteado para este sistema (véase figura 5.20).

El punto de operación encontrado por el programa para la secadora número tres satisface las propuestas establecidas en el producto y en el proceso, ya que se plantea obtener un nepe seco con una humedad de 6,5 % con un incremento de nepe húmedo alimentado, mayor caudal de levadura y a una temperatura de operación viable para el vapor suministrado, comparado con las condiciones que operaba originalmente el sistema expuestas en objetivos anteriores.

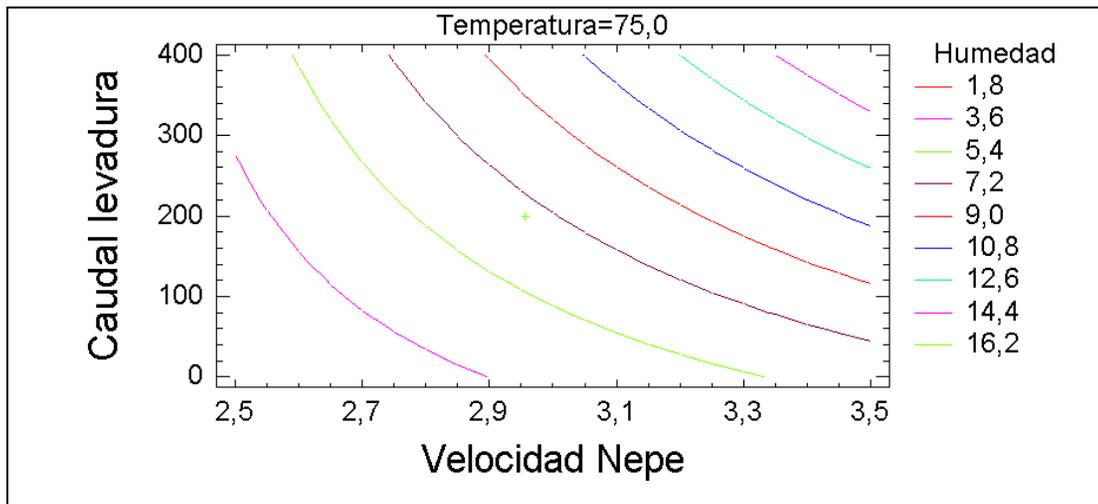


Figura 5.20. Contornos de la superficie de respuesta estimada para la operación de la secadora número tres.

TABLA 5.9
PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN DE LA SECADORA NÚMERO TRES
DETERMINADO POR EL PROGRAMA STATGRAPHICS

| Velocidad de alimentación del nepe húmedo (Vn ± 0,1) rpm | Caudal de alimentación de levadura (C ± 0,1) L/h | Temperatura de operación (T ± 0,01) °C | Humedad del nepe seco óptima (H ± 0,1) % |
|--|--|--|--|
| 3,0 | 200,0 | 75,38 | 6,5 |

5.5 COMPARACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SALIDA DEL NEPE ANTES Y DESPUES DE MANIPULAR LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES.

Para evaluar las mejoras obtenidas en la calidad del producto y en producción se utilizó como herramienta la comparación de los flujos de salida de nepe seco y la humedad que poseía el material de forma de con las ecuaciones tales (metodología) determinar el incremento o decremento que pudo tener cada parámetro, siguiendo los pasos que se enuncian a continuación:

El punto óptimo de operación establecido para cada secadora en el objetivo anterior, se instaló en el proceso de secado del nepe para evaluar por un tiempo de un

día de faena laboral la humedad del producto al operar el sistema de acuerdo a dichas condiciones, resultando lo siguiente:

**TABLA 5.10
VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ÓPTIMAS PARA CADA
SECADORA INSTALADA EN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE**

| Secadora | Velocidad de alimentación del nepe húmedo (Vn ± 0,1) rpm | Caudal de alimentación de levadura (C ± 0,1) L/h | Temperatura de operación (T ± 0,01) °C | Humedad del nepe seco óptima (H ± 0,01) % |
|----------|--|--|--|---|
| 1 | 2,6 | 1300,0 | 77,00 | 4,32 |
| 2 | 3,5 | 200,0 | 75,00 | 6,21 |
| 3 | 3,0 | 200,0 | 75,00 | 6,27 |

En la tabla 5.10 se puede observar que las condiciones de operación establecidas producen un nepe seco que cumplen las especificaciones de calidad exigidas por la empresa (5-8) % de humedad. Además en el caso de las secadoras dos y tres resultaron muy cercanas a la humedad propuesta por el programa para esas condiciones de operación (véase tablas 5.7 y 5.9).

La secadora número uno presentó fallas mecánicas que limitaron la recolección de muestras y verificación continua de las condiciones de operación propuestas (punto óptimo), eso influyó en el resultado reportado en la tabla 5.10, por lo que se propone que al solventar las fallas presentadas se realice la verificación del punto óptimo.

La verificación realizada en el proceso valida el estudio propuesto sobre la obtención del nepe seco con una humedad entre (5-8) % y un aumento de su producción al incrementar la alimentación del material húmedo, lo cual era el objetivo principal de la investigación. Este hecho se comprueba al determinar el incremento

entre las condiciones de salida del nepe seco al inicio de la investigación y las condiciones al modificar las variables más influyentes, resultando lo reportado en la siguiente tabla:

**TABLA 5.11
COMPARACIÓN DE LOS FLUJOS DE SALIDA DEL NEPE SECO ANTES Y DESPUÉS DE MANIPULAR LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO DE SECADO**

| Secadora | Flujo de salida antes de manipular las variable ($F_o \pm 0,001$) kg/h | Flujo de salida después de manipular las variable ($F_f \pm 0,001$) kg/h | Porcentaje de incremento del flujo ($I_n \pm 0,01$) % |
|----------|---|---|--|
| 1 | 964,024 | 1874,186 | 48,56 |
| 2 | 473,058 | 1463,093 | 67,67 |
| 3 | 561,096 | 1135,140 | 50,57 |

**TABLA 5.12
COMPARACIÓN DE LA HUMEDAD DEL NEPE SECO ANTES Y DESPUÉS DE MANIPULAR LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO DE SECADO**

| Secadora | Humedad del nepe seco antes de manipular las variable ($H_o \pm 0,01$) % | Humedad del nepe seco después de manipular las variable ($H_f \pm 0,01$) % | Porcentaje de incremento de la humedad del nepe seco ($I_h \pm 0,01$) % |
|----------|---|---|--|
| 1 | 1,50 | 6,50 | 76,92 |
| 2 | 1,40 | 6,50 | 78,46 |
| 3 | 3,50 | 6,50 | 46,15 |

Con lo propuesto anteriormente se plantea rediseñar el programa de automatización del proceso, estableciendo como condiciones de operación las

determinadas en la investigación (véase tablas 5.5, 5.7 y 5.9), con el fin de obtener el nepe seco con las especificaciones de calidad exigidas y aumente su producción.

Al instalar as condiciones óptimas de operación en el proceso, se procedió a caracterizar nuevamente los lodos que descarga el Scrubber a la PTAR, resultando lo reportado en la siguiente tabla:

TABLA 5.13
CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS DESCARGADOS POR EL SCRUBBER DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE DESPUÉS DE MANIPULAR LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO

| Día | Demanda Química de Oxígeno (DQO \pm 100) mg/L | Fósforo (P \pm 0,01) mg/L | Sólidos suspendidos totales (SST \pm 1000) mg/L |
|-----|---|-----------------------------|---|
| 1 | 8000 | 48,97 | 40000 |
| 2 | 9200 | 50,74 | 29000 |

Los resultados reportados en la tabla 5.13 muestran que los parámetros característicos de lodos descargados por el Scrubber siguen estando por encima de los exigidos por la PTAR (véase apéndice C figura C.2), por lo que se recomienda un estudio adicional a este equipo para regular dichos parámetros. Cabe destacar que la cantidad de lodos emitido por el sistema no es tan representativo con respecto a la cantidad de agua desechada del proceso cervecero que se une a éstos para luego ser tratados en la PTAR, sin embargo no esta demás que se mantengan controlados para disminuir cualquier impacto que puedan realizar.

La variable de la caracterización de los lodos más importante para el proceso de secado del nepe a evaluar son los sólidos suspendidos totales (SST), ya que ésta representa de cierta forma la cantidad de nepe que se puede estar perdiendo por el

Scrubber. Al comparar este parámetro con el determinado al inicio de la investigación (véase tabla 5.3), se observa que los SST disminuyeron al implementar los puntos óptimos en las secadoras. Esto representa que el proceso está retirando mayor cantidad de agua que nepe, es decir, se está llevando la operación de evaporación más eficientemente, disminuyendo las pérdidas de nepe por el equipo explicadas en objetivos anteriores.

Al comparar las condiciones de salida del nepe seco y del subproducto del proceso se verifican las mejoras ocurridas en cuanto a la operación al establecer una combinación de las variables que llevasen a cabo la optimización.

5.6 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LAS ESTRATEGIAS DE MEJORAS PROPUESTAS

En las empresas, el lucro resulta ser el objetivo fundamental de los proyectos, toda vez que la actividad que se está desarrollando debe crear la riqueza que permita su sano mantenimiento y crecimiento del proceso, mientras brinde el beneficio esperado por sus promotores (Najul, 2006).

Se plantean mejoras que logren operar el proceso en condiciones más eficientes que las que se encuentran operando hoy día:

- Para instalar las condiciones de operación en el proceso, se recomienda rediseñar el programa de automatización de forma tal que el proceso opere en un escenario de alta eficiencia utilizando como puntos de operación los propuestos para cada secadora.
- Adquirir un medidor de humedad que trabaje de forma diferente al instalado en el proceso, por ejemplo, uno con principio infrarrojo, de manera que controle el proceso en la descarga de la secadora y de acuerdo a este parámetro se tomen decisiones de condiciones de operación de los equipos, considerando unos escenarios propuestos por los ingenieros de la planta.

- Instalar medios de control de las variables que influyen en la humedad del nepe, de manera de conocer el control correcto de éstas a la hora de trabajar con las materias primas.
- Instalar un sistema de lavado de los ductos que comunican a las secadoras con el Scrubber, que permita realizar un mantenimiento periódico que evite los taponamientos de estas tuberías que producen paradas del proceso de secado de nepe.
- Adiestramiento a los operadores que laboran en el área donde esta instalado el proceso con el nuevo programa de automatización y forma de operar el sistema.

Estas propuestas requieren de una inversión económica para evaluar si es rentable aplicarla y verificar si se recupera la inversión en un tiempo viable para la empresa por lo que se propone un estudio económico como el que se presenta a continuación:

Mediante la metodología planteada en la investigación se determinaron los costos involucrados en la producción del nepe seco y la inversión inicial a invertir en el proyecto. De la misma forma, aplicando las ecuaciones propuestas en el capítulo metodológico, y por medio de entrevistas con el personal de la empresa, se logró conocer los ingresos y egresos que genera el proceso, reportándose en la siguiente tabla:

TABLA 5.14
COSTOS ASOCIADOS A LA INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO

| Capital fijo (Bs.F) | Capital de trabajo (Bs.F) | Inversión inicial (Bs.F) |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| 120.750,000 | 365.553,500 | 486.303,500 |

Para analizar a nivel económico la factibilidad del proyecto, se determinó el flujo de caja neto en cada año; tomando los ingresos y egresos netos calculados previamente a lo largo del horizonte de estudio propuesto para un tiempo de siete años, resultando los valores reportados en la siguiente tabla:

**TABLA 5.15
FLUJO DE CAJA EN EL TIEMPO DE ESTUDIO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA
DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE**

| Año | Ingresos (Bs.F) | Egresos (Bs.F) | Flujo de caja (Bs.F) |
|-----|-----------------|----------------|----------------------|
| 0 | 0,000 | 486.303,500 | -486.303,500 |
| 1 | 2.223.783,790 | 536.744,877 | 1.687.038,913 |
| 2 | 2.334.972,979 | 564.019,620 | 1.770.953,359 |
| 3 | 2.451.721,628 | 592.658,101 | 1.859.063,527 |
| 4 | 2.574.307,710 | 622.728,507 | 1.951.579,203 |
| 5 | 2.703.023,095 | 654.302,432 | 2.048.720,663 |
| 6 | 2.838.174,250 | 687.455,053 | 2.150.719,196 |
| 7 | 2.980.082,962 | 722.265,306 | 2.257.817,656 |

Como puede apreciarse en la Tabla 5.15, los valores de flujo resultan positivos para todos los años, a partir del año 1, por lo que el proyecto vislumbra la producción de ganancias. En el año 0 no se consideran los ingresos brutos; si no únicamente lo que corresponde a la inversión inicial, y siendo éste un gasto, el valor se refleja negativo.

Como se ha estudiado previamente, los flujos de cajas, expresan beneficios o pérdidas de dinero para cada división o año del horizonte económico; es decir, que dichos parámetros se enmarcan en diversas “bases temporales”; y resulta incorrecto compararlos entre sí. Es por ello que surgen los indicadores económicos como una herramienta adecuada para el manejo financiero, y la estimación más precisa del comportamiento económico del proceso en el tiempo; lo cual permite establecer éste como viable o no. (Najul, 2006).

Los indicadores económicos VPN y TIR del proyecto se encuentran reportados en la tabla que se presenta a continuación:

**TABLA 5.16
INDICADORES ECONÓMICOS DEL PROYECTO**

| Valor presente neto (VPN) Bs.F | Tasa interna de retorno (TIR) % |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 5.786.403 | 352 |

Analizando los valores obtenidos por estos indicadores económicos (véase tabla 5.16), se tiene que el proceso constituye una actividad productiva bastante atractiva, es decir, cubre con creces las expectativas de quienes invierten sus fondos, esto es debido a que el valor presente neto (VPN) resulto ser mayor a cero y la tasa interna de retorno (TIR) calculada resulto mayor que la tasa de rendimiento propuesta de 23 %, por lo que se puede decir que el proyecto es rentable.

Al evaluar la rentabilidad económica del proyecto se puede verificar las mejoras implementadas al proceso de secado del nepe, obteniendo de esta forma ganancias al producir un nepe seco con una humedad entre (5-8) % cumpliéndose los objetivos propuesto en la investigación.

El instalar las mejoras en el proceso de secado del nepe trae como beneficios para la empresa lo siguiente:

- Incremento de producción como se puede visualizar en la tabla 5.11, lo que incrementa las ganancias como se puede ver en la tabla 5.15 en los ingresos.
- Producir nepe seco con un contenido de humedad adecuado para su comercio, incrementando su humedad de acuerdo a lo reportado en la tabla 5.12.
- Minimización de costo de mantenimiento de los ductos que comunican las secadoras con el Scrubber al momento de presentar taponamiento debido al sistema de lavado propuesto.
- Incremento del consumo de levadura remanente del proceso cervecero cumpliendo con el balance planteado en la investigación, disminuyendo las pérdidas de esta materia prima y el impacto ambiental involucrado al tratarla.

APÉNDICES

APÉNDICE A

CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se presentan los cálculos típicos realizados para la determinación de los parámetros de estudio, condiciones requeridas en la investigación y estudio económico de las mejoras planteadas.

A.1 Determinación de la humedad del nepe al finalizar el proceso de secado.

