



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Informe del proyecto de investigación para obtener el título de:

INGENIERA ELECTROMECAÁNICA

PERFECCIONAMIENTO DEL PROCESO DE SECADO DE LA PIÑA EN

LAS EMPACADORAS DEL CANTÓN SANTO DOMINGO

Autora

KARLA TATIANA NÚÑEZ BUÑAY

Director

ING. ALEXIS CORDOVÉS GARCÍA, Ph.D.

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Julio – 2017

**PERFECCIONAMIENTO DEL PROCESO DE SECADO DE LA PIÑA EN
LAS EMPACADORAS DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Ing. Alexis Cordovés García, *Ph.D.*

DIRECTOR

APROBADO

Ing. Ortega Soliz Nilo Olegario, *MSc.*

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Efraín Centeno Lara, *MSc.*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Gabriel Oswaldo Obregon Veloz, *MSc.*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, de de 2017

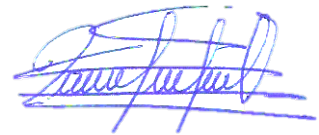
Autor: KARLA TATIANA NÚÑEZ BUÑAY

**Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
SEDE SANTO DOMINGO**

**Título: PERFECCIONAMIENTO DEL PROCESO DE
SECADO DE LA PIÑA EN LAS EMPACADORAS
DEL CANTÓN SANTO DOMINGO**

Fecha: JULIO, 2017

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad de la autora y no ha sido plagiado.



Karla Tatiana Núñez Buñay
C.I. 1723574420

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

INFORME DEL DIRECTOR

Santo Domingo, 7 de julio del 2017

Señor Ingeniero

Ortega Soliz Nilo Olegario, MSc.

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

En su despacho.

Señor Ingeniero

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por la estudiante **KARLA TATIANA NÚÑEZ BUÑAY**, cuyo título es: **“PERFECCIONAMIENTO DEL PROCESO DE SECADO DE LA PIÑA EN LAS EMPACADORAS DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”**; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, el mismo que no ha sido plagiado, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



**ING. CORDOVÉS GARCÍA ALEXIS, PHD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Dedicatoria

A Dios.

Por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida, haberme dado la salud necesaria para lograr todos los objetivos que me he planteado y las fuerzas para no desmayar a mitad del camino.

A mis padres.

Carlos Núñez y Toñita Buñay por ser mis modelos a seguir, por haberme brindado su amor, cariño, y consejos. Ustedes que han estado conmigo en cada uno de los momentos que los necesité, incluso sin pedírselos, sé que contaba con ustedes para enfrentar cada obstáculo que se me presentó.

A mis hermanos.

Jorge Núñez y Eduardo Núñez que siempre están ahí incondicionalmente, para brindarme su ayuda.

A mis sobrinos queridos.

Que durante cada etapa que pasé ellos llenaban los días de felicidad.

A todos mis amigos que siempre me apoyaron a lo largo de este tiempo y estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos.

Agradecimiento

Este trabajo es el esfuerzo en conjunto de muchas personas que estuvieron conmigo incondicionalmente. Mis más sinceros agradecimientos a Dios por haberme guiado en este largo camino hacia la meta.

Agradezco a mis padres por ser mi pilar fundamental para nunca rendirme, por la confianza puesta en mí y estar ahí conmigo en las buenas y malas situaciones de mi vida, gracias por su amor y cariño incondicional, ya que sin ustedes esta meta no sería posible. Ustedes son mis modelos a seguir, mi motivo por querer ser mejor cada día y espero que estén orgullosos en la persona que me he convertido.

Gracias a mis hermanos por creer y cuidar de mí siempre. Ustedes forman gran parte de lo que soy, de ustedes he aprendido muchas cosas.

A todos mis docentes, gracias por los conocimientos impartidos en las aulas de clases este trabajo se debe a ustedes.

Al Ing. Alexis Cordovés agradezco su colaboración brindada, durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente agradezco a mis amigos, en toda esta etapa universitaria, atravesamos grandes momentos juntos, los cuales los supimos enfrentar. Hubo momentos bajos, pero en esos momentos nos uníamos mucho más con risas y bromas los afrontábamos.

Gracias a todos los que me brindaron su cariño, amor y ayuda en este proyecto.

Karla Tatiana Núñez Buñay

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723574420
APELLIDO Y NOMBRES:	Núñez Buñay Karla Tatiana
DIRECCIÓN:	Santo Domingo
EMAIL:	tatinu_123@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	
TELÉFONO MÓVIL:	0982200478

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Perfeccionamiento del proceso de secado de la piña en las empacadoras del Cantón Santo Domingo
AUTOR O AUTORES:	Karla Tatiana Núñez Buñay
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	12 de Julio de 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Alexis Cordovés García, Ph.D.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Electromecánica
RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras	El objetivo de la presente investigación es obtener una propuesta de sistema de secado de la piña que permita incrementar la eficiencia de este proceso en las empresas empacadoras y reducir el nivel de ruido generado por el sistema de ventilación. El estudio se centró en tres empresas empacadoras de la localidad de Santo Domingo de los Colorados con insatisfacción en los resultados alcanzados en el proceso de secado de este producto.

	<p>Se aplicó el método de la mancha para determinar el grado de humedad presente en el fruto y se determinó, mediante un tubo de Pitot, el valor de velocidad y presión del fluido requeridos para un adecuado secado del fruto, los que fueron tomados como referencia para la selección del sistema de ventilación.</p> <p>Se obtuvo el modelo CAD de la conducción de aire el que permitió la simulación de las condiciones de ventilación para la magnitud del flujo, velocidad y presión determinados. Con este fin, se aplicó la herramienta CAE SolidWork Flow Simulations.</p> <p>Se ofrecen dos variantes del sistema de secado. La primera, compuesta por dos unidades de ventilación, una para cada línea de piñas, con ventiladores regenerativos de 11.5 HP, 618,439 m³/h - 364 CFM. La segunda variante compuesta por una unidad de ventilación con un difusor de dos salidas, un ventilador regenerativo de 19,4 HP, 1248.77 m³/h - 735 CFM. Ambas variantes satisfacen los requerimientos de secado del fruto y generan un nivel de ruido que se corresponde con lo regulado por las normas ambientales vigentes.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Secado, ventilación, humedad, Simulación CAE</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The research's aim was to obtain a proposal of drying system of the pineapple that allows increasing the efficiency of this process at packaging plant and reducing the level of noise</p>

generated by the ventilation system. The study focused on three packaging plant companies from Santo Domingo de los Colorados with dissatisfaction in the results achieved in the drying process of this product.

The method of stain was applied to determine the grade of humidity present in the fruit and it was determined through a tube of Pitot, the value of speed and pressure of the fluid required for a suitable drying of the fruit, which were taken as reference for the selection of the system of ventilation.

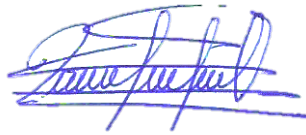
It was obtained the CAD Model of the air conduction which enabled the simulation of ventilation conditions for the magnitude of the flow, speed and pressure as well as the tool drops Solid Work Flow Simulations.

There are two variants of the drying system. The first, consisting of two ventilation units, one for each line of cones, with fans regenerative of 11.5 hp, 618,439 m³/h - 364 CFM. The second variant composed by a ventilation unit with a diffuser of two outputs, a fan regenerative 19.4 HP, 1248.77 m³/h - 735 CFM. Both variants satisfy the requirements of the fruit drying and generate a noise level that corresponds to what was regulated by the current environmental standards.