Sustituyendo en la ecuación 3.1 y 3.2 los valores reportados en la tabla B.1.5, para la muestra 4 de la secadora número uno, se obtiene:

$$P_s = P_{MS+CT} - P_{CT}$$

$$P_s = 20,6552g - 16,7222g = 3,9330g$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación 3.1 para la estimación del error, se tiene:

$$\Delta P_s = \left| \frac{\partial P_s}{\partial P_{MS+CT}} \right| \cdot \Delta P_{MS+CT} + \left| \frac{\partial P_s}{\partial P_{CT}} \right| \cdot \Delta P_{CT}$$

$$\Delta P_s = \Delta P_{MS+CT} + \Delta P_{CT}$$

$$\Delta P_s = 0,0001g + 0,0001g = 0,0002g$$

Por lo tanto:

$$P_s = (3,9330 \pm 0,0002) g$$

$$\% H_N = \frac{(P_M - P_s) \times 100}{P_M}$$

$$\% H_N = \frac{(4,0070 - 3,9330) \times 100}{4,0070} = 1,8468$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación 3.2 para la estimación del error, se tiene:

$$\Delta\% H_N = \left| \frac{\partial\% H_N}{\partial P_M} \right| \cdot \Delta P_M + \left| \frac{\partial\% H_N}{\partial P_s} \right| \cdot \Delta P_s$$

$$\Delta\% H_N = \frac{P_s}{P_M^2} \cdot 100 \cdot \Delta P_M + \frac{100}{PM} \cdot \Delta P_s$$

$$\Delta\% H_N = \frac{3,9330}{4,0070^2} \cdot 100 \cdot 0,0002 + \frac{100}{4,0070} \cdot 0,0002 = 0,0099 = 0,01\%$$

Por lo tanto:

$$\%H_N = (1,85 \pm 0,01)\%$$

De la misma forma se le determinó la humedad a cada condición de estudio en todas las secadoras reportadas en la tabla B.1.1. Luego, de acuerdo a la siguiente ecuación se determinó la humedad promedio para cada secadora, resultando para la secadora uno:

$$\overline{H} = \frac{1,85 + 1,15}{2} = 1,50$$

Todos los valores determinados por estas ecuaciones se encuentran reportados en la tabla 5.1.

A.2 Verificación del cumplimiento de las especificaciones de calidad de la empresa de la humedad del nepe seco

Para evaluar el cumplimiento de la norma se determino la desviación estándar mediante la ecuación 3.3, utilizando como valor de humedad de la norma su límite inferior de 5 %.

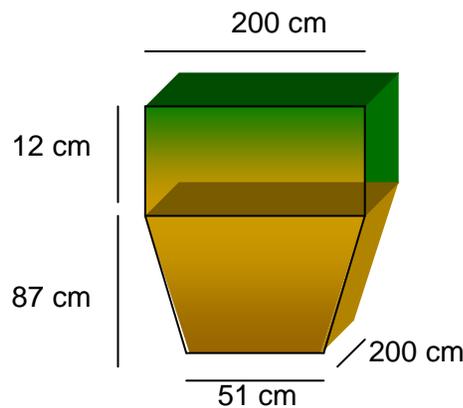
$$\% DE = \frac{|H_{Nn} - H_{NE}|}{H_{Nn}} * 100$$

$$\% DE = \frac{|1,5 - 5|}{5} * 100 = 70,0\%$$

A.3 Determinación del volumen o capacidad de almacenamiento de las tolvas de alimentación y del ducto de recirculación

Usando los datos reportados en la tabla B.1.4 y manuales de la empresa (véase Apéndice C figuras C.3 y C.4), se determina el volumen de almacenamiento de la tolva de alimentación y del ducto de recirculación, empleando las siguientes ecuaciones de acuerdo a la forma geométrica que presentan:

C.3.1 Capacidad de almacenamiento de la secadora 1:



$$V_r = b \times h \times P$$

$$V_r = 200\text{cm} \times 12\text{cm} \times 200\text{cm} = 480000\text{cm}^3$$

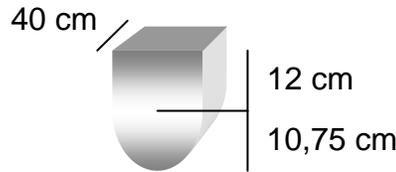
$$V_t = \frac{(AB + AB' + \sqrt{AB} \times \sqrt{AB'})}{3} \times h'$$

$$V_t = \frac{(51\text{cm} * 200\text{cm} + 200\text{cm} * 200\text{cm} + \sqrt{51\text{cm} * 200\text{cm}} \times \sqrt{200\text{cm} * 200\text{cm}})}{3} \times 87\text{cm}$$

$$V_t = 2041571,28643\text{cm}^3$$

Sumando los volúmenes resultantes de cada figura geométrica considerada se tiene que la tolva uno tiene una capacidad de almacenamiento de $2521571,286 \text{ cm}^3$. De igual forma se determinó el volumen que ocupa el nepe dentro de la tolva de alimentación de las secadoras 2 y 3 resultando tener una capacidad de almacenamiento de $2933292,078 \text{ cm}^3$.

C.3.2 Capacidad de almacenamiento del ducto de recirculación:



$$V_D = \pi \times a \times b \times L$$

$$V_D = \pi \times 12\text{cm} \times 10,75\text{cm} \times 12\text{cm} = 16210,6181\text{cm}^3$$

A.4 Determinación de la densidad del nepe húmedo, seco y de la levadura.

Para determinar la densidad de estas muestras se utilizaron las ecuaciones 3.10 y 3.11 y se sustituyeron los valores reportados en la tabla B.1.9, resultando para el nepe húmedo:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho = \frac{946,93}{1000} = 0,94693\text{g/mL}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación 3.10 para la estimación del error, se tiene:

$$\Delta\rho = \left| \frac{\partial\rho}{\partial M} \right| \Delta M + \left| \frac{\partial\rho}{\partial V} \right| \Delta V$$

$$\Delta\rho = \frac{1}{V} \cdot \Delta M + \frac{M}{V^2} \cdot \Delta V$$

$$\Delta\rho = \frac{1}{1000} \cdot 0,01 + \frac{946,93}{1000^2} \cdot 0,5 = 0,0047 = 0,005\text{g/mL}$$

Por lo tanto:

$$\rho = (0,947 \pm 0,005)\text{g/mL}$$

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3}$$

$$\bar{\rho} = \frac{0,945 + 0,955 + 0,955 + 0,965 + 0,975 + 0,935}{6} = 0,955 \text{ g / mL}$$

De la misma manera se determinó la densidad a la levadura y al nepe seco, resultando de $(1,055 \pm 0,005)$ g/mL y $(0,5155 \pm 0,005)$ g/mL, respectivamente.

A.5 Determinación del tiempo de vaciado de la tolva.

Sustituyendo los valores reportados en la tabla B.1.10 en la ecuación 3.9, para la secadora dos para una velocidad de 3 rpm, se obtiene:

$$t = t_1 + t_2 \times 60 + t_3 \times 3600$$

$$t = 9 + 14 \times 60 + 1 \times 3600 = 4449 \text{ s}$$

Para obtener un valor más exacto se determinó un promedio de los tiempos utilizando la ecuación 3.11, resultando:

$$\bar{t} = \frac{4449 \text{ s} + 3680 \text{ s} + 3575 \text{ s}}{3} = 3901,33 \text{ s}$$

A.6 Determinación del flujo másico de alimentación de nepe húmedo al proceso de secado.

Sustituyendo los parámetros necesarios en la ecuación 3.6 determinados anteriormente, para la secadora dos y una frecuencia de velocidad del motor de 3 rpm, se obtiene:

$$F_{NH} = \frac{V \times \rho}{t} \times fc_1$$

$$F_{NH} = \frac{2933292,078 \text{ cm}^3 \times 0,95492 \text{ g / mL}}{3901,33 \text{ s}} \times 3,6 = 2584,717253 \text{ kg/h}$$

De la misma manera se determinaron los flujos de alimentación de nepe húmedo a las secadoras instaladas en el proceso de secado de acuerdo a la frecuencia de velocidad de los motores de la tolva de alimentación.

A.7 Determinación del flujo másico de recirculación de nepe al sistema.

Sustituyendo los valores reportados en la tabla B.1.10, y parámetros determinados anteriormente en la ecuación 3.13, se obtiene:

$$F_{NR} = \frac{M_R}{t_R} \times fc_1$$

$$F_{NR} = \frac{1\text{kg}}{12,06\text{s}} \times 3600 = 298,5074627 \text{ kg/h}$$

A.8 Determinación del flujo másico de salida del nepe seco.

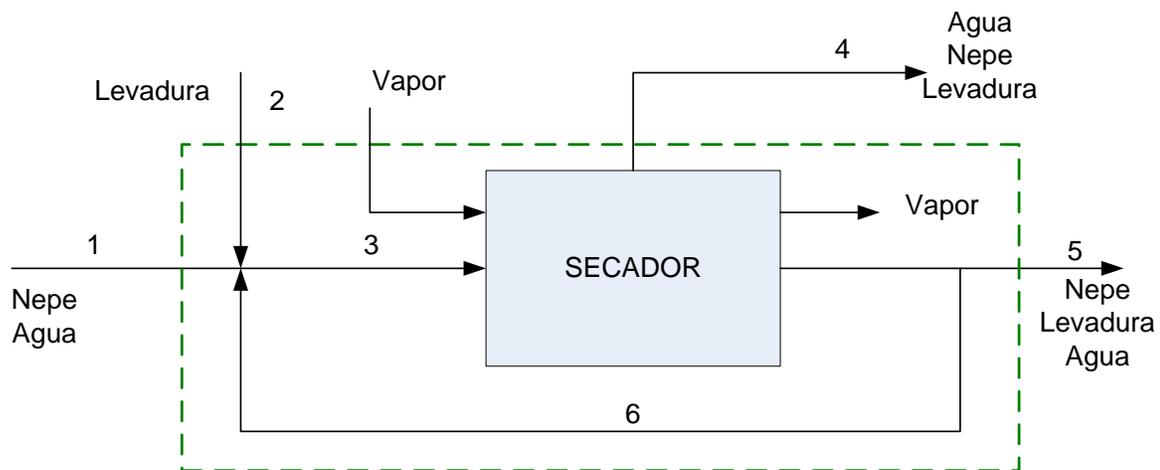


TABLA A.1

PÁRAMETROS CALCULADOS Y CONOCIDOS NECESARIOS PARA DETERMINAR EL FLUJO MÁSICO DE NEPE SECO

| Flujo másico de nepe húmedo (m_1) kg/h | Flujo másico de levadura (m_2) kg/h | Flujo másico de recirculación (m_6) kg/h | Humedad del nepe de húmedo (X_{21}) adim | Humedad del nepe seco (X_{25}) adim |
|--|---|--|--|---|
| 2584,7173 | 401,928 | 298,507 | 0,7449 | 0,065 |

Sustituyendo los valores reportados en la tabla A.1 en las ecuaciones 3.4 y 3.5, para la secadora tres y una frecuencia de velocidad del motor de 3 rpm, se obtiene:

$$m_1 + m_2 = m_4 + m_5$$

$$m_4 = m_1 + m_2 - m_5 \quad (I)$$

Sustituyendo la ecuación (I) en la ecuación 3.5, se obtiene:

$$m_5 = \frac{m_1(1 - X_{21}) + m_2}{(1 - X_{25})}$$

$$m_5 = \frac{2584,7173(1 - 0,7449) + 401,928}{(1 - 0,065)} = 1135,1402 \text{ kg / h}$$

$$m_4 = 2584,7173 + 401,928 - 1135,1402 = 1851,505 \text{ kg / h}$$

Por lo tanto se obtiene un flujo másico de nepe seco de 1135,1402 kg/h con una humedad de 6,5 % para las condiciones evaluadas. De la misma forma se determinó el flujo másico para cada condición de estudio reportándose en la tabla 5.11.

A.9 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) de los lodos descargados por el Scrubber.

Sustituyendo los valores de la tabla B.1.6 en la ecuación 3.16, para la primera muestra se obtiene:

$$DQO = \frac{(V_A - V_B) \times [R] \times 8000}{V_M}$$

$$DQO = \frac{(13,0 \text{ mL} - 11,0 \text{ mL}) \times 0,1 \text{ mol / L} \times 8000}{0,1 \text{ mL}} = 16000 \text{ mg / L}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación 3.16 para la estimación del error, se tiene:

$$\Delta DQO = \left| \frac{\partial DQO}{\partial V_A} \right| \Delta V_A + \left| \frac{\partial DQO}{\partial V_B} \right| \Delta V_B + \left| \frac{\partial DQO}{\partial [R]} \right| \Delta [R] + \left| \frac{\partial DQO}{\partial V_M} \right| \Delta V_M$$

Despreciando los errores asociados a las variables $[R]$ por ser valor bibliográfico y V_M por ser medidos con un instrumento de error desconocido, resulta:

$$\Delta DQO = \frac{(\Delta V_A + \Delta V_B) \times [R] \times 8000}{V_M}$$

$$\Delta DQO = \frac{(0,01 + 0,01) \times 0,1 \times 8000}{0,1} = 160 = 100 \text{ mg / L}$$

Por lo tanto:

$$DQO = (16000 \pm 100) \text{ mg/L}$$

A.10 Determinación de los sólidos suspendidos de los lodos descargados por el Scrubber.

Sustituyendo los valores de la tabla B.1.7 en la ecuación 3.18, para la primera muestra se obtiene:

$$SST = \frac{(M_f - M_v) * 1000000}{V_M}$$

$$SST = \frac{(0,4965 \text{ g} - 0,1265 \text{ g}) * 1000000}{5 \text{ mL}} = 74000 \text{ mg / L}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación 3.18 para la estimación del error, se tiene:

$$\Delta SST = \left| \frac{\partial SST}{\partial M_f} \right| \cdot \Delta M_f + \left| \frac{\partial SST}{\partial M_v} \right| \cdot \Delta M_v + \left| \frac{\partial SST}{\partial V_M} \right| \cdot \Delta V_M$$

$$\Delta SST = 1000000 \cdot \left(\frac{1}{V_M} + \frac{1}{V_M} + \frac{(M_f - M_v)}{V_M^2} \right) = 1260 = 1000 \text{ mg / L}$$

Por lo tanto:

$$SST = (74000 \pm 1000) \text{ mg/L}$$

A.11 Determinación del porcentaje de incremento del flujo de salida de nepe seco y de su humedad al aplicar la mejora.

C.11.1 Determinación del porcentaje de incremento del flujo de salida de nepe seco

Sustituyendo los valores de la tabla 5.11 en la ecuación 3.19 para la secadora 3, se obtiene:

$$\% Inc = \frac{|V_{oi} - V_{fi}|}{V_{fi}} \times 100$$

$$\% Inc = \frac{|561,096 \text{ kg/h} - 1135,1402 \text{ kg/h}|}{1135,1402 \text{ kg/h}} \times 100 = 50,57\%$$

De la misma forma se determinaron para el resto de las secadoras reportando los resultados obtenidos en la tabla 5.11.

C.11.2 Determinación del porcentaje de incremento de la humedad del nepe seco.

Sustituyendo los valores de la tabla 5.12 en la ecuación 3.19 para la secadora 2, se obtiene:

$$\% Inc = \frac{|1,40 - 6,50|}{6,50} \times 100 = 78,46\%$$

De la misma forma se determinaron para el resto de las secadoras reportando los resultados obtenidos en la tabla 5.12.

A.12 Determinación del capital fijo.

Sustituyendo los valores de la tabla B.1.18 en la ecuación 3.20, se obtiene:

$$CF = CE + CA + CP + CO$$

$$CF = 32.250 + 7.500 + 6.000 + 40.000 + 35.000. = 120.750 \text{ Bs.F}$$

A.13 Determinación del capital de trabajo.

Sustituyendo los valores de la tabla B.1.19 en la ecuación 3.21, se obtiene:

$$CT = CP + EC$$

$$CT = 182.776,750 + 182.776,750 = 365.553,500$$

$$CT = 365.553,500 \text{ Bs.F}$$

A.14 Determinación de la inversión inicial.

Sustituyendo en la ecuación 3.27, los parámetros ya determinados, se obtiene:

$$I_o = CF + CT$$

$$I_o = 120.750 \text{ Bs.F} + 365.553,500 \text{ Bs.F} = 486.303,500 \text{ Bs.F}$$

A.15 Determinación del valor presente neto (VPN).

Sustituyendo los valores de la tabla 5.15 en la ecuación 3.28, se obtiene:

$$VPN = -I_o + \sum_{x=1}^n \frac{F_x}{(1+I)^x}$$

$$VPN = -486.303,500 + 1.371.576,352 + 1.170.568,682 + 999.030,842 + 852.640,064 + \dots + \dots + 727.708,069 + 621.087,863 + 530.094,240$$

$$VPN = 5.786.402,613 \text{ Bs.F}$$

A.16 Determinación de la tasa interna de retorno (TIR).