KEYWORDS

Drying, ventilation, humidity, CAE Simulation

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f. _____

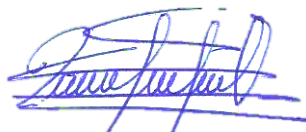
NÚÑEZ BUÑAY KARLA TATIANA
CI.172357442-0

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **NÚÑEZ BUÑAY KARLA TATIANA**, CI.172357442-0 autora del proyecto titulado: **Perfeccionamiento del proceso de secado de la piña en las empacadoras del Cantón Santo Domingo** previo a la obtención del título de **INGENIERA ELECTROMECAÁNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 12 de julio de 2017



f: _____

NÚÑEZ BUÑAY KARLA TATIANA
CI.172357442-0

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal	II
Responsabilidad del autor	III
Aprobación del Director.....	IV
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Formulario de biblioteca	VII
Declaración y Autorización.....	XI
Índice de contenido	XII
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras	XIV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO REFERENCIAL	5
III. METODOLOGÍA	27
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calibres de la piña según el peso	9
Tabla 2. Espectro de nivel de potencia sonora LW (B) para ventiladores.....	23
Tabla 3. Niveles sonoros permitidos según las Normas de Higiene Industrial y Ambiente (NTE INEN-ISO 4871).....	24
Tabla 4. Estado de madurez de la piña.....	27
Tabla 5. Tabla de resultados de las Empresas analizadas	34
Tabla 6. Condiciones y resultados de las pruebas de impulsión con ventilador de salida de 1.65” (42 mm), con emisión directa y con manguera de 2.8 m de longitud	43
Tabla 7. Condiciones y resultados de las pruebas de impulsión con ventilador de salida 1.65” y manguera de longitud 1.8 m	44
Tabla 8. Mediciones de la altura de la columna de líquido efectuadas con el tubo de Pitot.....	48
Tabla 9. Valor de la densidad del aire según ubicación de la localidad de trabajo (altura sobre el nivel del mar y la temperatura ambiente)	49
Tabla 10. Posibles proveedores de ventiladores para el sistema de impulsión de aire.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del flujo productivo en empresas emparadoras de piña	6
Figura 2: Calibrador de piña por peso.....	10
Figura 3: Componentes del sistema de aspiración de aire	15
Figura 4: Cabinas de aspiración de aire húmedo	16
Figura 5: Ventilador centrífugo.....	17
Figura 6: Tipos de ventiladores centrífugos a) álabes hacia adelante; b) álabes radiales; c) álabes inclinados hacia atrás	18
Figura 7: Ventilador axial	19
Figura 8: Sectores de ruido del ventilador centrífugo.....	21
Figura 9: Estado de la piña.....	28
Figura 10: Lavado de la piña Empresa No.1	29
Figura 11: Alineamiento y pre-secado de la piña.....	30
Figura 12: Secado de la piña Empresa No.1	30
Figura 13: Ventiladores axiales Empresa No.1	31
Figura 14: Piñas a dos hileras	32
Figura 15: Secado de la piña Empresa No.2	32
Figura 16: Distribución de las piñas en la caja y representación de los diferentes tamaños de las huellas de humedad para tres casos de estudio.....	35
Figura 17: Ventilador centrífugo de 6 pulgadas habilitado para succión.....	38
Figura 18: a) Ventilador centrífugo de 2 pulgadas habilitado para impulsión.....	41
Figura 19: Tubo de Pitot utilizado para medir la velocidad de un gas.....	46
Figura 20: Tubo de Pitot utilizado para medir la velocidad a la salida del ventilador	48
Figura 21: Esquema general simplificado de la instalación con el equipo impulsor de flujo y el sistema de conducción de aire	52
Figura 22: Diseño de la conducción de aire desde el ventilador hasta la banda transportadora	53
Figura 23: Diseño del difusor ubicado en el extremo de la conducción de aire	54
Figura 24: Resultado del Solver para la simulación del proyecto: Secado de la Piña.....	57
Figura 25: Resultado de la ejecución del Solver para la simulación del proyecto: Secado de la Piña	58
Figura 26: Resultado de la simulación del objetivo “velocidad” en la conducción... ..	59
Figura 27: Resultado de la simulación del objetivo “presión” en la conducción.....	60

I. INTRODUCCIÓN

El Cantón Santo Domingo de Los Colorados dispone de una de las principales plantaciones de piña del país junto a las Provincias de Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, Loja Pichincha, Imbabura, Guayas, Azuay, Orellana, Sucumbíos y Pastaza, las que cuentan con características climatológicas adecuadas para el cultivo del fruto. (Pesca, 2012) (ASOPIÑA, 2011).

Según el Censo Nacional, Ecuador posee alrededor de 5.750 hectáreas de superficie sembrada de piña, en sus diferentes variedades como la Hawaiana o Champaca la cual se utiliza en la agroindustria y la Golden Sweet conocida como MD2 la que posee una gran demanda debido a su dulce sabor, estas dos variedades de piña son específicamente destinadas para la exportación a países como: Estados Unidos, principal mercado de Ecuador, seguido por Chile, España y Bélgica (Bolívar, 2012).

La industria ecuatoriana debe cumplir, entre otras, con las normas vigentes de calidad, sobre todo cuando se trata de la industria Hortofrutícola la cual está sujeta al cumplimiento de requerimientos estrictos de proceso, ya que manejan productos de carácter perecedero. En el caso de las empresas empacadoras de piña se debe cumplir la norma (NTE INEN 1 836:2009) que estipula las regulaciones para el tratamiento de las frutas frescas y específicamente de la piña.

Por este motivo, esta industria se ha visto en la necesidad de perfeccionar sus procesos para obtener un producto de calidad aceptable y uniforme. Algunas empresas del sector están invirtiendo en innovación tecnológica con la finalidad de introducir mejoras en el proceso e incrementar la eficiencia de la producción.

Las etapas del ciclo de procesamiento de la piña para la exportación, son las siguientes:

- Recepción de la piña en la empresa empacadora
- Preparación de la corona
- Lavado
- Selección y clasificación
- Encerado

- Secado
- Empaquetado
- Almacenamiento y Refrigeración

El secado de la piña es una de las etapas más importantes del proceso de empaquetado, ya que permite controlar el porcentaje de humedad en el fruto antes de proceder al empaquetado y almacenamiento.

Es conocido que las empresas empacadoras de la localidad cuentan con sistemas de secado poco eficientes, en los que no se alcanza el porcentaje de humedad deseado fundamentalmente por exceso de agua en la corona de la piña, que atenta contra la conservación del empaque de cartón que las contiene. Por otra parte, se generan en algunos casos niveles de ruido excesivos en el sistema de secado, que supera los establecidos por las normativas ambientales vigentes.

Por lo anterior se define como *problema científico* de la presente investigación el siguiente:

¿Cómo incrementar la eficiencia del sistema de secado en las empacadoras de piña del Cantón Santo Domingo asegurando que el nivel de ruido generado se encuentre dentro de los valores establecidos por las normas ambientales vigentes?

La *necesidad* de la presente investigación está dada por la importancia que reporta para las empresas mejorar la eficiencia del secado de la fruta en la línea, lo que le infiere mayor protección al empaque ante el riesgo de deterioro por exceso de humedad, ya que es construido de cartón. Por otro lado, un sistema de secado eficiente permitirá reducir la longitud del área de secado en la línea de proceso, y distribuir esta reserva de espacio en otras áreas como la de paletizado con vista a los planes de crecimiento de producción futuro de las empresas.

El *objeto de investigación* es el proceso de secado de la piña en las empresas empacadoras del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas.

Campo de acción:

El perfeccionamiento del proceso de secado para minimizar la deposición de agua en la corona y reducir el nivel de ruido generado en el proceso.

El *objetivo general* de la presente investigación es:

Obtener una propuesta de sistema de secado de la piña que permita incrementar la eficiencia de este proceso en las empresas empacadoras y reducir el nivel de ruido generado.

Los *objetivos específicos* de la presente investigación son:

- Obtener los indicadores que caracterizan el secado de la piña y sus valores recomendados.
- Realizar un levantamiento de las características del sistema de secado actual en las principales empresas de la localidad con la finalidad de evaluar su desempeño a partir de dichos indicadores.
- Analizar las soluciones típicas del sistema de secado y las posibilidades de aplicación en las empresas de la localidad.
- Realizar una propuesta del sistema de secado que satisfaga los requerimientos establecidos para el proceso de secado de la piña en empresas empacadoras

Hipótesis:

Si se utiliza un sistema de secado eficiente en el proceso de secado de la piña en las plantas empacadoras de la localidad, se logrará reducir la presencia de humedad en la corona de la piña disminuyendo el riesgo de deterioro del empaque, así como, el nivel de ruido generado en el proceso conforme a los requerimientos de las normas ambientales vigentes.

Los métodos de investigación a utilizar en la presente investigación son, entre otros, los siguientes:

Métodos de investigación:

Histórico-lógico: Este se aplica para establecer el estado de desarrollo del tema de investigación como marco teórico referencial tanto en los sistemas de ventilación en procesos de secado industrial, como en el procesamiento y empaqueo de frutas y específicamente de la piña, lo que permitirá conocer los resultados alcanzados en la temática hasta el presente tanto nacional como internacionalmente.

Inducción-deducción: A partir del estudio de las soluciones típicas empleadas para los sistemas de secado industrial en plantas empacadoras de frutas se llegará a establecer los aspectos que tienen carácter general, sus fundamentos teóricos y leyes empíricas que constituyen puntos de partida para la concepción de un sistema de secado eficiente ajustado a las condiciones concretas de las industrias empacadoras de la localidad.

Análisis y síntesis: Se utiliza para analizar los factores principales y los requerimientos establecidos para el proceso de secado de la piña en plantas empacadoras y sobre la base de la síntesis, determinar la mejor variante posible para las condiciones dadas.

Consulta a expertos: En la recopilación de opiniones y sugerencias de expertos en el tema tratado, para la obtención de datos no visibles en el análisis del contenido.

El *alcance* de la investigación comprende el estudio de las soluciones típicas de sistemas de secado de frutas en general y de la piña en particular, la evaluación de variantes de diseño del sistema de secado desde el punto de vista técnico-económico con la finalidad de determinar el más adecuado para las condiciones del secado de la piña en las empresas empacadoras de la localidad. Se realizará la fundamentación de la solución seleccionada y se elaborarán los planos constructivos requeridos para su posible implementación en dichas empresas, de acuerdo a los recursos económicos disponibles.

II. MARCO REFERENCIAL

2.1 Etapas del proceso de empacado de la piña en empresas empacadoras

El proceso de empacado forma parte del tratamiento de post-cosecha de la piña y abarca un conjunto de etapas comprendidas desde la recepción del fruto en la planta, su limpieza y depuración, el procesamiento en línea, hasta el empacado, paletizado y almacenamiento para ser distribuidas hasta el destino final. El equipamiento instalado en la planta deberá asegurar el flujo continuo de frutas en la línea de producción y contribuir a alcanzar la mayor eficiencia general posible en el proceso.

Todas las etapas de la producción deben estar debidamente articuladas según un enfoque de sistema. Las salidas “output” de cada etapa previa constituyen entradas “input” de la etapa siguiente entonces, la velocidad a la que se desplazará el producto en línea responderá al tacto o compas de producción planificado al final de la línea (paletizado), el que estará marcado por la etapa del proceso de mayor duración y complejidad, que es precisamente en la que se cumplen las operaciones de calibración de la piña y el paletizado de cajas.

2.1.1 Descripción del contenido de las etapas del proceso de empacado de piña

A continuación, se explicará el contenido de las diferentes etapas del ciclo productivo en las empresas empacadoras con énfasis en aquellas que constituyen la parte esencial del proceso. En la figura 1 se muestra un esquema con las principales etapas constitutivas de dicho proceso.

Etapas del proceso de empacado de la piña: (Ver Figura 1)

1. Selección, limpieza y lavado
2. Encerado y fumigación
3. Secado de la piña
4. Calibración, llenado de cajas y paletizado

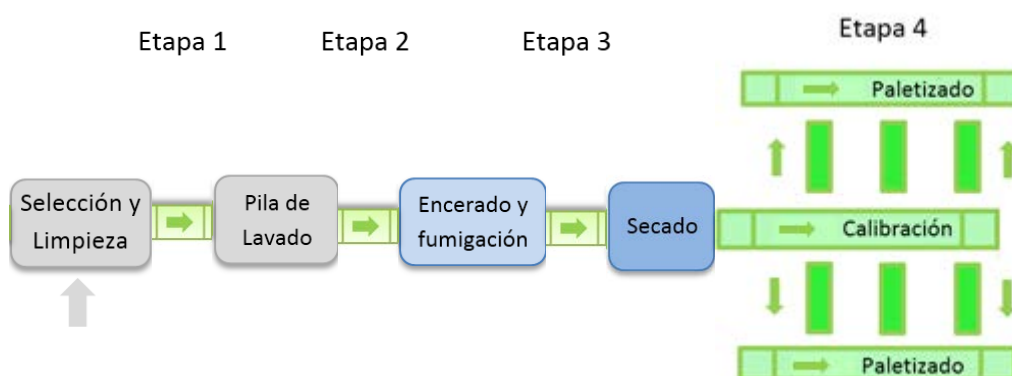


Figura 1: Diagrama del flujo productivo en empresas empacadoras de piña

Etapa 1: Selección, limpieza y lavado de la piña

La piña se transportada desde el campo hasta la planta empacadora en recipientes que reciben el nombre de “bins”, los que aseguran buenas condiciones de transportación sin apilamiento y la adecuada protección del fruto. Al llegar a la planta son sometidos a un proceso de selección por su aspecto general, discriminando las piñas que serán destinadas al mercado nacional de las que continuarán el proceso normal en la planta para su exportación, de acuerdo a su grado de madurez y la uniformidad del producto. A las frutas que continúan en el proceso se les recorta la base del pedúnculo y en algunos casos se le corta además la corona, en función de las especificaciones del cliente.

A continuación, las piñas son transportadas hacia la “Pila de lavado” la cual contiene una mezcla de agua y productos químicos. Regularmente se suministra cloro a una concentración de 35 ppm, o agua con hidróxido de Magnesio y de Calcio a una concentración de 75 ppm para mercados específicos.

La frecuencia del reciclado del agua del depósito depende del estado de limpieza con el que llega la piña a la planta y en ocasiones se requiere de más de un cambio diario, en el caso en que se esté empleando la mezcla de hidróxido de Magnesio y Calcio, los costos asociados a cada reciclaje pueden ascender a varios cientos de dólares en dependencia de la capacidad de la Pila de lavado.

El cambio de la mezcla en la Pila de lavado puede espaciarse considerablemente si se realiza una limpieza de primera depuración en una etapa previa al tratamiento con estos productos, la que puede combinarse con la descarga automática de los “bins” llenos de piña en un depósito con agua común mediante un sistema accionado por cilindros hidráulicos. En estos casos, además de contribuir a economizar el consumo de productos químicos en el proceso, la fruta es propulsada dentro del depósito mediante una turbulencia superficial de agua direccionada hacia la banda transportadora, en un proceso continuo sin la necesidad de intervención humana.