Sustituyendo los valores de la tabla 5.16 en la ecuación 3.29 y resolviendo la igualdad, se obtiene:

$$\sum_{x=1}^n \frac{F_x}{(1+TIR)^x} = 0$$

$$TIR = 3,519 * 100 = 351,9 = 352 \%$$

APÉNDICE B

Datos y resultados experimentales

APÉNDICE B.1

TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
EMPRESA POLAR C.A
ENTREVISTA N° 1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

1. Equipos que conforman el proceso de secado del nepe y función de cada uno de ellos:

Secadora: Secar el nepe húmedo a tratar.

Scrubber: Purifica el vapor y polvillo que producen las secadoras.

Tolva de alimentación: Garantiza una alimentación constante al sistema.

Tornillos sin fin: Transporte del nepe húmedo a alimentar a las secadoras.

Mezclador: Mezcla de forma uniforme al nepe húmedo con la levadura.

2. Materia prima involucrada en el proceso de secado y como interfieren el proceso:

nepe húmedo: Material a tratar en el proceso para acondicionarlo y venderlo.

Levadura: Incrementa el contenido proteico del nepe.

3. Medidores, controladores y automatización, instalados en el proceso:

El proceso tiene instalado en la descarga de cada secadora un medidor de humedad, en las tolvas de alimentación medidores de nivel, en la secadora un medidor de temperatura de operación que es controlado por el suministro o presión del vapor y medidores de nivel en algunos silos de almacenamiento del material húmedo y seco.

4. Cantidad de operadores que laboran en el proceso y funciones manuales que realizan:

Hay cuatro operadores, labora uno diario por turno de doce horas, controlan la alimentación de materia prima al proceso por medio las pantallas, distribuyen la venta del nepe en sus dos presentaciones y mantienen el área limpia.

5. ¿La cantidad de operadores son suficientes para cubrir la faena diaria?

Si, pero es necesario un adiestramiento para verificar metodologías de operación y unificar criterios.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
EMPRESA POLAR C.A
ENTREVISTA N° 2



**RECONOCIMIENTO DE FALLAS OPERACIONALES EN EL PROCESO DE SECADO
DEL NEPE**

1. Fallas a nivel de operadores ocurridas:

Dejan vaciar las tolvas, algunos presentan respuestas lentas frente incidentes, falta de uniformidad de criterios respecto a las condiciones de operación del proceso.

2. Fallas y carencias en los equipos:

Tuberías de transporte y alimentación: Con poca frecuencia se tapan las tuberías de alimentación de levadura al sistema.

Tolva de alimentación: El medidor de nivel presenta fallas de reconocimiento de ausencia de material en el equipo, ya que se obstruye con nepe y dificulta la medida.

Tornillos sin fin: No presentan fallas.

Mezclador de alta revolución: Los mezcladores instalados en las secadoras uno y dos presentan sobrecarga de material ocasionando detenimiento del equipo por ende parada del proceso.

Secadora: fallas de secado, posibles causas calidad del vapor, exceso de levadura o taponamiento de tuberías del sistema.

Válvulas reguladoras: La válvula que regula la alimentación de levadura presenta taponamientos y es difícil controlar el suministro con esta herramienta.

Scrubber: Taponamiento de los ductos que comunican a este equipo con las secadoras y emiten lodos muy espesos.

Silos de nepe húmedo: Falta de medidor de nivel en un silo.

Silos de nepe seco: Falta de medidor de nivel en dos silos.

Tanque de levadura: Hay un tanque que no se encuentra en funcionamiento y presenta ausencia de medidores de flujo, temperatura y nivel.

Medidores: Ausencia de medidores de flujo de nepe húmedo, nepe seco y levadura, el medidor de humedad instalado en la descarga de cada secadora presenta fallas de lectura por lo que el sistema se opera de forma manual y una tubería del sistema de alimentación de levadura posee un medidor de flujo que se encuentra desconectado.

3. Ausencia de equipos o equipos fuera de funcionamiento:

Falta una balanza de humedad analítica que permita al operador determinar este parámetro sin necesidad de depender del laboratorio de la empresa, ausencia de medidores ya nombrados, el cuantificador de levadura global instalado en el proceso se encuentra inactivo y hay un tanque de levadura que no esta en funcionamiento.

4. Falta de recursos como materia prima, servicios de mantenimiento, entre otros:

La materia prima esta limitada al proceso cervecero, la falta de mantenimiento en el área y en la infraestructura han creado un habitat de plagas en el sistema.

TABLA B.1.1
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LAS SECADORAS DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE Y MEDIDORES INSTALADOS PARA FACILITAR LA LECTURAS DE LAS MISMAS

| Equipo | Material que transporta | Condiciones de operación | | | | Medidor | Observaciones |
|-----------------------|-------------------------|---|--|------------------------|---------------------|--------------------------------|--|
| | | Porcentaje de frecuencia de velocidad (V ± 0,1) % | Temperatura de operación (T ± 0,01) °C | Presión (P ± 0,01) bar | Humedad (H ± 0,1) % | | |
| Secadora 1 | nepe Húmedo, Levadura | 3,0 | 75,53 | 1,65 | 7,0 | Humedad, temperatura y presión | El medidor de humedad presenta fallas de lectura |
| Tolva de alimentación | nepe húmedo | 13,0 | NA | NA | NA | Nivel | Falta medidor de flujo |
| Tornillo sin fin 1 | nepe Húmedo, Levadura | 87,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Tornillo sin fin 2 | nepe Húmedo, Levadura | 102,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Mezclador | nepe Húmedo, Levadura | 150,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | Se sobrecarga y se apaga |
| Scrubber | Agua, nepe | NA | NA | 0,15 | NA | Presión | Hay taponamiento |

NA: No aplica (No hay medidores de esas variables en los equipos)

TABLA B.1.2
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LAS SECADORAS DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE Y MEDIDORES INSTALADOS PARA FACILITAR LA LECTURAS DE LAS MISMAS

| Equipo | Material que transporta | Condiciones de operación | | | | Medidor | Observaciones |
|-----------------------|-------------------------|---|--|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| | | Porcentaje de frecuencia de velocidad ($V \pm 0,1$) % | Temperatura de operación ($T \pm 0,01$) °C | Presión ($P \pm 0,01$) bar | Humedad ($H \pm 0,1$) % | | |
| Secadora 2 | nepe Húmedo, Levadura | 3,0 | 76,56 | 1,13 | 8,0 | Humedad, temperatura y presión | El medidor de humedad presenta fallas de lectura |
| Tolva de alimentación | nepe húmedo | 13,0 | NA | NA | NA | Nivel | Falta medidor de flujo |
| Tornillo sin fin 1 | nepe Húmedo, Levadura | 87,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Tornillo sin fin 2 | nepe Húmedo, Levadura | 102,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Mezclador | nepe Húmedo, Levadura | 265,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Scrubber | Agua, nepe | NA | NA | 0,15 | NA | Presión | Hay taponamiento |

NA: No aplica (No hay medidores de esas variables en los equipos)

TABLA B.1.3
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS EN LAS SECADORAS DEL PROCESO DE SECADO DEL NEPE Y MEDIDORES INSTALADOS PARA FACILITAR LA LECTURAS DE LAS MISMAS

| Equipo | Material que transporta | Condiciones de operación | | | | Medidor | Observaciones |
|-----------------------|-------------------------|---|--|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| | | Porcentaje de frecuencia de velocidad ($V \pm 0,1$) % | Temperatura de operación ($T \pm 0,01$) °C | Presión ($P \pm 0,01$) bar | Humedad ($H \pm 0,1$) % | | |
| Secadora 3 | nepe Húmedo, Levadura | 3,0 | 65,42 | 0,70 | 8,0 | Humedad, temperatura y presión | El medidor de humedad presenta fallas de lectura |
| Tolva de alimentación | nepe húmedo | 15,0 | NA | NA | NA | Nivel | Falta medidor de flujo |
| Tornillo sin fin 1 | nepe Húmedo, Levadura | 87,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Tornillo sin fin 2 | nepe Húmedo, Levadura | 51,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Mezclador | nepe Húmedo, Levadura | 230,0 | NA | NA | NA | Frecuencia | - |
| Scrubber | Agua, nepe | NA | NA | 0,15 | NA | Presión | Hay taponamiento |

NA: No aplica (No hay medidores de esas variables en los equipos)

TABLA B.1.4

ESPECIFICACIONES DE CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LOS EQUIPOS REPORTADAS EN LAS FICHAS TÉCNICAS DE LA EMPRESA Y LAS FORMULADAS EN LA INSPECCIÓN REALIZADA EN PLANTA

| Equipo | Altura (h ± 0,5) cm | | Largo (L ± 0,5) cm | | Ancho (A ± 0,5) cm | | Diámetro (D± 0,5) cm | | Observaciones |
|-----------------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|------------|----------------------|-----|------------------------------------|
| | F.T | I.P | F.T | I.P | F.T | I.P | F.T | I.P | |
| Secadora 1 | 365,0 | NN | 1520,0 | NN | 325,0 | NN | - | - | NN: No son necesarios verificarlos |
| Secadora 2 o 3 | 368,0 | NN | 1008,0 | NN | 330,0 | NN | - | - | |
| Silos nepe Húmedo y seco | 13,4 | NN | - | - | - | - | 500,0 | NN | |
| Tolva de alimentación 1 | 110,0 | 99,0 | 200,0 | 200,0 | 200,0/51,0 | 200,0/51,0 | - | - | - |
| Tolva de alimentación 2 o 3 | 130,0 | 125,0 | 200,0 | 200,0 | 200,0/51,0 | 200,0/51,0 | - | - | - |
| Ducto de recirculación | - | 12,0 | - | 40,0 | 10,8 | - | - | - | - |

F.T: Ficha técnica

I.P: Inspección realizada en planta

TABLA B.1.5
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL
NEPE A SALIDA DEL PROCESO DE SECADO POR EL MÉTODO
TRADICIONAL EN LA PRIMERA INSPECCIÓN
REALIZADA EN EL ÁREA

| Secadora | Muestra | Peso de la capsula vacía con tapa ($P_{CT} \pm 0,0001$)g | Peso de muestra inicial ($P_M \pm 0,0001$)g | Peso de la capsula más muestra después de calentar ($P_{MS+CT} \pm 0,0001$)g |
|----------|---------|---|--|---|
| 1 | 1 | 17,0140 | 4,0650 | 21,0301 |
| | 2 | 16,5588 | 4,0872 | 20,5967 |
| | 3 | 17,0102 | 4,0007 | 20,9769 |
| | 4 | 16,7222 | 4,0070 | 20,6552 |
| | 5 | 16,7199 | 4,0019 | 20,6412 |
| 2 | 1 | 16,8759 | 4,0362 | 20,8754 |
| | 2 | 17,0127 | 3,9997 | 20,9316 |
| | 3 | 16,5777 | 4,0686 | 20,6010 |
| | 4 | 5,3763 | 4,0309 | 9,3563 |
| | 5 | 17,1363 | 4,0314 | 21,1098 |
| 3 | 1 | 16,3885 | 4,0177 | 20,2491 |
| | 2 | 16,3414 | 4,0291 | 20,2108 |
| | 3 | 16,3842 | 4,0036 | 20,1836 |
| | 4 | 5,3831 | 4,0000 | 9,2408 |
| | 5 | 16,3838 | 4,0505 | 20,3614 |

TABLA B.1.6
VOLÚMENES DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE AMONIO FERROSO GASTADOS EN LA TITULACIÓN INVOLUCRADA EN LA DETERMINACIÓN DEL DQO DE LOS LODOS CARACTERIZADOS EN LA PRIMERA INSPECCIÓN

| Muestra | Volumen de sulfato de amonio ferroso ($V_{SAF} \pm 0,1$) mL |
|---------|--|
| Blanco | 13,0 |
| 1 | 11,0 |
| 2 | 11,8 |

TABLA B.1.7
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES PRESENTES EN LOS LODOS CARACTERIZADOS EN LA PRIMERA INSPECCIÓN

| Muestra | Volumen de muestra ($V_m \pm 0,05$) mL | Masa del papel de filtro vacío ($M_v \pm 0,0001$) g | Masa del papel de filtro después de la prueba ($M_f \pm 0,0001$) g |
|---------|---|--|---|
| 1 | 5,00 | 0,1265 | 0,4965 |
| 2 | 3,00 | 0,1273 | 0,3771 |

TABLA B.1.8
CONCENTRACIÓN EN FÓSFORO DE LOS LODOS CARACTERIZADOS EN LA PRIMERA INSPECCIÓN

| Muestra | Concentración ($P \pm 0,01$) mg/L |
|---------|-------------------------------------|
| 1 | 45,07 |
| 2 | 42,07 |

TABLA B.1.9
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS
MUESTRAS A ANALIZAR EN EL PROCESO DE SECADO DEL NEPE

| Muestra | Volumen de muestra a analizar ($V_m \pm 5$) mL | Masa de la muestra ($M_m \pm 0,01$) g |
|-------------|--|---|
| Levadura | 300 | 317,66 |
| | 300 | 319,07 |
| | 300 | 320,01 |
| | 300 | 316,34 |
| | 300 | 314,32 |
| | 300 | 316,47 |
| nepe húmedo | 1000 | 946,93 |
| | 600 | 573,45 |
| | 1000 | 952,72 |
| | 300 | 289,97 |
| | 305 | 297,61 |
| | 300 | 279,54 |
| nepe seco | 150 | 79,56 |
| | 150 | 81,76 |
| | 150 | 79,73 |
| | 150 | 74,12 |
| | 150 | 74,44 |
| | 150 | 74,24 |

TABLA B.1.10
TIEMPOS DE VACIADO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN Y TRASLADO DE
MATERIAL EN EL DUCTO DE RECIRCULACIÓN

| Equipo | Tiempo (t ± 0,01) s |
|--|---------------------|
| Tolva de alimentación 1 (1,5 rpm) | 2''54'11 |
| | 2''31'50 |
| Tolva de alimentación 2 o 3 (1,25 rpm) (3 rpm) (4 rpm) | 2''48'13 |
| | 1''14'9 |
| | 1'01'20 |
| | 59'35 |
| | 42'22 |
| | 44'6 |
| Recirculación (25 %) | 42'27 |
| | 11,24 |
| | 12,12 |
| | 11,52 |
| | 12,92 |
| | 12 |
| | 12,28 |
| 12,34 | |

TABLA B.1.11
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL
NEPE DE LA DESCARGA DE LA SECADORA UNO TOMADA EN LA
EJECUCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO

| Muestra | Peso de la capsula vacía con tapa ($P_{CT} \pm 0,0001$)g | Peso de muestra inicial ($P_M \pm 0,0001$)g | Peso de la capsula más muestra después de calentar ($P_{MS+CT} \pm 0,0001$)g |
|---------|---|--|---|
| 1 | 5,4601 | 4,0009 | 8,9604 |
| 2 | 16,5646 | 4,0071 | 20,3540 |
| 3 | 17,1098 | 4,0126 | 20,9886 |
| 4 | 5,6102 | 4,0299 | 9,5692 |
| 5 | 17,0057 | 4,0619 | 20,1952 |
| 6 | 17,1087 | 4,0021 | 21,0918 |
| 7 | 5,4113 | 4,007 | 9,4054 |
| 8 | 5,376 | 4,0017 | 9,3575 |
| 9 | 16,5461 | 4,0615 | 20,4481 |
| 10 | 16,4774 | 4,0689 | 19,7284 |
| 11 | 16,5485 | 4,0196 | 20,3883 |
| 12 | 17,2196 | 4,0325 | 21,1919 |
| 13 | 17,0265 | 4,0586 | 21,0583 |
| 14 | 17,1511 | 4,0166 | 21,1597 |
| 15 | 16,4777 | 4,0009 | 20,4605 |
| 16 | 16,5461 | 4,0071 | 20,1735 |