Cuando se realiza la descarga de las piñas contenidas en un “bin” de manera manual, se precisa de la participación de al menos 4 obreros durante un tiempo aproximado de 15 a 17 min, en adición a los tiempos de interrupciones por descanso físico de los operarios. Si la descarga se realiza de manera automática tal como se describió anteriormente, se logran tiempos de operación entre 4 y 6 minutos por cada “bin” lo que representa una reducción sensible de tiempo y de los gastos por mano de obra destinados a la operación de descarga de los “bins”.

Una vez ubicadas las piñas en la Pila de lavado, las que cumplan con el porcentaje de concentración de azúcares requerido suben a la superficie debido a su menor densidad, mientras que quedan sumergidas las que contienen un porcentaje de concentración de azúcares y cristales superior al estipulado por las normas de calidad del producto, las que son extraídas finalmente de la Pila de manera manual, para destinarlas también al mercado interno.

Etapa 2: Encerado y fumigación de la piña

El proceso de encerado forma parte importante de la preparación de la piña para la exportación, se realiza solamente a la fruta y no a la corona. La cera mejora la apariencia de la piña y a la vez contribuye a disminuir los problemas de oscurecimiento o deterioro interno de la piña conocido como (IB, por sus siglas en inglés de "intern browning"), relacionados con los daños por frío y de pérdida de humedad.

El encerado puede retardar el cambio de color externo de la fruta, pero no lo evita, de manera que se logra desarrollar el color amarillo en toda la fruta. La piña necesita

también la protección contra plagas mediante la aplicación de fungicidas en la etapa postcosecha, tratamiento que se hace de manera complementaria al efectuado durante la etapa de crecimiento y desarrollo del fruto. Una práctica común es la aplicación del fungicida con la cera, con la ventaja de que se logra una distribución uniforme sobre la cáscara de la fruta, a la vez que permite que el fungicida tenga un mayor efecto residual a través del tiempo. Sin embargo, algunas empacadoras prefieren aplicar ambos productos separadamente concentrando el fungicida en la corona y en la base del pedúnculo, y la cera en el cuerpo del fruto.

Etapa 3: Secado de la piña

Las piñas al salir de la Pila de lavado y del encerado posterior poseen gran humedad, la que deberá reducirse hasta no producir goteo. La humedad excesiva deteriora el envase de cartón que las contiene al ser empacadas, mientras que una insuficiente humedad conspira contra el tiempo de conservación del fruto hasta que es situado en el mercado. El objetivo del proceso de secado de la piña es el de asegurar entonces el porcentaje de humedad que permita satisfacer ambos requerimientos.

El sistema de secado en las empresas empacadoras combina el escurrimiento con la aspiración o la ventilación forzada, lo que presupone la extensión del recorrido de la piña encerada sobre el transportador para propiciar su escurrimiento y la recuperación correspondiente de la cera destilada mediante un colector ubicado debajo del transportador. En el sistema de ventilación normalmente se emplean ventiladores axiales o centrífugos con diferente desempeño en el proceso.

Según el estudio preliminar de las soluciones implementadas para el secado de la piña en las empresas empacadoras que son objeto de estudio en la presente investigación, se puede inferir que este proceso transcurre de manera improvisada sin que se haya realizado un estudio de las mejores prácticas de diseño utilizadas en las empresas del sector punteras a nivel internacional, lo que ha conducido a sistemas de secado poco eficientes y con excesivo nivel de ruido.

Un sistema de secado adecuado presupone las ventajas para la empresa siguientes:

- a. Reducción del tiempo dedicado al secado de la piña lo que representa la disminución de su recorrido en la línea de empaque

- b. Un mejor aprovechamiento del espacio disponible en la planta empacadora con la posibilidad de lograr un incremento de la productividad.

Etapa 4: Calibración, llenado de cajas y paletizado

Las piñas de la variedad MD-2 se clasifican por su peso en 6 calibres, los límites del intervalo de peso que abarca cada calibre se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Calibres de la piña según el peso

Tabla de peso por cajas		
Calibres	Máximo (Kg)	Mínimo (Kg)
5	2.73	2.79
6	2.18	1.88
7	1.87	1.58
8	1.57	1.43
9	1.42	1.26
10	1.25	1.07

La clasificación de la piña por calibres se puede realizar de manera manual o automatizada, esta última es la más atractiva debido a su mayor productividad, además de asegurar la mayor exactitud posible en la clasificación al eliminar la posibilidad de cometer errores humanos en la apreciación del peso de la piña.

El método manual exige de gran experticia de los operarios al tener que ubicar cada piña de la línea de producción dentro del calibre al que pertenece con la rapidez requerida para no crear *cuellos de botella* en la producción. Los operarios tienen a su disposición balanzas para comprobar el peso de las piñas que resulten dudosas.

La calibración automatizada se realiza mediante calibradores o “sizer”, con una alimentación por banda con hilera doble de cápsulas en la que se alojan individualmente las piñas. Estos pueden trabajar según un principio de funcionamiento mecánico basado en la clasificación por peso (Ver figura 2), el producto es liberado de la cápsula contenedora cuando su peso supera el ajustado mediante un contrapeso. (MAF, 2008)



Figura 2: Calibrador de piña por peso

Otra forma de clasificación de las piñas es por sus dimensiones, densidad y color, mediante celdas fotoeléctricas, telecámaras o por ondas sonoras, en estos casos el producto clasificado es separado de la línea mediante actuadores. (MAF, 2008)

Para elegir el sistema de calibrado a emplear en una determinada empresa hay que considerar, el tipo de especie con la que se trabaja, su forma y dimensiones, el destino de la producción (mercado fresco o industria), capacidad de línea requerida y espacio disponible. Dependiendo del sistema, el elemento básico del calibrado puede repetirse aumentando el rendimiento del sistema.

El calibrador tiene una salida de piñas específica para cada calibre mediante bandas transportadoras ubicadas transversalmente al transportador principal. Los operarios situados a ambos lados de la banda correspondiente al calibre llenarán las cajas que se suministran por vía aérea, las que son entregadas una vez completadas a la zona de paletizado.

La zona de paletizado está ubicada al final del proceso y consiste en transportadores que conducen las cajas clasificadas por calibres para su embalaje en “palet” y transportación a las cámaras climatizadas donde son conservadas hasta el momento de salida del producto de la planta. La configuración de esta área depende del volumen de producción de la planta y del espacio disponible.

2.2 El proceso de secado industrial de frutas. Soluciones típicas

Debido a la acumulación de agua o de cera en etapas iniciales del proceso es necesario someter a la materia prima a una etapa de escurrido y secado. En esta etapa la fruta debe secarse o disminuir el porcentaje de agua que adquirió previamente hasta los valores requeridos, con el fin de evitar el excedente de humedad tanto de la fruta como el del contenedor de la misma. Con este fin pueden emplearse diferentes soluciones tales como:

- Tamices vibratorios
- Sistemas de ventilación
- Rodillos de hule espuma

Tamices Vibratorios

Son equipos utilizados para escurrido y/o secado de frutas, con el movimiento de uno o dos moto-vibradores instalados de una forma suspendida, horizontalmente, todo depende del tipo de fruto y los requerimientos. (Bosquez Molina, 2012)

Las mallas de acero inoxidable (onduladas o mediante chapas perforadas) son parte fundamental de los tamices.

Sistemas de Ventilación

El sistema de ventilación es un método muy común para reducir calor, agua, polvos o gases que se encuentran en un ambiente o lugar específico. El sistema de ventilación es un método efectivo cuando existen modificaciones en otros procesos que no son efectivos.

Un adecuado sistema de ventilación antes del almacenamiento es indispensable para eliminar los residuos o excesos de agua que se encuentran en la fruta la cual previamente debió ser sometida a la etapa de lavado, de esta manera la fruta se mantiene en óptimas condiciones para su almacenamiento y distribución. (Goberna, 1992)

Los sistemas de ventilación sirven para distribuir o extraer aire, calor agua, olores, etc. de un área en particular, están compuestos de: elemento rotativo, un soporte y el motor impulsor.

Rodillos de Hule espuma

El hule espuma es un material plástico, flexible y barato. Al ser muy versátil, se puede conseguir diferentes características, las cuales pueden variar dependiendo a las aplicaciones que se requiera. (Cedismafrut.com, 2017). Al hablar de la Industria frutihortícola, especialmente al realizar el secado de las frutas es inevitable en ciertas industrial la utilización de este material ya que es una solución muy económica.

El sistema de secado por hule espuma consta de rodillos de acero inoxidable envueltos en este material a lo largo de una fila, formando una banda transportadora, esta al estar en contacto con la fruta en humedad y la rotación de la misma, va a dar como resultado un rozamiento entre la fruta y el rodillo de hule espuma, el cual va a absorber la humedad que se encuentra en la superficie de la fruta.

Es importante recalcar que este sistema de secado para algunos casos específicos no resulta satisfactorio debido a los aspectos siguientes:

- No existe un contacto total entre las frutas y los rodillos.
- El cambio de rodillos de hule espuma varía en dependencia a la cantidad de humedad a la que este expuesto.
- El mantenimiento de los rodillos de hule espuma es constante.

2.3 Particularidades del proceso de secado de la piña

La formación acuosa a causa del proceso de lavado y del encerado de la piña debe ser minimizada con el proceso de secado hasta valores requeridos, con la finalidad de preservar la piña y no influir negativamente en el resto de etapas posteriores.

Una de los principales puntos a considerar en este proceso es la humedad de la piña, ya que una acumulación de humedad excesiva tiene un efecto negativo en la piña al provocar su deterioro prematuro antes de llegar al mercado, a la vez de incidir en la durabilidad de su caja contenedora. (Bosquez Molina, 2012)

El contenedor de la piña debe ser lo suficientemente robusto para resistir posibles daños por deficiente manipulación y transportación, incluso debe soportar el ser expuesto a un ambiente con porcentaje de humedad alto o bajo, los cuales puede alterar sus propiedades, ya que el contenedor de la piña está elaborado completamente de cartón.

2.3.1 Influencia de la humedad en la calidad de la piña para exportación

La mayoría de las frutas se maduran rápidamente, las frutas blandas de cualquier clase y las hortalizas de hojas con una gran superficie poseen elevados ritmos de transpiración y se caracterizan, por su corta vida de almacenamiento. Por otro lado, la mayoría de las frutas de climas templados tales como: las papas, cebollas curadas y las hortalizas de raíces, a menudo tienen ritmos bajos de transpiración y en consecuencia sus vidas de almacenamiento son más largas.

La transpiración de todos los productos vegetales aumenta con la temperatura, razón por la cual, las técnicas de almacenamiento buscan reducir la temperatura del producto. Las bajas temperaturas del almacenamiento además tienen la ventaja que reducen la pérdida de agua del producto y la transpiración. La humedad relativa alta retarda la pérdida de humedad y mejora la vida de almacenamiento del producto. (Agricultura, 2106) Las bodegas deberían mantenerse idealmente a la mayor humedad relativa (H.R.) que el producto pueda tolerar, para ello existen humidificadores de varios tipos y aunque el 100% de H.R. impediría totalmente la pérdida de agua, rara vez puede ser mantenida por las razones siguientes:

- La destilación, que da origen al deterioro de la fruta y contenedor de la misma, puede ser causado fácilmente por ligeras oscilaciones de la temperatura a una humedad relativa cercana al 100%.
- Es necesario la ventilación con aire no saturado para eliminar el calor y los gases volátiles como el etileno.

2.3.2 Métodos de medición de la humedad en frutos

Método de la Mancha

Se utilizan a nivel industrial diversos métodos para la regulación del porcentaje de humedad presente en los frutos. Sin embargo, según se ha podido constatar la mayor parte de ellos se aplican en procesos donde el interés es el de eliminar gran porcentaje de la humedad interna para procesos industriales en conservas, en estudios de suelos entre otros. En la presente investigación el interés es el de eliminar solamente la humedad excesiva en el fruto partiendo del hecho de que para su conservación se precisa mantener cierta humedad la que garantiza su durabilidad durante el proceso de almacenamiento y transporte desde la planta empacadora hasta las áreas comerciales a las que estén destinadas.

Con este fin se aplicará el conocido método de la mancha, en su esencia el método consiste en determinar la magnitud e intensidad de la huella dejada por la sustancia o producto cuya presencia de humedad desea ser determinada.

El método de la mancha es una técnica analítica la cual permite:

- Identificar excesos de humedad
- Detectar dónde concentra la mayor humedad en el contenedor

Este método consta de la observación y análisis de la formación de manchas (humedad de la piña) sobre papel de filtro. Una vez que se realiza las pruebas se procede a analizar los resultados y determinar soluciones sobre lo observado. (Gafanhao, 2007)

2.4 Métodos de secado de la piña en empresas empacadoras

Los métodos de secado de la piña más frecuentemente utilizados a nivel industrial son los basados en sistemas de ventilación, y suelen ser de dos tipos:

- a. Secado de la piña por aspiración de aire
- b. Secado de la piña por impulsión de aire

Ambos métodos se diferencian básicamente en la dirección en la que circula el flujo de aire y exigen de distintas prestaciones del equipo de ventilación, lo que hace que se utilicen atendiendo a las particularidades y los requerimientos de los procesos industriales involucrados. A continuación, se pasa a describir cada uno de estos dos métodos.

2.4.1 Secado de la piña por aspiración de aire

El sistema de secado por aspiración permite la extracción de agua que se encuentre en el cuerpo de la piña, para su secado, (Ver Figura 3).

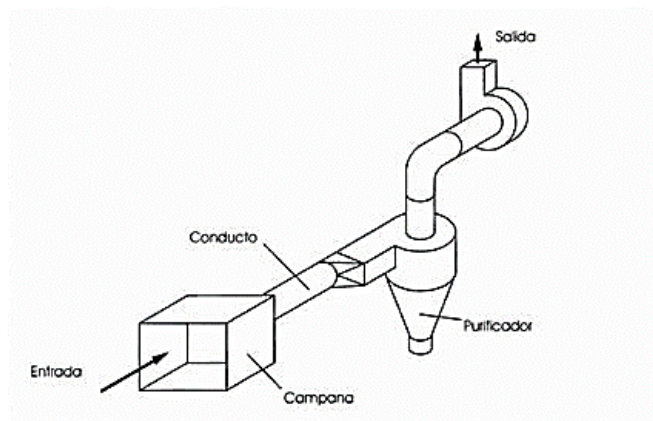


Figura 3: Componentes del sistema de aspiración de aire

Fuente: Anon, (2017). [online] Available at: [http://file:///D:/USUARIO/Downloads/Ventiladores%20\(2\).pdf](http://file:///D:/USUARIO/Downloads/Ventiladores%20(2).pdf) [Accessed 25 Jan. 2017].