TABLA B.1.12
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL
NEPE DE LA DESCARGA DE LA SECADORA DOS TOMADA EN LA
EJECUCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO

| Muestra | Peso de la capsula vacía con tapa ($P_{CT} \pm 0,0001$)g | Peso de muestra inicial ($P_M \pm 0,0001$)g | Peso de la capsula más muestra después de calentar ($P_{MS+CT} \pm 0,0001$)g |
|---------|---|--|---|
| 1 | 16,4817 | 4,0196 | 20,0960 |
| 2 | 16,623 | 4,0689 | 20,5698 |
| 3 | 17,1098 | 4,0126 | 20,7692 |
| 4 | 17,0057 | 4,0619 | 20,6401 |
| 5 | 5,6102 | 4,0299 | 9,5997 |
| 6 | 16,5646 | 4,0071 | 20,0577 |
| 7 | 16,6276 | 4,0085 | 20,3835 |
| 8 | 16,4797 | 4,0586 | 20,5199 |
| 9 | 5,5307 | 4,0345 | 9,1576 |
| 10 | 5,5355 | 4,0301 | 9,1858 |
| 11 | 16,4039 | 4,0128 | 20,1231 |
| 12 | 16,5435 | 4,0101 | 20,4131 |
| 13 | 17,2176 | 4,0072 | 21,0079 |
| 14 | 17,0336 | 4,0069 | 20,9707 |
| 15 | 16,8697 | 4,0122 | 20,8601 |
| 16 | 17,0047 | 4,0122 | 20,5706 |
| 17 | 16,4051 | 4,0156 | 20,1434 |
| 18 | 16,4774 | 4,0218 | 20,4704 |
| 19 | 16,5485 | 4,0004 | 20,4519 |
| 20 | 17,2196 | 4,0024 | 20,7496 |
| 21 | 17,0265 | 4,0024 | 20,6245 |
| 22 | 17,0055 | 4,0347 | 20,8581 |
| 23 | 17,1087 | 4,0911 | 20,7579 |
| 24 | 5,4113 | 4,0845 | 8,9439 |

TABLA B.1.13
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL
NEPE DE LA DESCARGA DE LA SECADORA TRES TOMADA EN LA
EJECUCIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO

| Muestra | Peso de la capsula vacía con tapa ($P_{CT} \pm 0,0001$)g | Peso de muestra inicial ($P_M \pm 0,0001$)g | Peso de la capsula más muestra después de calentar ($P_{MS+CT} \pm 0,0001$)g |
|---------|---|--|---|
| 1 | 16,5454 | 4,0131 | 20,3556 |
| 2 | 17,0336 | 4,0131 | 20,5787 |
| 3 | 16,8697 | 4,0235 | 20,8445 |
| 4 | 5,4506 | 4,0105 | 8,6769 |
| 5 | 16,5646 | 4,0586 | 20,0233 |
| 6 | 16,6276 | 4,0345 | 20,2546 |
| 7 | 16,4797 | 4,0301 | 20,4884 |
| 8 | 17,2174 | 4,0235 | 21,2250 |
| 9 | 16,4051 | 4,0156 | 19,6743 |
| 10 | 17,2176 | 4,0072 | 21,1001 |
| 11 | 5,5307 | 4,0345 | 9,5296 |
| 12 | 5,5355 | 4,0301 | 9,2339 |
| 13 | 17,0336 | 4,0069 | 20,6942 |
| 14 | 16,5435 | 4,0101 | 20,1367 |
| 15 | 16,4039 | 4,0128 | 20,3656 |
| 16 | 17,0047 | 4,0122 | 20,9878 |
| 17 | 17,0055 | 4,0347 | 20,9966 |
| 18 | 17,0053 | 4,0845 | 19,9989 |
| 19 | 17,2196 | 4,0024 | 20,8771 |
| 20 | 16,4043 | 4,0522 | 20,3311 |
| 21 | 16,4774 | 4,0218 | 20,4363 |
| 22 | 16,4031 | 4,0911 | 20,4624 |
| 23 | 17,0265 | 4,0024 | 20,7365 |
| 24 | 16,5485 | 4,0004 | 20,4151 |

TABLA B.1.14
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL
NEPE A SALIDA DEL PROCESO DE SECADO EN LA VERIFICACIÓN DEL
PUNTO ÓPTIMO DE OPERACIÓN DE CADA SECADORA

| Secadora | Peso de la capsula vacía con tapa ($P_{CT} \pm 0,0001$)g | Peso de muestra inicial ($P_M \pm 0,0001$)g | Peso de la capsula más muestra después de calentar ($P_{MS+CT} \pm 0,0001$)g |
|----------|---|--|---|
| 1 | 16,3973 | 4,0067 | 20,23091 |
| 2 | 17,1237 | 4,0057 | 20,88065 |
| 3 | 16,3971 | 4,0018 | 20,14799 |

TABLA B.1.15
VOLÚMENES DE SOLUCIÓN DE SULFATO DE AMONIO FERROSO GASTADOS EN
LA TITULACIÓN INVOLUCRADA EN LA DETERMINACIÓN DEL DQO DE LOS
LODOS CARACTERIZADOS DESPUÉS DE MANIPULAR LAS
VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO

| Muestra | Volumen de sulfato de amonio ferroso ($V_{SAF} \pm 0,1$) mL |
|----------|--|
| Blanco 1 | 13,0 |
| Blanco 2 | 13,2 |
| 1 | 11,0 |
| 2 | 10,9 |

TABLA B.1.16
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS
SUSPENDIDOS TOTALES PRESENTES EN LOS LODOS
CARACTERIZADOS DESPUÉS DE MANIPULAR LAS
VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN
EL PROCESO

| Muestra | Volumen de muestra ($V_m \pm 0,05$) mL | Masa del papel de filtro vacío ($M_v \pm 0,0001$) g | Masa del papel de filtro después de la prueba ($M_f \pm 0,0001$) g |
|---------|---|--|---|
| 1 | 4,00 | 0,1277 | 0,2856 |
| 2 | 5,00 | 0,1274 | 0,2705 |

TABLA B.1.17
CONCENTRACIÓN EN FÓSFORO DE LOS LODOS CARACTERIZADOS DESPUÉS
DE MANIPULAR LAS VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN EL PROCESO

| Muestra | Concentración ($P \pm 0,01$) mg/L |
|---------|-------------------------------------|
| 1 | 48,97 |
| 2 | 50,74 |

TABLA B.1.18
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL FIJO

| Costo del medidor de humedad (Bs.F) | Costo del adiestramiento (Bs.F) | Costo del programa de automatización (Bs.F) | Costo de modificaciones de mejoras (Bs.F) | Costo del sistema de lavado de ductos del Scrubber (Bs.F) |
|--|------------------------------------|--|--|--|
| 32.250 | 7.500 | 6.000 | 40.000 | 35.000 |

TABLA B.1.19
VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA DETERMINACIÓN DEL CAPITAL DE
TRABAJO

| Costo de inventario de producto (Bs.F) | Efectivo en caja (Bs.F) |
|--|-------------------------|
| 640.321,381 | 1280642,762 |

APÉNDICE B.2

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y OPTIMIZACIÓN

| Secadora 1.sfx | | | | | |
|----------------|--------|----------------|--------|-------------|---------|
| | BLOQUE | Velocidad Nepe | Caudal | Temperatura | Humedad |
| 1 | 1 | 4 | 0 | 75 | 12,51 |
| 2 | 1 | 4 | 1340 | 80 | 5,43 |
| 3 | 1 | 4 | 0 | 80 | 3,33 |
| 4 | 1 | 1,5 | 1340 | 75 | 1,76 |
| 5 | 1 | 4 | 1340 | 75 | 21,48 |
| 6 | 1 | 1,5 | 0 | 75 | 0,48 |
| 7 | 1 | 1,5 | 0 | 80 | 0,3 |
| 8 | 1 | 1,5 | 1340 | 80 | 0,5 |
| 9 | 2 | 4 | 0 | 80 | 3,93 |
| 10 | 2 | 4 | 1340 | 75 | 20,1 |
| 11 | 2 | 4 | 0 | 75 | 4,47 |
| 12 | 2 | 1,5 | 1340 | 75 | 1,49 |
| 13 | 2 | 1,5 | 1340 | 80 | 0,66 |
| 14 | 2 | 1,5 | 0 | 80 | 0,2 |
| 15 | 2 | 1,5 | 0 | 75 | 0,45 |
| 16 | 2 | 4 | 1340 | 80 | 9,47 |

Figura B.2.1. Hoja de trabajo del diseño de experimento factorial 2^3 implementado en la secadora uno, con los valores de la variable de respuesta sustituidos.

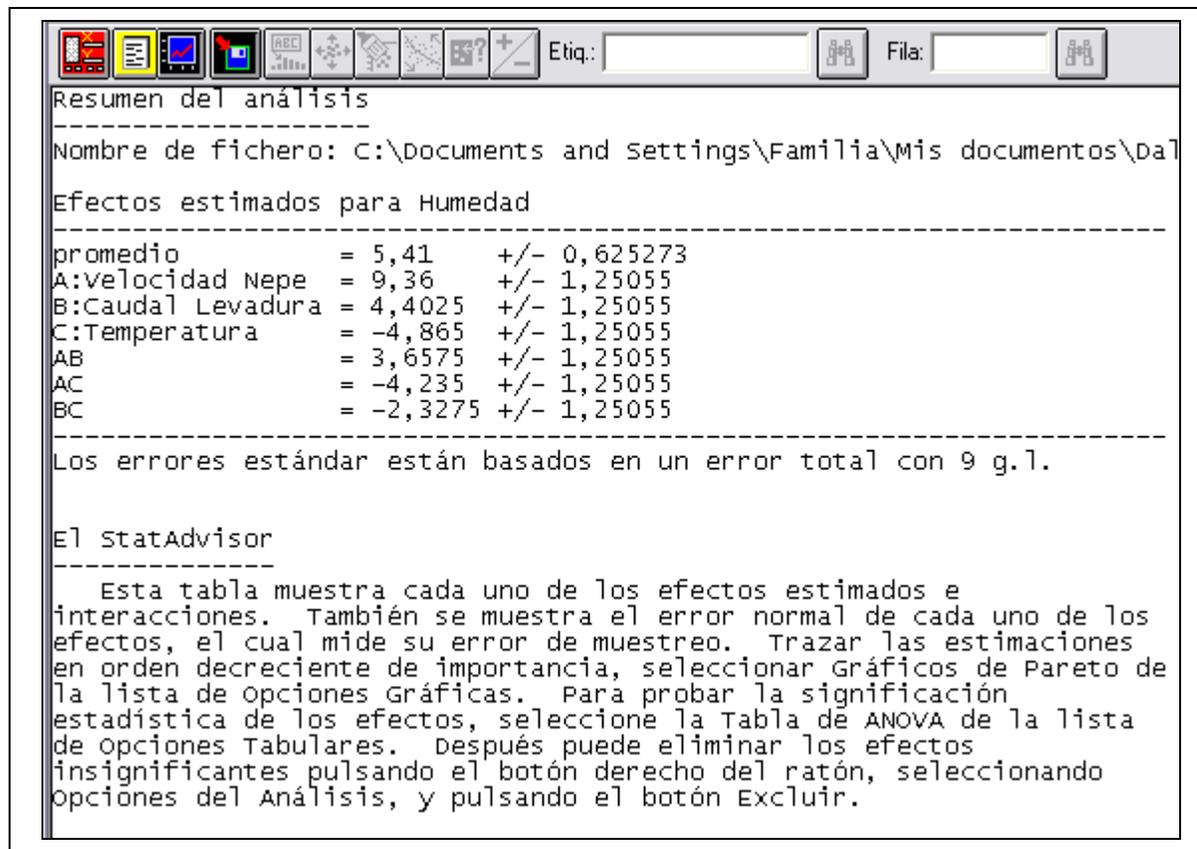


Figura B.2.2. Efectos de las variables de estudio de la secadora número uno en el proceso de secado del nepe representados en el resumen de análisis estadístico.

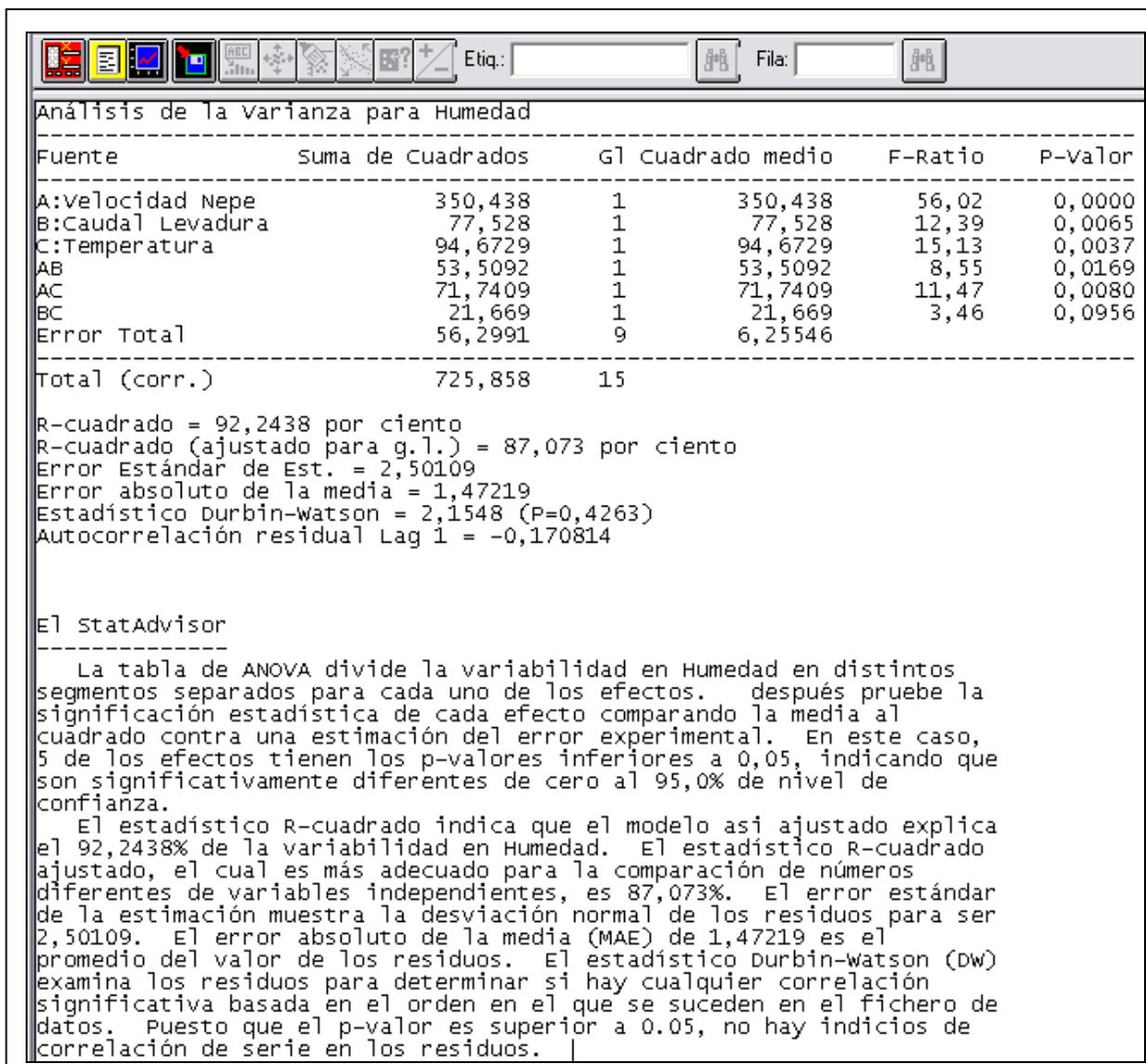


Figura B.2.3. Matriz ANOVAR de la secadora número uno.