Este sistema consta básicamente de los componentes siguientes:

- Campana
- Conductos de circulación
- Purificador de aire
- Motor de aire (ventilador-soplador)

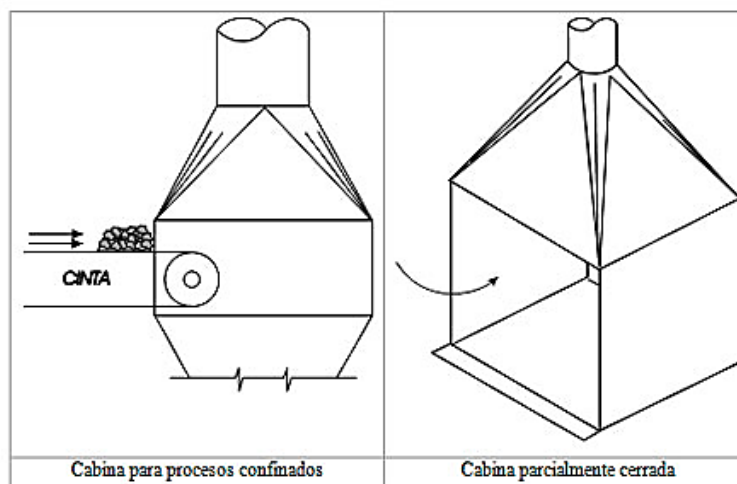


Figura 4: Cabinas de aspiración de aire húmedo

Fuente: Anon, (2017). [online] Available at: [http://file:///D:/USUARIO/Downloads/Ventiladores%20\(2\).pdf](http://file:///D:/USUARIO/Downloads/Ventiladores%20(2).pdf) [Accessed 25 Jan. 2017].

La captación del agua se realiza esencialmente por medio de la campana que tiene la particularidad de lograr un flujo de aire hacia ella (Ver figura 4).

La velocidad del aire que ingresa a la campana debe ser tal que venza las fuerzas que se oponen al movimiento del aire con agua proveniente del proceso, incluyendo la fuerza de gravedad. Generalmente se aplican de manera localizada directamente sobre la piña para obtener los mejores resultados (Higiene Laboral- Ventilación Industrial, 2015) (López Sandoval, 2013)

2.4.2 Secado de la piña por impulsión de aire

El sistema de secado por impulsión, debe garantizar la ventilación efectiva en toda el área de secado. Su uso en el proceso de secado, garantiza que no se acumule agua en el cuerpo y corona de la piña evitando afectos negativos a futuro. (López Sandoval, 2013)

Particularidades del uso de ventiladores centrífugos para el secado de las frutas

Los ventiladores centrífugos son aquellos en los que el aire ingresa de forma paralela al eje del rotor y sale expulsado de manera perpendicular, este tipo de ventiladores son muy ocupados en el secado de granos y de la fruta especialmente de la piña. (Jhony Mauricio Gutierrez Florez, 2012) (Ver Figura 5)

El principio de funcionamiento de los ventiladores centrífugos es el mismo de las bombas centrífugas, es decir consiste esencialmente en una rueda provisto de una serie de álabes o paletas radiales mejor conocida como turbina, que gira dentro del interior de una figura evolvente y ésta tiene dos bocas, una de aspiración situada en el eje de la turbina y otra de impulsión abierta tangencialmente con relación a la rueda, siendo recomendados para mover caudales pequeños, pero a elevadas presiones. Por la fuerza centrífuga causada por la rotación de la turbina, el fluido acarreado por los álabes es despedido hacia la periferia, donde lo recoge la voluta, de sección creciente en forma gradual, y lo conduce al orificio de salida transformando parcialmente la energía cinética en energía estática o de presión.

El lanzamiento de fluido hacia la periferia crea en la boca de aspiración una depresión que facilita la entrada de fluido en cantidad igual a la desalojada, estableciéndose de esta manera un caudal continuo. (UNET, 2015)



Figura 5: Ventilador centrífugo

Fuente: Anon, (2017). [online] Available at: <https://www.logismarket.com.mx/esta-mexico/ventiladores-centrifugos-de-aspiracion/1316317723-1179566754-p.html> [Accessed 10 Jan. 2017]

Los ventiladores centrífugos se clasifican según la forma de los álabes del rotor: (Ver Figura 6)

Álabes inclinados hacia adelante

Este tipo de ventiladores centrífugos necesitan poco espacio, se utilizan cuando la presión estática es baja, tal como se aprecia en instalaciones de calefacción, aire

acondicionado e instalaciones de ventilación. Este sistema de ventilación no es recomendable para espacios con aire polvoriento, ya que las partículas se pueden adherir a los álabes y provocar un desequilibrio en el rodete. Estos ventiladores al trabajar a presiones altas emiten ruido muy molesto. (Ver Figura 6 a).

Álabes radiales

Los centrífugos de álabes radiales tienen un rodete con álabes en forma radial, este tipo de diseño es sencillo y de menor rendimiento. El diseño de este tipo de ventiladores lo convierte en autolimpiante y la potencia del ventilador es proporcional al caudal. Se lo utiliza especialmente en instalaciones de extracción localizada (Ver Figura 6 b).

Álabes inclinados hacia atrás

Los ventiladores con álabes inclinados hacia atrás tienen un rodete con álabes inclinados en sentido contrario de rotación. En comparación con los mencionados anteriormente este ventilador posee mayor velocidad y mayor rendimiento. Este tipo de ventiladores emiten un nivel sonoro relativamente bajo, pero cumpliendo ciertas indicaciones.

- El ambiente al que va a estar expuesto debe poseer un aire limpio o ligeramente sucio. No debe emplearse con aire conteniendo materiales sólidos.
- No deben ser expuestos a un ambiente con humedad, ya que el mismo puede causar daños a los álabes.

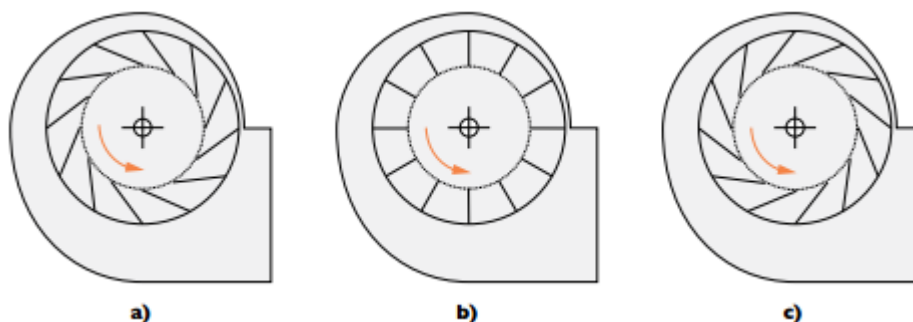


Figura 6: Tipos de ventiladores centrífugos a) álabes hacia adelante; b) álabes radiales; c) álabes inclinados hacia atrás

Fuente: Anon, (2017). [online] Available at:

<http://www.cenicafe.org/es/publications/lib37751.pdf> [Accessed 10 Jan. 2017]

Particularidades del uso de ventiladores axiales para el secado de frutas

Los ventiladores axiales (Ver Figura 7) están compuestos básicamente de un rotor de 2 a 13 paletas. En los ventiladores axiales, el movimiento del flujo a través del rotor, con álabes de distintas formas, se realiza conservando la misma dirección del eje del rotor.

Se usan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos; como la resistencia al flujo es muy baja, se requiere generar una presión estática pequeña, del orden de los 5 a 25 milímetros de columna de agua (mmcda). Debido a esto, la principal aplicación de los ventiladores axiales se encuentra en el campo de la ventilación general y se les conoce con el nombre de extractores o inyector de aire. Sin embargo, este tipo de ventiladores, cuando se los construye con álabes en forma de perfil de ala y de paso variable, llegan a generar alturas de presión estáticas del orden de los 300 milímetros de columna de agua (mmcda) y se los usa en aplicaciones diversas (Manual Práctico de Ventilación) . Atendiendo a su geometría pueden ser:

- Helicoidales
- Tubulares
- Tubulares con directrices



Figura 7: Ventilador axial

Fuente: industria, E., industrial, E., condicionado, A., axiales, V., bodegas, E., Ventilador Axial Tubular Enviro Care, A., tubular, V., Axiales, V. and JetStream, V. (2017). Ventiladores axiales

Este tipo de ventiladores son usados en la creación de ambientes industriales favorables, eliminación de polvos en el proceso de secado de frutas, ya que son excelentes en la aireación y/o distribución de la temperatura y la humedad.

Particularidades del uso de ventiladores regenerativos para el secado de frutas

Son máquinas utilizadas para mover aire o agua mediante un método de desplazamiento utilizando aire a una presión elevada.

Los ventiladores regenerativos son ideales para la aireación de tratamiento de aguas residuales, la eliminación del polvo, o aireación de estanques.

Para hacer funcionar este tipo de ventiladores de debe accionar el impulso de tal manera que las aspas giren dentro de él, el ventilador aspira aire a través de una entrada, el cual entrará en contacto con una hoja impulsora, el contacto con las hojas acelera el movimiento de aire. El aire a presión se descarga a través de la salida del ventilador. (Mecánica Industrial, 2016)

2.5 Determinación del nivel de ruido en ventiladores Industriales

Actualmente, el ruido es un factor físico trascendental en la sociedad que afecta de manera particular el ambiente industrial. En este último, generalmente interactúan múltiples fuentes de ruido de variadas características, que degradan la calidad del ambiente y ocasionan diferentes tipos de molestias en los trabajadores. Los ventiladores industriales son una de las principales fuentes de ruido, utilizándose de diferentes tipos, dimensiones y potencias.

2.5.1 Ruido en ventiladores

El ruido en ventiladores puede manifestarse en diversas partes de su estructura, en la boca de entrada y salida, en el cuerpo y en el soporte o base del ventilador, generándose vibraciones mecánicas que pueden originar la presencia de ruido. (Sosa, 2012)

Estas secciones generadoras de ruido se ilustran en la Figura 8 para el caso de un ventilador centrífugo.

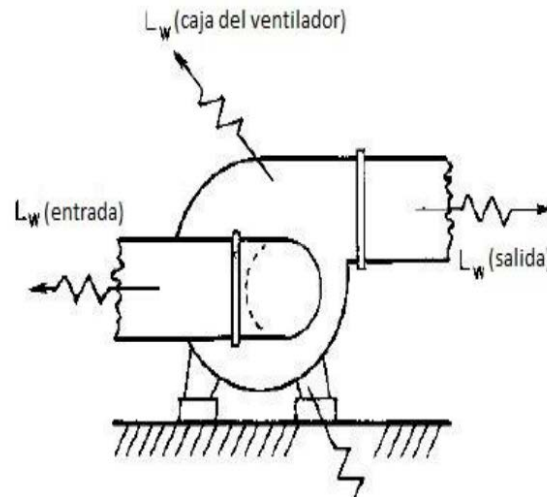


Figura 8: Sectores de ruido del ventilador centrífugo

Fuente: Sosa, G. C. (2012). Aspectos Básicos sobre Control de Ruido Aplicado a Ventiladores Industriales. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.

La vibración producida por la base puede atenuarse de manera significativa al utilizar elementos antivibratorios. Es posiblemente la parte generadora de ruido más fácil de atenuar de las descritas anteriormente, ya que las restantes están asociadas al tipo de ventilador y a las características de su diseño. El ruido se clasifica de acuerdo a los tipos siguiente: (Sosa, 2012)

- Ruido de banda ancha
- Ruido de frecuencia discreta
- Ruido rotacional
- Ruido de resonancia

El ruido de banda ancha es generado por la formación de remolinos en las aspas del ventilador (flujo turbulento) y el ruido de la frecuencia discreta (tono de cuchilla) es producido por la cuchilla que pasa por la abertura de entrada o salida del ventilador.

El nivel de potencia sonora interna para el ventilador es L_w , entonces el nivel de potencia sonora radiada de la entrada y/o aberturas de salida o radiada por la red de conductos, puede estimarse a partir de las expresiones siguientes:

$$L_w (\text{entrada}) = L_w - 3 \text{ dB} \quad (1)$$

$$L_w (\text{salida}) = L_w - 3 \text{ dB} \quad (2)$$

El nivel de potencia sonora para el sonido transmitido a través de la caja del ventilador está relacionado con la pérdida de transmisión (TL) de la caja del ventilador:

$$L_w \text{ (caja del ventilador)} = L_w - TL \quad (3)$$

$$TL = 10 \log(1/\tau) \quad ; \quad \tau = \frac{W_T}{W_i} \quad (4)$$

Donde:

W_T : (Energía sonora transmitida)

W_i : (Energía sonora incidente)

El nivel de potencia sonora del ruido generado por el ventilador para cualquier banda de octava puede ser estimada a partir de la siguiente Ecuación 5:

$$L_w = L_w(B) + \log_{10}(Q/Q_0) + 20 \log_{10}(P/P_0) + BT \quad (5)$$

Donde:

$L_w(B)$: Nivel de potencia sonora básica, especificada en la Tabla 2 para cada tipo de ventilador según la frecuencia central de bandas de octava;

Q : Caudal volumétrico a través del ventilador (l/s),

Q_0 : Referencia de caudal volumétrico. 0,472 l/s, $P_0 = 29$ Pa. (Valores del punto de funcionamiento utilizados como referencia).

P : Aumento de la presión a través del ventilador,

P_0 : Presión de referencia.

BT : Componente de tono de aspas o cuchillas, que es cero excepto en la banda de octava en la que se encuentra la frecuencia de paso de la cuchilla y su valor se halla en la Tabla 2.

Tabla 2. Espectro de nivel de potencia sonora LW (B) para ventiladores

Tipo de Ventilador	Tono de Hélice B _T , Db	Frecuencia central de banda de octava, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		Ventilador Centrífugo:							
Hélice Aerodinámico	3	35	35	34	32	31	26	18	10
BCB	3	35	35	34	32	31	26	18	10
Hélice Radial	5-8	48	45	45	43	38	33	30	29
FCB	2	40	38	38	34	28	24	21	15
Tubular	4-6	46	43	43	38	37	32	28	25
Vane-axial	6-8	42	39	41	42	40	37	35	25
Tubo-axial	6-8	44	42	46	44	42	40	37	30
Propulsor	5-7	51	48	49	47	45	45	43	31

Fuente: Graham (1972). By permission of Sound and Vibration, Acoustical Publications, Inc.

Hay que significar que la necesidad de establecer el control de ruidos es la de obtener un nivel sonoro apropiado para la actividad que se realiza en el local que se acondiciona y para las personas que disfrutan del mismo. Es muy importante entender que se busca el nivel de ruido apropiado y no el más bajo posible, por la incidencia que en el orden económico tiene lograr niveles excesivamente bajos de ruido.

Actualmente los fabricantes de ventiladores prestan especial atención al nivel de ruido que generan estos equipos en los talleres y fábricas. Las normas medioambientales y de seguridad laboral son muy exigentes en cuanto al nivel de ruido admisible en las instalaciones Industriales. En Ecuador la norma que regula el nivel sonoro es: (ISO 4871: 1996, IDT, 1996). Como puede observarse en la Tabla 3 se encuentran los niveles sonoros y el tiempo a la que una persona puede estar expuesto.

Tabla 3. Niveles sonoros permitidos según las Normas de Higiene Industrial y Ambiente (NTE INEN-ISO 4871)

<i>Nivel sonoro /dB (A-lento)</i>	<i>Tiempo de exposición por jornada/hora</i>
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0,25
115	0,125

Fuente: Normativa Higiene Industrial y Ambiente, Ruido Laboral y Ocupacional

2.6 Uso de herramientas CAD en el diseño mecánico

El acrónimo CAD proviene de las palabras inglesas “Computer Aided Design” cuyo significado en español es Diseño Asistido por Computadoras. En la actualidad estas herramientas se han hecho indispensables en el trabajo de ingeniería para la creación de modelos geométricos de los componentes e instalaciones mecánicas lo que posibilita obtener toda la documentación de diseño indispensable para su posterior fabricación.