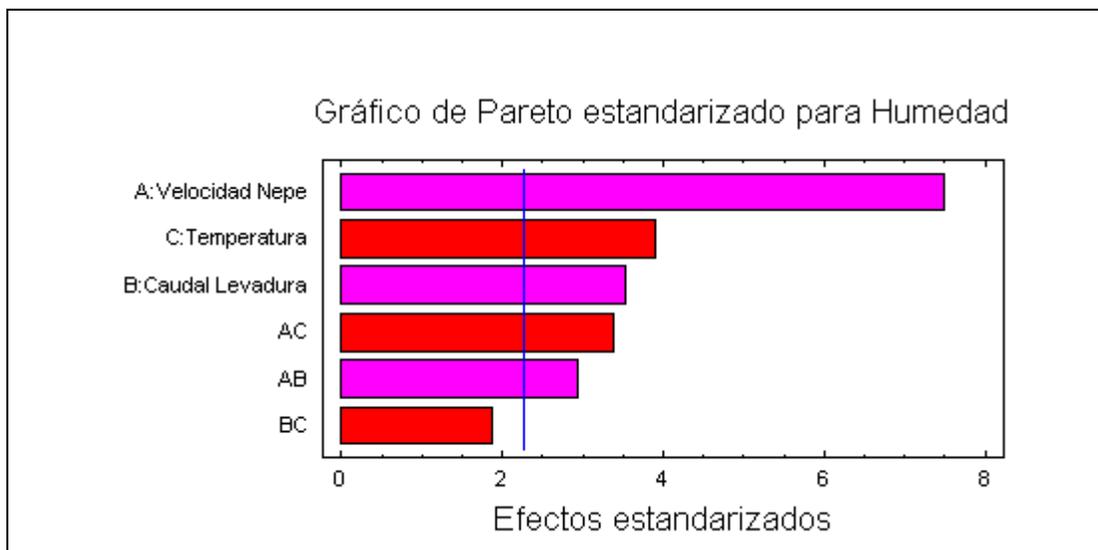


Figura B.2.4. Pareto estandarizado de las variables más influyentes sobre la humedad del nepe producido en la secadora número uno.

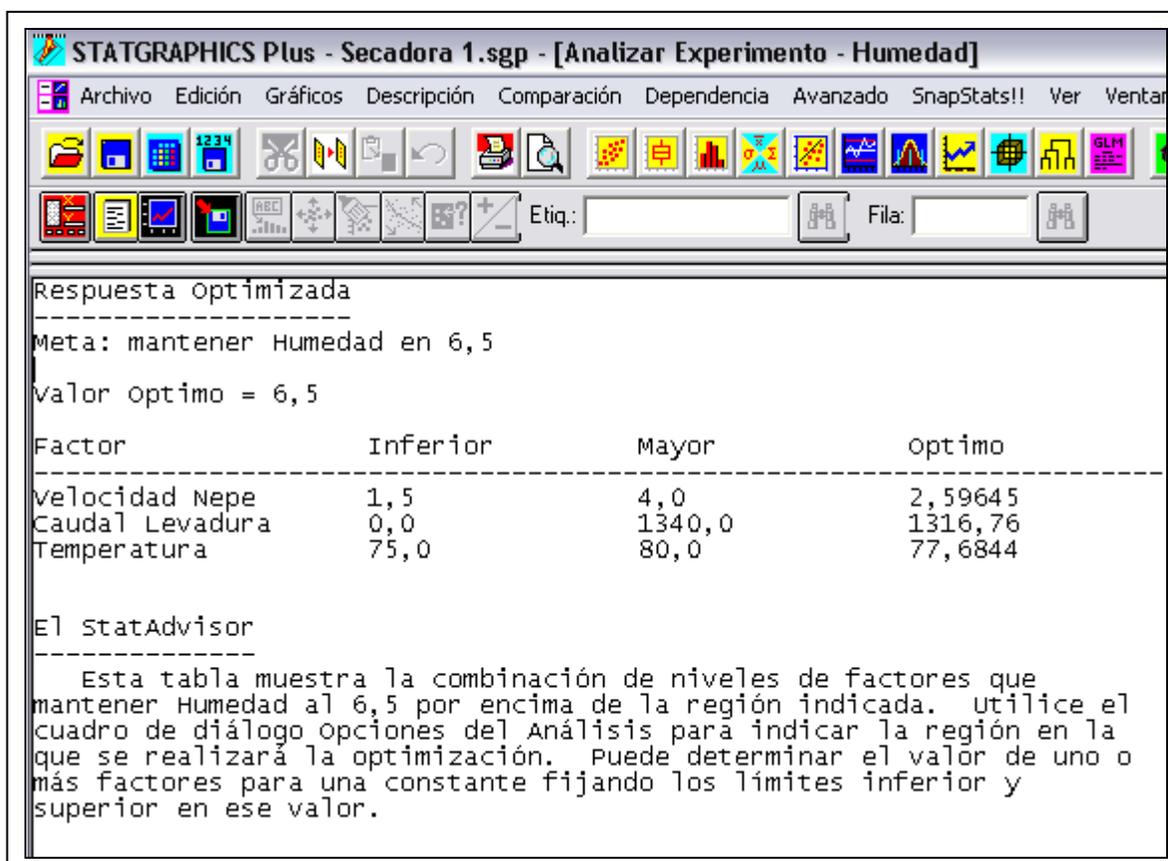


Figura B.2.5. Punto óptimo de operación de la secadora número uno.

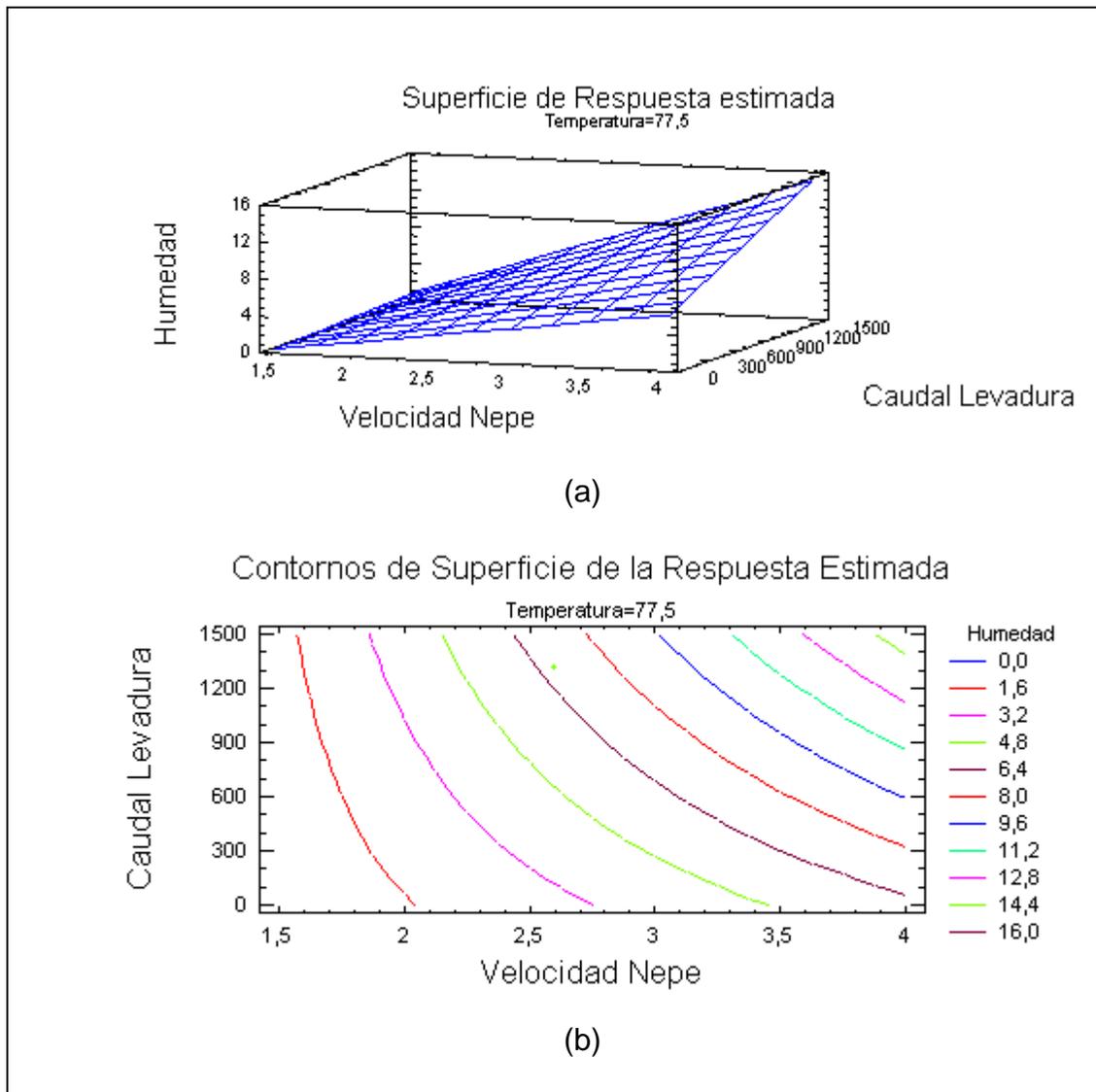


Figura B.2.6. Superficie de respuesta del diseño de experimento planteado en la secadora uno, la figura (a) muestra la superficie de respuesta estimada en tres dimensiones y la (b) muestra los contornos de la superficie de respuesta estimada en dos dimensiones.

STATGRAPHICS Plus - Secadora 2.sgp - [Respuesta 2.sfx]

Archivo Edición Gráficos Descripción Comparación Dependencia Avanzado SnapStats!! Ver Ventana Ayuda

| | BLOQUE | Velocidad Nepe | Temperatura | Caudal | Humedad |
|----|--------|----------------|-------------|--------|---------|
| 1 | 1 | 4 | 80 | 380 | 10,1 |
| 2 | 1 | 3 | 80 | 380 | 3 |
| 3 | 1 | 3 | 70 | 380 | 8,8 |
| 4 | 1 | 4 | 70 | 0 | 10,5 |
| 5 | 1 | 4 | 80 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 4 | 70 | 380 | 12,8 |
| 7 | 1 | 3 | 70 | 0 | 6,3 |
| 8 | 1 | 3 | 80 | 0 | 0,45 |
| 9 | 2 | 4 | 70 | 0 | 10,1 |
| 10 | 2 | 3 | 70 | 380 | 9,4 |
| 11 | 2 | 3 | 70 | 0 | 7,3 |
| 12 | 2 | 4 | 80 | 0 | 3,5 |
| 13 | 2 | 4 | 80 | 380 | 5,4 |
| 14 | 2 | 3 | 80 | 380 | 1,7 |
| 15 | 2 | 3 | 80 | 0 | 0,5 |
| 16 | 2 | 4 | 70 | 380 | 11,1 |
| 17 | 3 | 4 | 80 | 380 | 6,9 |
| 18 | 3 | 3 | 80 | 0 | 0,7 |
| 19 | 3 | 3 | 80 | 380 | 2,4 |
| 20 | 3 | 4 | 70 | 0 | 11,8 |
| 21 | 3 | 3 | 70 | 380 | 10,1 |
| 22 | 3 | 4 | 80 | 0 | 4,5 |
| 23 | 3 | 3 | 70 | 0 | 10,8 |
| 24 | 3 | 4 | 70 | 380 | 13,5 |

Figura B.2.7. Hoja de trabajo del diseño de experimento factorial 2^3 implementado en la secadora dos, con los valores de la variable de respuesta sustituidos.

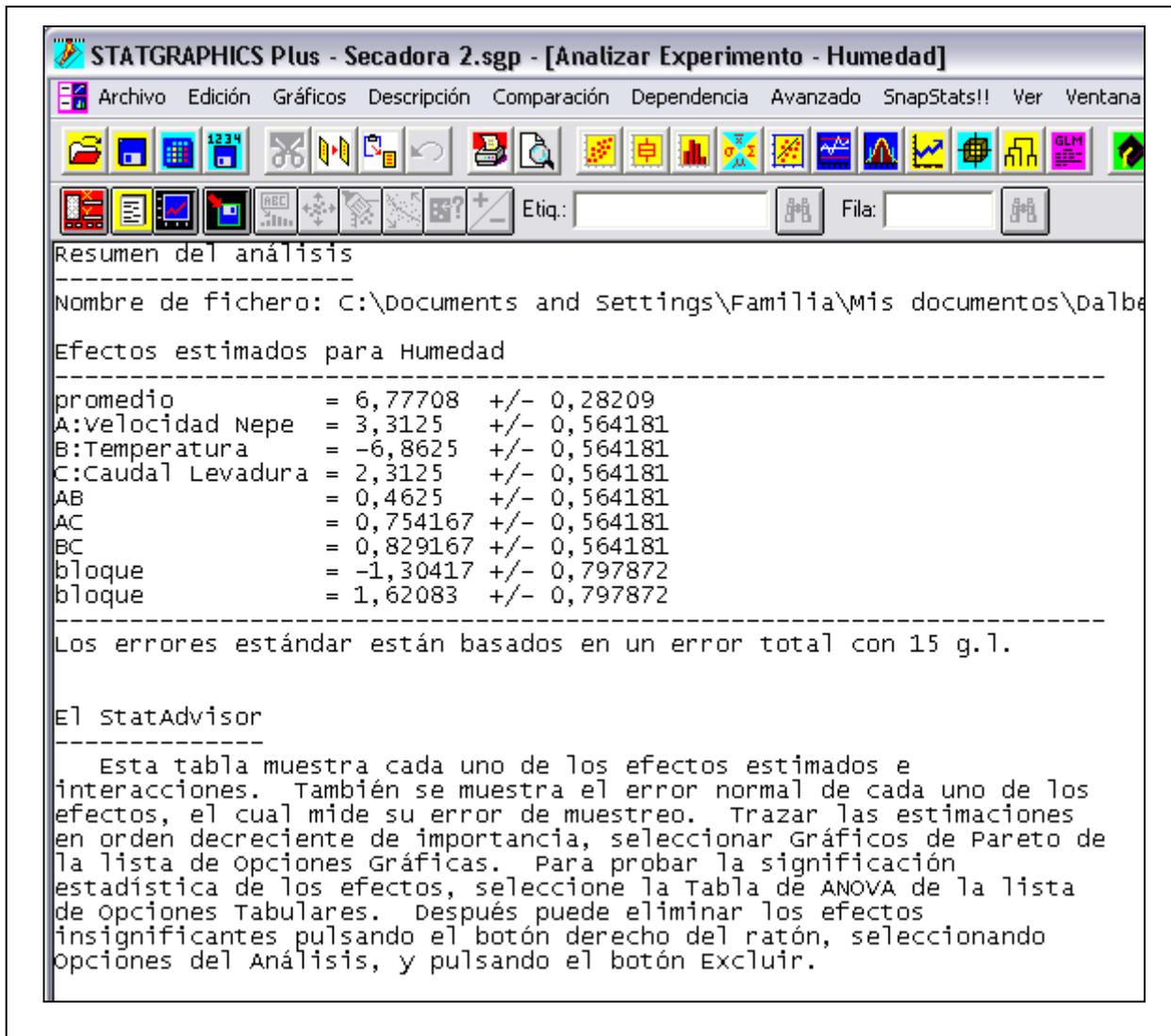


Figura B.2.8. Efectos de las variables de estudio de la secadora número dos en el proceso de secado del nepe representados en el resumen de análisis estadístico.

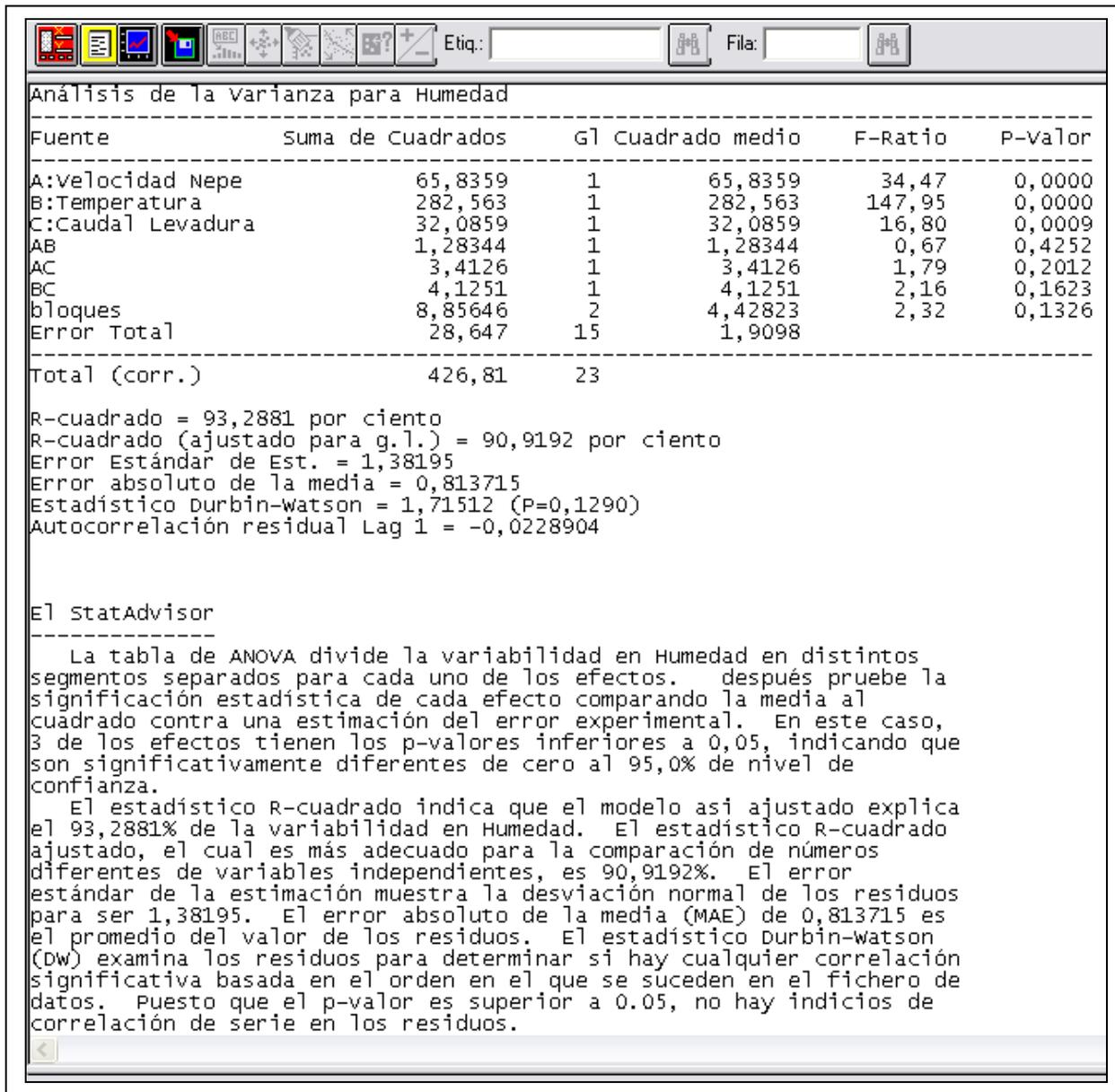


Figura B.2.9. Matriz ANOVAR de la secadora número dos.

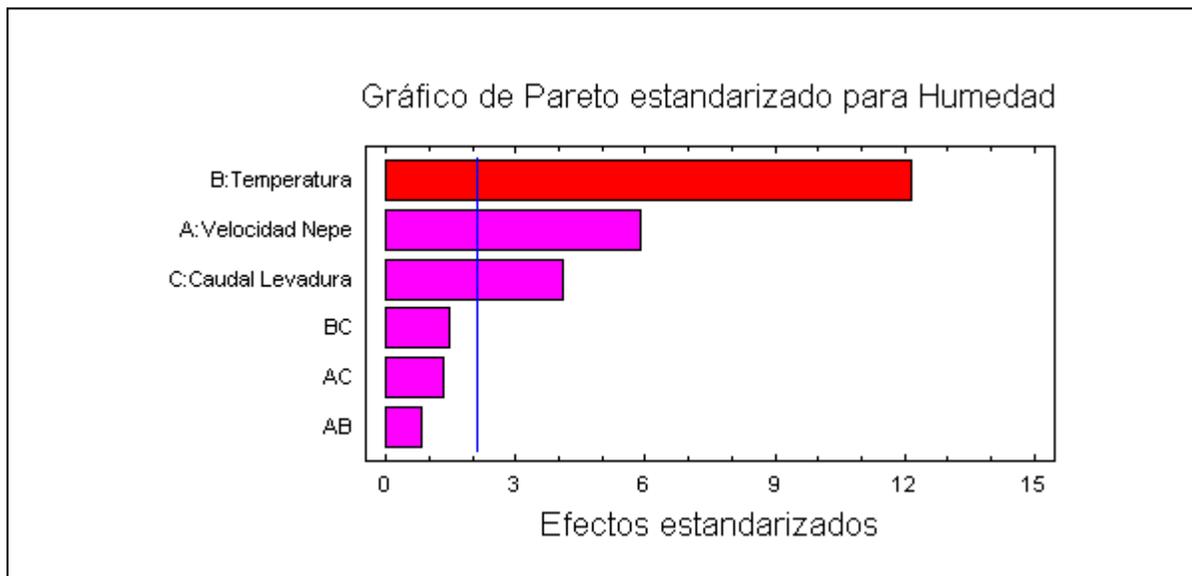


Figura B.2.10. Pareto estandarizado de las variables más influyentes sobre la humedad del nepe producido en la secadora número dos.

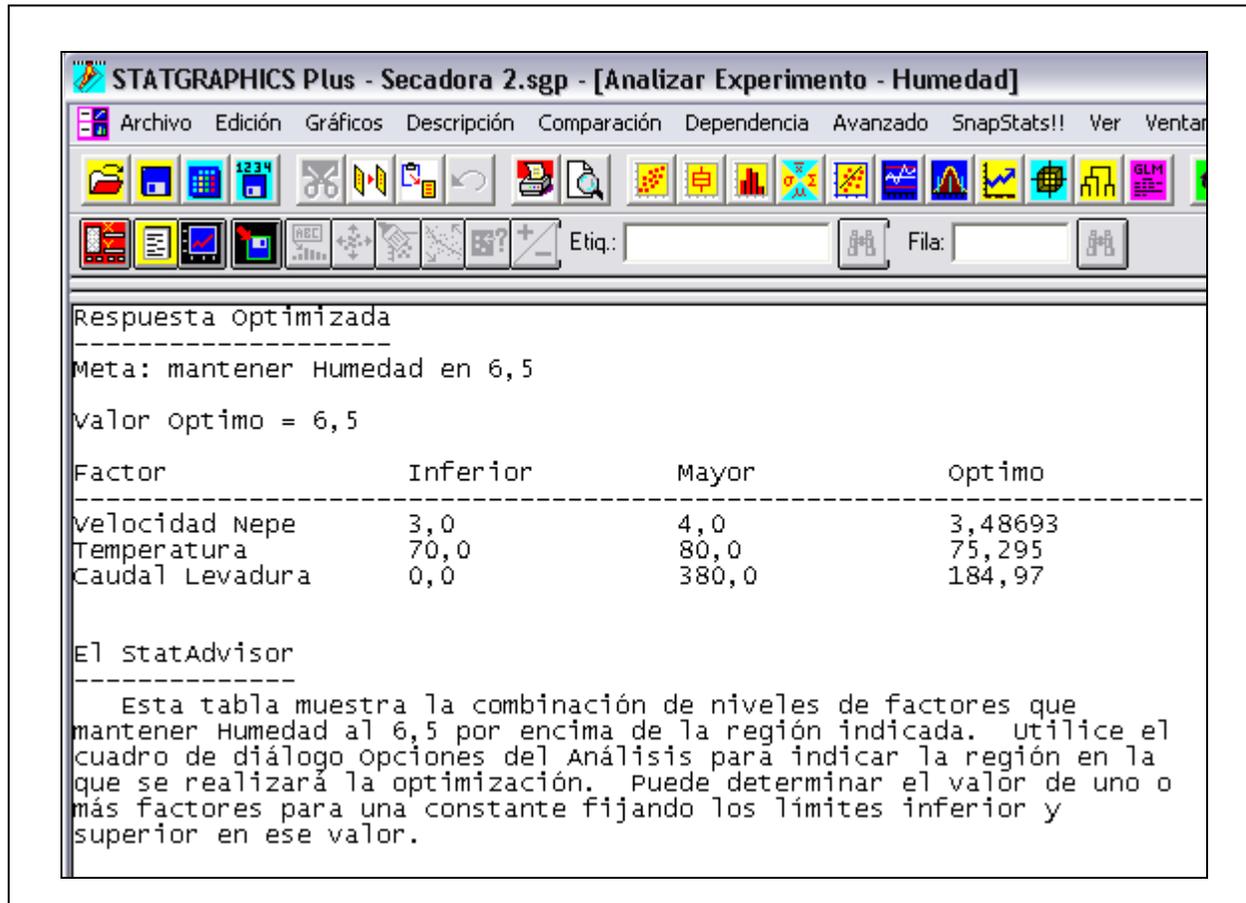


Figura B.2.11. Punto óptimo de operación de la secadora número dos.

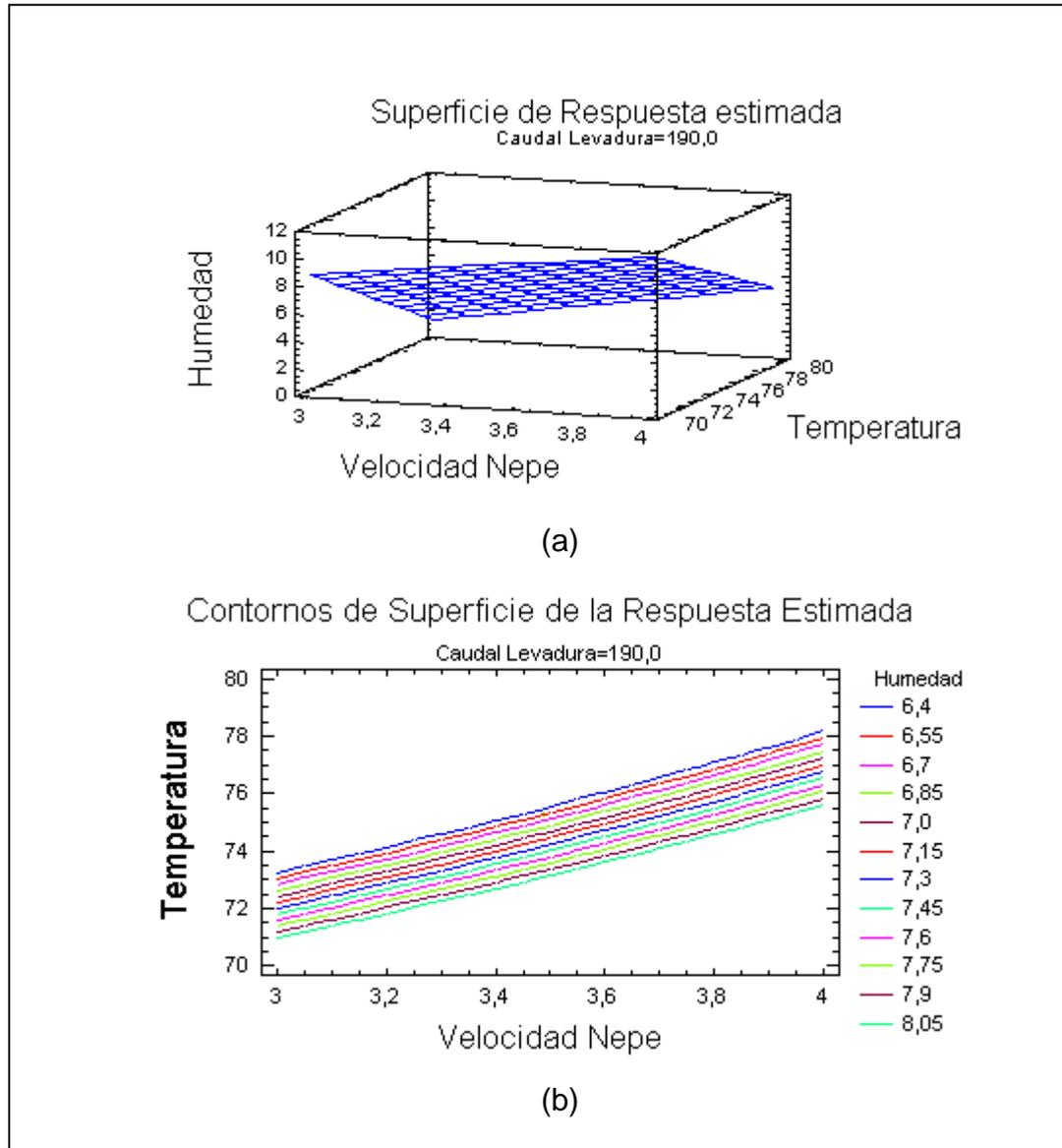


Figura B.2.12. Superficie de respuesta del diseño de experimento planteado en la secadora dos, la figura (a) muestra la superficie de respuesta estimada en tres dimensiones y la (b) muestra los contornos de la superficie de respuesta estimada en dos dimensiones.

STATGRAPHICS Plus - secadora 3.sgp - [Secadora 3.sfx]

Archivo Edición Gráficos Descripción Comparación Dependencia Avanzado SnapStats!! Ver Ventana Ayuda

| | BLOQUE | Velocidad Nepe | Caudal levadura | Temperatura | Humedad |
|----|--------|----------------|-----------------|-------------|---------|
| 1 | 1 | 2,5 | 0 | 70 | 5,06 |
| 2 | 1 | 2,5 | 380 | 70 | 11,66 |
| 3 | 1 | 3,5 | 0 | 80 | 1,21 |
| 4 | 1 | 3,5 | 380 | 70 | 19,55 |
| 5 | 1 | 3,5 | 0 | 70 | 14,78 |
| 6 | 1 | 3,5 | 380 | 80 | 10,098 |
| 7 | 1 | 2,5 | 380 | 80 | 0,53 |
| 8 | 1 | 2,5 | 0 | 80 | 0,4 |
| 9 | 2 | 3,5 | 380 | 70 | 18,59 |
| 10 | 2 | 2,5 | 0 | 70 | 3,11 |
| 11 | 2 | 2,5 | 0 | 80 | 0,88 |
| 12 | 2 | 2,5 | 380 | 70 | 8,23 |
| 13 | 2 | 3,5 | 0 | 70 | 8,64 |
| 14 | 2 | 3,5 | 380 | 80 | 10,4 |
| 15 | 2 | 3,5 | 0 | 80 | 1,27 |
| 16 | 2 | 2,5 | 380 | 80 | 0,73 |
| 17 | 3 | 2,5 | 380 | 80 | 1,08 |
| 18 | 3 | 3,5 | 380 | 70 | 26,7 |
| 19 | 3 | 3,5 | 380 | 80 | 8,62 |
| 20 | 3 | 2,5 | 380 | 70 | 3,1 |
| 21 | 3 | 2,5 | 0 | 70 | 1,56 |
| 22 | 3 | 2,5 | 0 | 80 | 0,78 |
| 23 | 3 | 3,5 | 0 | 70 | 7,31 |
| 24 | 3 | 3,5 | 0 | 80 | 3,34 |

Figura B.2.13. Hoja de trabajo del diseño de experimento factorial 2^3 implementado en la secadora tres, con los valores de la variable de respuesta ya sustituidos.

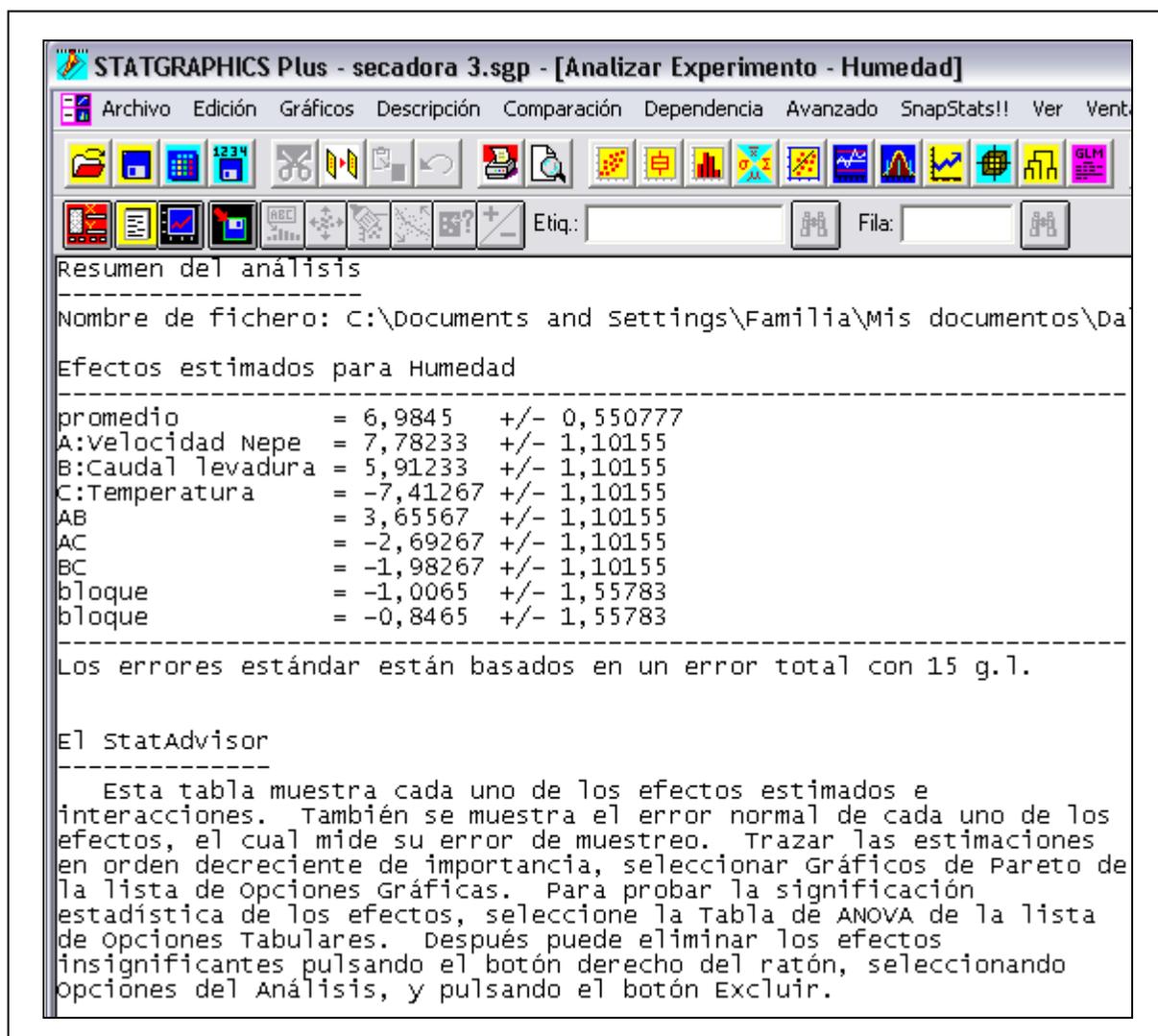


Figura B.2.14. Efectos de las variables de estudio de la secadora número tres en el proceso de secado del nepe representados en el resumen de análisis estadístico.

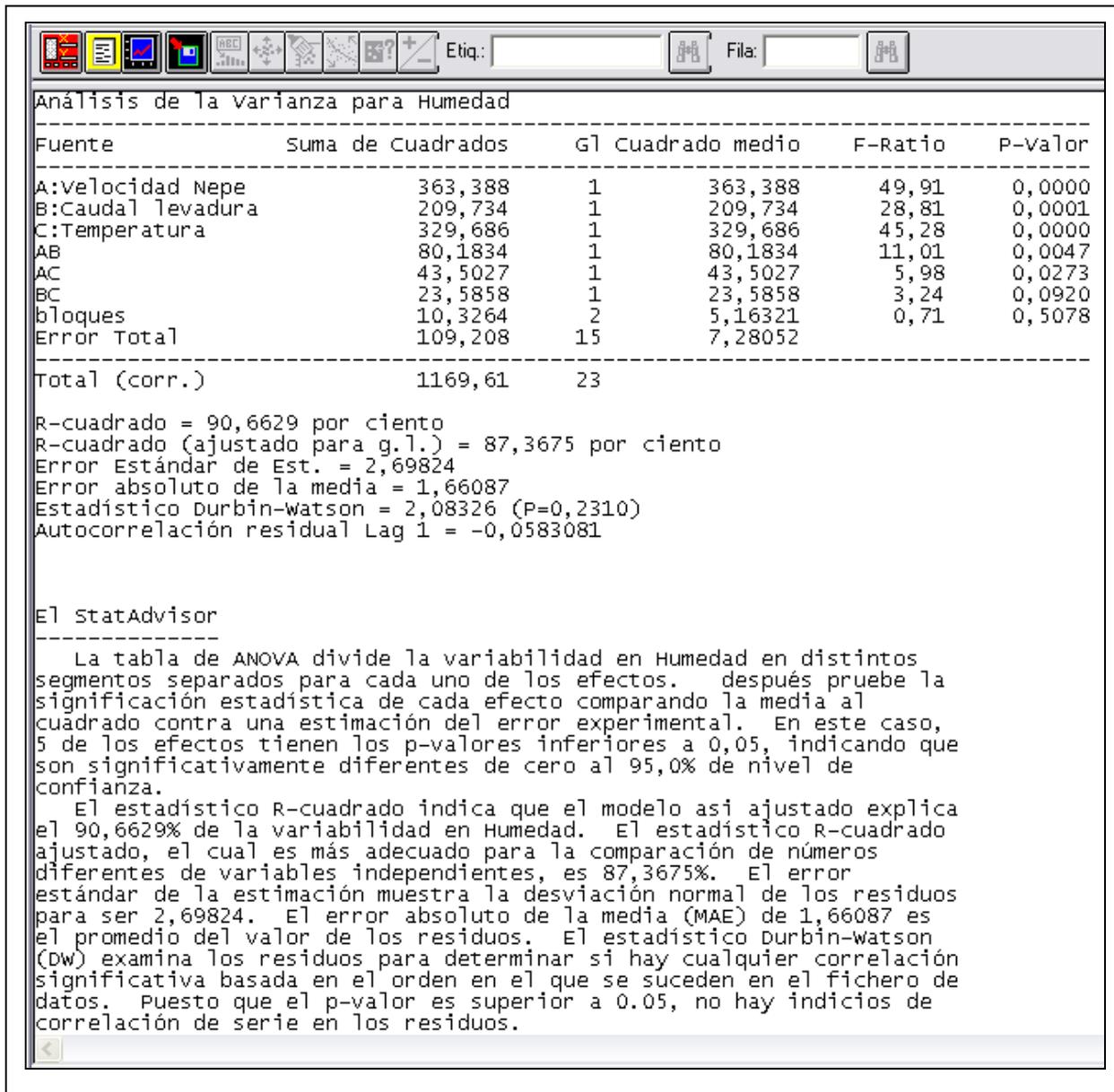


Figura B.2.15. Matriz ANOVAR de la secadora número tres.

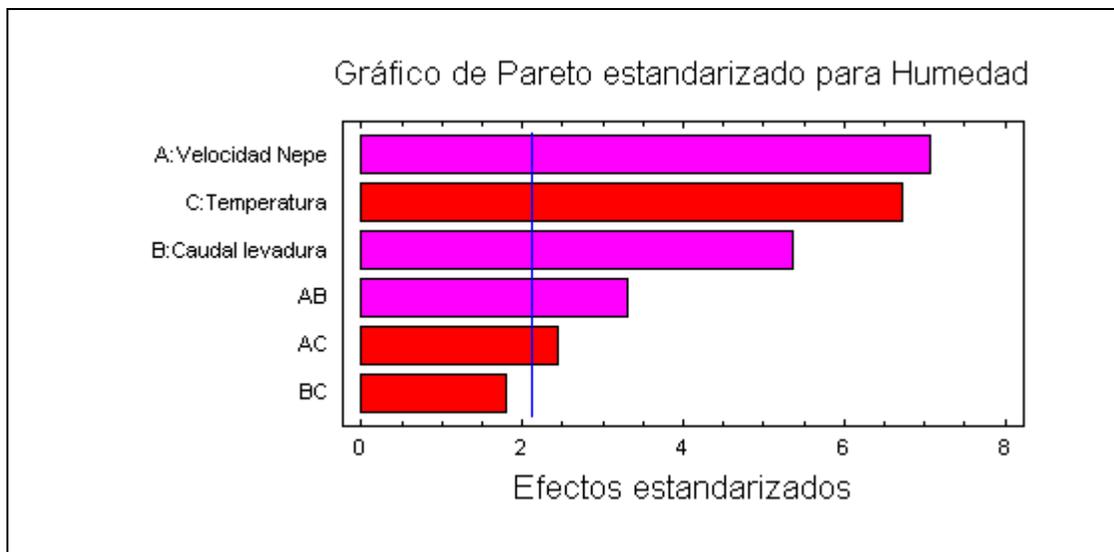


Figura B.2.16. Pareto estandarizado de las variables más influyentes sobre la humedad del nepe producido en la secadora número tres.

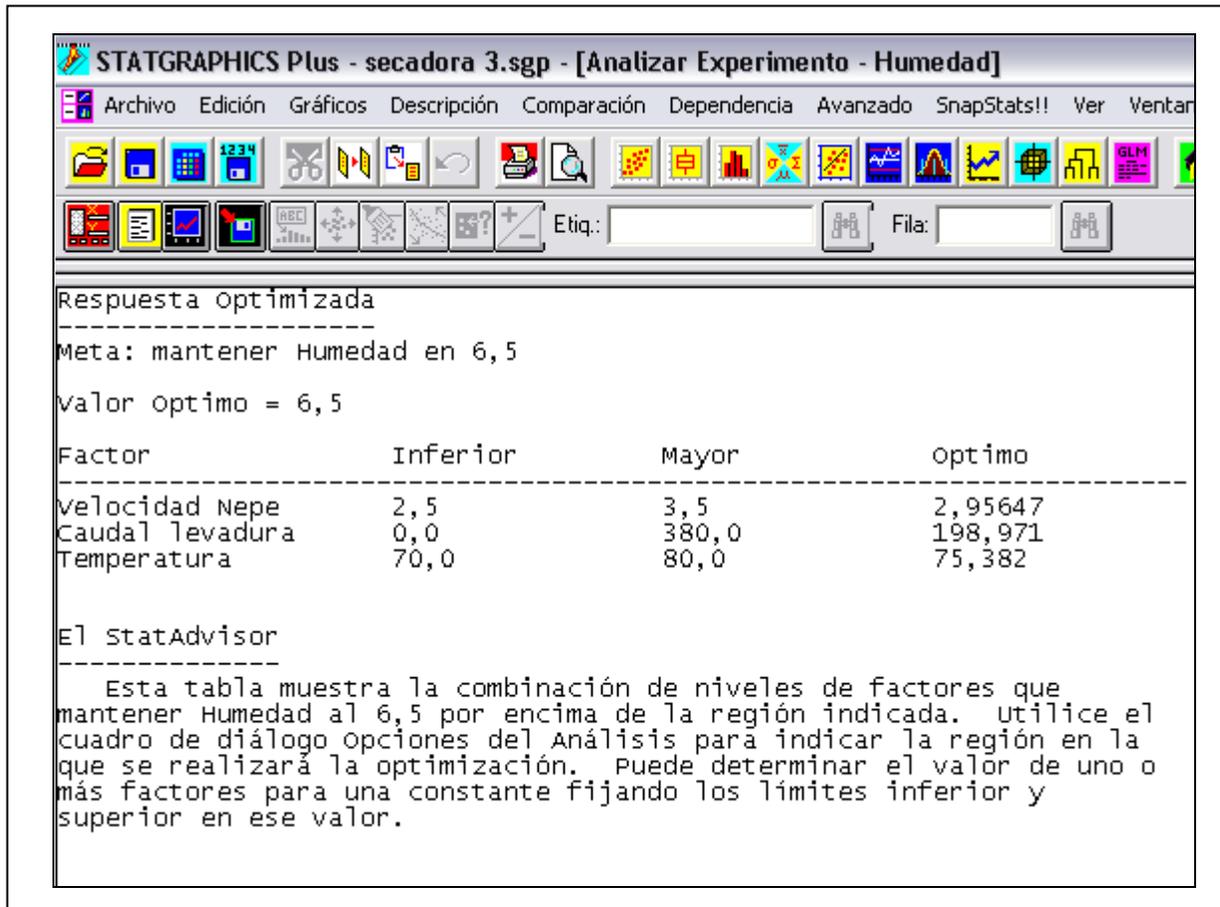


Figura B.2.17. Punto óptimo de operación de la secadora número tres.

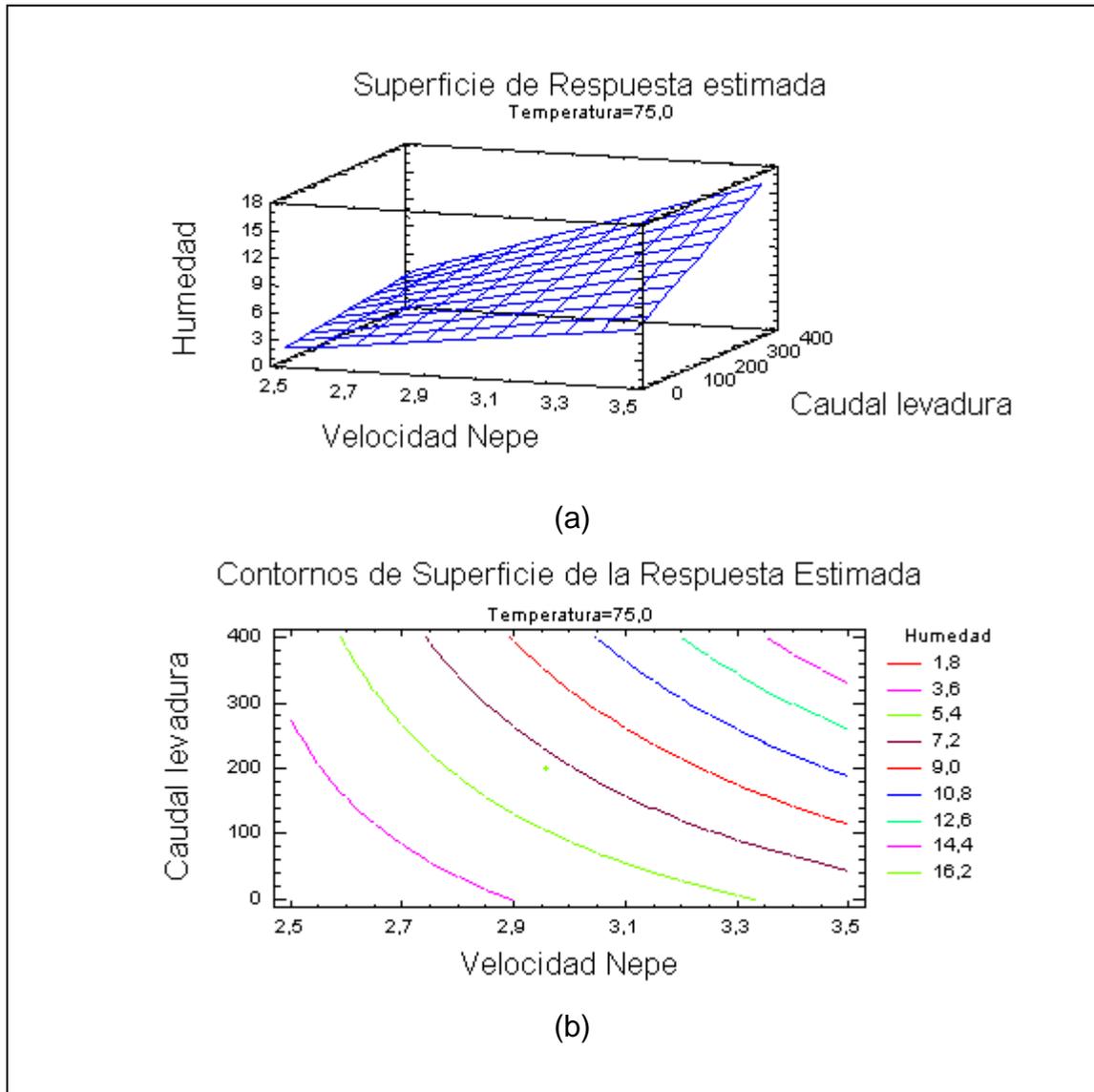


Figura B.2.18. Superficie de respuesta del diseño de experimento planteado en la secadora tres, la figura (a) muestra la superficie de respuesta estimada en tres dimensiones y la (b) muestra los contornos de la superficie de respuesta estimada en dos dimensiones.

APÉNDICE C

Normas de especificaciones de calidad de
la empresa y fichas técnicas de
los equipos

| Etapas / Material | Calidad | | Prod | | Característica de inspección | Punto de Insp. | Inst. de control | Frecuencia de inspección | Zona de especificación de proceso y producto | Zona de corrección de producto y/o alerta de proceso | Zona de producto no conforme |
|---------------------------|---------|------|------|---|--|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|--|------------------------------|
| | Proo | Prod | C | M | | | | | | | |
| Molienda | X | | X | X | Análisis de molienda: Molienda Seca: Molino rodillo Harina 1 Harina 2 Sémola Cáscara | Molinos, molienda seca | Ver Portal | | | | |
| | | | | | Molino martillo: % de harinas Ausencia de granos enteros Molienda Húmeda: Ausencia de granos enteros | Molinos, molienda húmeda | | | | | |
| Cocimiento (paila mezcla) | X | | X | X | pH | Pailas de Mezcla | Ver Portal | | | | |
| Filtración mosto | X | | X | X | Extracto última agua | Meura | Ver Portal | 1 equipo * semana | | | |
| | | | | | | Cuba de filtración | | | | | |
| | | | | | Nepe: Extracto total s.s. | Cuba de filtración | Ver Portal | | | | |
| | | | | | Nepe: Extracto eluible s.s. | | | | | | |
| | | | | | Nepe: Extracto digerible s.s. | | | | | | |
| Humedad en Nepe seco | | | | | Salida de la secadora de Nepe | Ver Portal | 1 vez a la semana | [5,0 ; 8,0] % (Método Convencional) | ≤ 4,0 U [8,1 ; 10,0] | ≥ 10,1 | |
| | | | | | Camión durante la carga para despacho | | Cada despacho | [5,0 ; 8,0] % (Método Rápido) | ≤ 4,0 U [8,1 ; 10,0] | ≥ 10,1 | |

Figura C.1. Especificaciones de calidad del nepe seco de la empresa.

| Etapa del proceso / Material | Calidad | | Característica de inspección | Punto de Inspección | Instructivo de control | Frecuencia de inspección | Zona de especificación de proceso y producto |
|------------------------------|---------|------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|---|--|
| | Proc | Prod | | | | | |
| TA – Agua Recuperada | x | | Silíce en SiO2 (Agua Alim RO) | Sistema RO | Ver Portal | | |
| | x | | pH (Agua Alim RO) | | Ver Portal | | |
| | x | | Conductividad (Agua Alim RO) | | Ver Portal | | |
| | x | | Conductividad (Agua RO) | | Ver Portal | | |
| | x | | Cloruros (Agua RO) | | Ver Portal | | |
| | x | | Silíce (Agua RO) | | Ver Portal | | |
| | x | | Fósforo en P (Agua RO) | | Ver Portal | | |
| TA - Rep. Calderas | x | | Silíce en SiO2 (Desmineralizada) | Tq. Agua Rep. Calderas | Ver Portal | | |
| | x | | Silíce en SiO2 (suavizada) | | Ver Portal | | |
| | x | | Dureza en CaCO3 | | Ver Portal | | |
| TA - Anaeróbico | x | | DBO 5 (Efl. Cervecería) | afluente PTAR | Ver Portal | C, O, SJ: 1 semanal; M: 1 trimestral | ≤ 4500 mg/l |
| | x | | DQO T (Efl. Cervecería) | | Ver Portal | C: 1 semanal; O: 1 inter diario; M, SJ: 1 día | ≤ 6500 mg/l |
| | x | | Nitrógeno en N (Efl. Cervecería) | | Ver Portal | C, M, SJ: 1 semanal; O: 1 inter diario | ≤ 60 mg/l |
| | x | | Fósforo en P (Efl. Cervecería) | | Ver Portal | C, M: 1 semanal; O: 1 inter diario; SJ: 1 día | ≤ 40 mg/l |
| | x | | SST (Efl. Cervecería) | | Ver Portal | C, SJ: 1 semanal; O: 1 inter diario; M: 1 día | ≤ 900 mg/l |
| | x | | ST (Efl. Cervecería) | afluente PTAR | Ver Portal | C: 1 semanal; O: 1 inter diario | ≤ 6000 mg/l |
| | x | | Alcalinidad Tq PA | Tq . Preacidificación | Ver Portal | | |
| | x | | AGV (Tq PA) | | | | |
| | x | | DQO F (Tq PA) | | Ver Portal | | |
| | x | | Grado acidificación (Tq PA) | | | | |

Figura C.2 Especificaciones de control del afluente a tratar en la PTAR de la empresa.

TABLA C.1
RELACIONES DE FLUJOS DE ALIMENTACIÓN DE NEPE HÚMEDO AL SISTEMA DE
SECADO REGULADOS EN LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN DE
LA SECADORA UNO

| Porcentaje de frecuencia del motor de la tolva (%) | Velocidad del motor de la tolva (rpm) | Flujo másico de alimentación (kg/h) |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 9 | 1,50 | 853,308 |
| 13 | 2,17 | 1234,452 |
| 18 | 3,00 | 1706,616 |
| 24 | 4,00 | 2275,488 |

TABLA C.2
RELACIONES DE FLUJOS DE ALIMENTACIÓN DE NEPE HÚMEDO AL SISTEMA DE
SECADO REGULADOS EN LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN DE
LA SECADORA DOS O TRES

| Porcentaje de frecuencia del motor de la tolva (%) | Velocidad del motor de la tolva (rpm) | Flujo másico de alimentación (kg/h) |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 13 | 1,63 | 999,093 |
| 15 | 1,88 | 1293,154 |
| 22 | 2,50 | 2008,126 |
| 26 | 3,00 | 2584,717 |
| 30 | 3,50 | 3247,855 |
| 34 | 4,00 | 3910,993 |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, M. (2002). **“Optimización del proceso de secado de productos de arcilla”** Trabajo especial de grado, Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda-Venezuela.
2. BAVARESCO, A. (1992). **“Proceso metodológico en la investigación”**. Caracas-Venezuela. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-04692000000100005&script=sci_arttext
3. BENSON, W. (1970). **“Brewers grains, Wet brewers grains, Dried brewers grains, Brewers spent grain, Brewers Dried Yeast”**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agA/AGAP/FRG/AFRIS/Data/468.HTM>. [Consulta en Septiembre, 2007].
4. GIMÉNEZ, D. (2003). **“Optimización de los procedimientos de medición y control de humedad de secadores”**. Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda-Venezuela.
5. GIUGNI, L., ETTEDGUI, C., GONZALEZ, I. y GUERRA, V. (2007). **“Evaluación de proyectos de inversión”**. Valencia-Venezuela. Editado por la Universidad de Carabobo, quinta reimpresión.
6. GLARIA, J., PAVEZ M. y PAVEZ, J. (2000). **“Medición de humedad en sólidos”**. Chile. [Documento en línea]. Disponible en: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/PAVEZc.pdf>. [Consulta en Septiembre, 2007].
7. GONZÁLEZ, C. y THOMPSON, J. (2007). **“Determinación del contenido de cadmio en función del tamaño de Partícula de un suelo de la cuenca del lago de valencia”**. Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Valencia, Edo. Carabobo-Venezuela.

-
8. GUTIÉRREZ, H., De la Vara, R. (2004). **“Análisis y diseño de experimentos”**, México. editorial McGraw-Hill, primera edición.
9. HIMMELBLAU, D. (1995). **“Balances de materia y energía”**. México. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, cuarta edición.
10. HOUGH, J. (1990). **“Biotecnología de la cerveza y de la malta”**. España. Editorial Acribia, S. A.
11. HUMEDAD AMBIENTAL. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/humedad_ambiental.
12. **INSTRUCTIVO DE INSPECCIÓN, MEDICIÓN Y/O ENSAYO DE LA CERVECERÍA POLAR**. (2005). Planta San Joaquín – Venezuela.
13. **LEVADURAS Y LA FERMENTACIÓN**. Disponible en:
<http://www.verema.com/opinamos/tribuna/articulos/levaduras2.asp>.
14. **LEVADURA DE CERVEZA SACCHAROMYCES CEREVISIAE**. Disponible en:
http://personales.ya.com/plantasnet/l/levadura_cerveza/levadura_cerveza.htm.
15. LÓPEZ, M. (2006). **“Secado de café en lecho fluidizado”**. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
16. **MANUAL DE CERVECERÍA POLAR**. (2005). **“Proceso de elaboración de Cerveza”**. Planta San Joaquín – Venezuela.
17. **MANUAL TÉCNICO DEL AGUA**. (1973). Sociedad de Degremont. Francia.
18. MARKS, L. y BAUMEISTER, T. (1979). **“Manual del ingeniero mecánico de marks”**. Mexico. Editorial Uteha, primera edición.
-

-
19. MOORE, W. y LUDZACK, C. (1951). “**Determination of oxygen consumed values of organic wastes**”. Estados Unidos. Primera edición.
20. NAJUL, M. (2006). “**Valoración de proyectos**”. Caracas, Venezuela. Ediciones IESA.
21. NAVARRO, E. (1999). “**Formulario de Matemática**”. Madrid-España. Editorial Disza. Impresos Amendar C.A.
22. OTTATI, J. (2001) “**Cálculo y diseño de los servicios asociados al nuevo edificio de las secadoras de Nepe y levadura**”. Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda-Venezuela.
23. PERRY, G. (2001) “**Manual del ingeniero químico**”. Madrid-España. Editorial Mc Graw-Hill. Séptima edición.
24. ROJAS, J. (2005). “**Optimización del sistema de aire comprimido para el empuje de nepe**”. Universidad Simón Bolívar. Facultad de ingeniería. Sartenejas, Baruta, Edo. Miranda-Venezuela.
25. SANDOVAL, S y RODRIGUEZ, J (2006). “**Rapidez de secado reducida: una aplicación al secado convectivo de plátano Roatán**”. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Distrito Federal, México.
26. SMITH, J.M, VAN NESS, H.C, (2003). “**Termodinámica en ingeniería química**” México. Editorial McGraw-Hill, sexta edición.
27. TORRES, F. y MUÑOZ, C. (2003) “**Control difuso para una planta piloto de secado por lecho fluidizado**” Universidad de Tarapaca, Arica, Chile.
28. **TRATAMIENTO QUÍMICO DEL AGUA**. (1998). Editorial Impregraf. Caracas, Venezuela.
-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se exponen de manera puntal las conclusiones más importantes generadas a partir de los resultados obtenidos. También se presentan una serie de recomendaciones, propuestas con la finalidad de mejorar y profundizar la investigación realizada.

CONCLUSIONES

1. Se verificaron fallas mecánicas y operacionales en los sistemas que integran el proceso de secado del nepe que afectan negativamente la calidad del producto.
2. Se verificó que el nepe seco producido por las secadoras involucradas en el sistema no cumplía con las especificaciones de calidad de la empresa.
3. Los parámetros de control de los lodos producidos por el Scrubber se encuentran por encima de lo exigido por la norma de la empresa para la unidad de cedazo de acuerdo a la inspección realizada en el área.
4. Las variables más influyentes en el proceso de secado del nepe fueron la velocidad de alimentación de nepe húmedo, el caudal de alimentación de levadura y la temperatura de operación de las secadoras involucradas en el sistema.
5. Los puntos óptimos de operación determinados por el programa Statgraphics para obtener un nepe seco de $6,5 \pm 0,1$ % de humedad fueron:

| Secadora | Velocidad de alimentación del nepe húmedo ($V_n \pm 0,1$) rpm | Caudal de alimentación de levadura ($C \pm 0,1$) L/h | Temperatura de operación ($T \pm 0,01$) °C |
|----------|---|--|--|
| 1 | 2,6 | 1300,0 | 77,68 |
| 2 | 3,5 | 200,0 | 75,42 |
| 3 | 3,0 | 200,0 | 75,38 |

6. Al comparar las condiciones de salida del nepe seco y del subproducto del proceso después de instalar la nueva forma de operación, se verifican las mejoras en la calidad del producto y un incremento en la producción.
7. Se verificó la rentabilidad de instalar las mejoras en el proceso de secado del nepe con un valor presente neto de 5.786.403 Bs.F y una tasa interna de retorno de 352%.

RECOMENDACIONES

1. Para instalar las condiciones de operación en el proceso, se recomienda rediseñar el programa de automatización de forma tal que el proceso opere en un escenario de alta eficiencia, utilizando como puntos de operación los propuestos para cada secadora.
2. Adquirir un medidor de humedad que trabaje de forma diferente al instalado en el proceso, como por ejemplo uno con principio infrarrojo, de manera que controle el proceso en la descarga de la secadora y de acuerdo a este parámetro se logre tomar dediciones bajo de que forma van a trabajar los equipos.
3. Instalar un sistema de lavado de los ductos que comunican a las secadoras con el Scrubber, que permita realizarle un mantenimiento periódico que evite los taponamientos de estas tuberías que producen paradas del proceso de secado de nepe.
4. Instalar un equipo evaporador de levadura, de manera de consumir parte de la que se alimenta al sistema de secado, mediante este equipo y disminuir la remanente en el proceso cervecero que crea un gran impacto ambiental y económico a la hora de tratarla, además de garantizar que la levadura que continúe hacia el proceso de secado de nepe se encuentre autolizada de manera de facilitar el secado de esta al ingresar en las secadoras.
5. Instalar en el sistema de alimentación de levadura al proceso de secado de nepe medidores de flujo en las tuberías de alimentación, de nivel y temperatura en el tanque que la almacena de manera de conocer el control correcto de dichas variables a la hora de trabajar con esta materia prima.
6. Instalar medidores de flujo másico en las tolvas de alimentación de nepe húmedo de manera de conocer el control correcto de dicha variable a la hora de trabajar con esta materia prima.
7. Realizar un adiestramiento a los operadores del área y al personal involucrado en el proceso de manera de crear un mismo criterio de operatividad del mismo y familiarizarse con las mejoras.
8. Recuperar el nepe contenido en el lodo producido en el Scrubber de manera de aprovecharlo y venderlo en conjunto al húmedo.

-
9. Realizar mejoramiento de la infraestructura del área donde está instalado el proceso, así como de eliminación de plagas, de manera de garantizar un mejor ambiente de trabajo a los operadores.
 10. Adquirir una balanza de medición de humedad que permitan monitorear la humedad del nepe seco a escala piloto en el proceso por los operadores, de manera de no depender de la disponibilidad del equipo que se encuentra en el laboratorio de calidad de la empresa.
 11. Realizar la reingeniería planteada nuevamente a la secadora número uno una vez reparen la falla del motor presentada al final de la investigación, para descartar posibles errores ocasionados en la experimentación por dicha falla.
 12. Operar a las condiciones encontradas para mejorar la calidad del producto obtenido en el proceso de secado de nepe.