Los usos de estas herramientas varían desde aplicaciones basadas en vectores y sistemas de dibujo en 2 dimensiones (2D) hasta el modelado en 3 dimensiones (3D) a través del uso de modeladores de sólidos y superficies paramétricas. Se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, splines, superficies y sólidos) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica para obtener diseños en dos o tres dimensiones.

La base de datos asociada a cada entidad comprende una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. Además, pueden asociarse a las entidades o conjuntos de estas, otro tipo de propiedades como el costo, material, etc., que permiten enlazar los sistemas CAD a los sistemas de gestión y producción. De los modelos pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica específica de cada proyecto. (Bouvy Q., 2015) (Seng Fat W. Weng I. H., 2012)

En el marco de estos sistemas se han desarrollado nuevos conceptos como: la Ingeniería Simultánea o Concurrente y el Diseño para la Fabricación (DFM), donde es considerado el diseño como la primera fase de la fabricación del artículo. (Troz, 1999) (Chann P., 2012) De esta forma se llega al diseño definitivo del producto luego del completamiento de varios ciclos con el tránsito sucesivo por las etapas de modelación, simulación, cálculos de diseño y análisis con la aplicación de los métodos de elementos finitos (FEM) y la confección de prototipos virtuales a partir de la aplicación de técnicas de realidad virtual, donde se logra la simulación del comportamiento real del artículo a través del uso de prototipos basados en computadoras. (Sánchez F. J., 2011) Todo este trabajo se cumple con el incremento de la exactitud y calidad del diseño y una drástica reducción del tiempo de proceso respecto a los sistemas de diseño y fabricación tradicionales. (Croccolo D., 2011) (Campos Vázquez A., 2013)

En el mercado existe una gran variedad de sistemas CAD, algunos de carácter general, otros más específicos enmarcados dentro de determinadas especialidades de la ingeniería. Entre los sistemas de bajo costo que abarcan una gama amplia de especialidades se destaca AutoCAD, desarrollado por Autodesk quien ha lanzado al mercado más de 60 aplicaciones dentro del campo de la arquitectura, la ingeniería civil, eléctrica y mecánica. En la ingeniería mecánica, tienen una gran aplicación el propio AutoCAD, AutoCAD Mechanical, Inventor Professional y el Inventor LT. (Autodesk.es, 2017)

SolidWorks es una potente herramienta, también de bajo costo, desarrollada por Dassault Systemes que tiene igualmente gran aplicación en la ingeniería mecánica. Las soluciones de SolidWorks cubren todos los aspectos del proceso de desarrollo de productos con un flujo de trabajo integrado que incluye las etapas de diseño, validación, diseño sostenible, comunicación y gestión de datos. Así los diseñadores e ingenieros pueden abarcar fácilmente varias disciplinas, lo que acorta el ciclo de diseño, aumenta la productividad y agiliza la introducción de los productos en el mercado. Dentro de estos productos se destacan como software CAD 3D: *SolidWorks Premium*, *SolidWorks Professional*, *SolidWorks Standard* (Solidworks.es, 2017).

SolidWorks Simulation se incluye en el paquete de diseño de CAD en 3D de *SolidWorks Premium* y proporciona herramientas básicas de simulación para probar los diseños y ayudar a la toma de decisiones que mejoren la calidad del producto, así como, una importante ayuda en el análisis y de simulación de la dinámica de fluidos (CFD, *Computational Fluid Dynamics*), de transferencia de calor, entre otros (Solidworks.es, 2017).

Dassault Systemes es desarrollador también de Catia, un potente software CAD/CAM, el que, junto a Ideas, se han convertido en los sistemas CAD/CAM de mayor difusión a nivel de la industria automovilística y aeroespacial.

III. METODOLOGÍA

3.1 Indicadores que caracterizan el secado de la piña y sus valores recomendados

Luego de una búsqueda intensa en la bibliografía relacionada con el tema, se pudo encontrar indicadores de humedad referidos específicamente a procesos industriales destinados a la elaboración de conservas de diversos frutos, incluidos la piña en mermeladas, polvos para jugos y refrescos. Sin embargo, respecto a los indicadores para evaluar el porcentaje de humedad requerido para las piñas en su estado natural para el empaclado en contenedores destinados al comercio directo del fruto en el mercado nacional e internacional, se establecen indicadores cualitativos asociados a la experiencia de los productores según el rendimiento alcanzado en el proceso, la presencia o no de micro organismos y plagas, el índice de rechazos de exportaciones, lo cual condujo a que el estudio se centrara en la aplicación del método de la mancha para evaluar el desempeño de los sistemas de ventilación en el proceso de secado de la piña en plantas empacadoras.

Existen normas (NTE INEN 1 836:2009, 2009) que establecen ciertos estándares adicionales que deben cumplir las piñas que están destinadas al consumo extranjero y el consumo nacional relacionado con el índice de madurez. Uno de los principales aspectos a prestar atención durante todo el proceso es que la piña debe mantenerse fresca desde la salida de la empacadora hasta su comercialización o destino final en lo cual incide significativamente el grado de humedad del producto. En la Tabla 4 se indican los valores correspondientes a su estado de madurez, los que son ilustrados en la Figura 9.

Tabla 4. Estado de madurez de la piña

Estado de la piña	Colores del 0-6
Estado verde	Va del color 0 al color 1
Estado pintón	Va del color 2 al color 4
Estado maduro	Va del color 5 al color 6

Fuente: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia

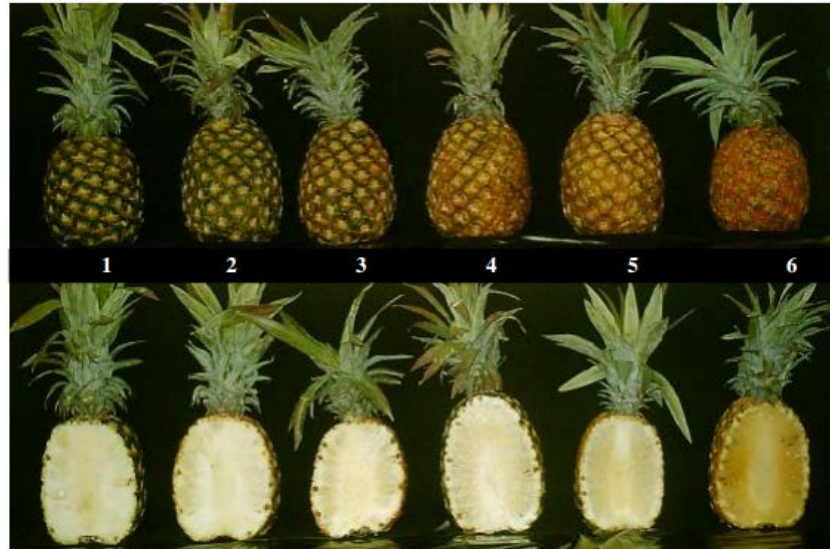


Figura 9: Estado de la piña

Fuente: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia

Al mencionar la etapa de secado de la piña hay ciertas condiciones o indicadores que deben ser cumplidos:

- Las piñas deben estar sanas (libres de insectos y/o enfermedades que pueden influir en la calidad final interna de la piña).
- Estar libres de una excesiva humedad externa (con ayuda de los ventiladores en la etapa de secado y etapas previas a ésta), especialmente en la corona de la piña y en la base, ya que son lugares que pueden almacenar agua y alterar su etapa de madurez o dañar el contenedor en el cual reposará.
- Presentar buen color y un aspecto totalmente fresco.
- Estar libres de cualquier material externo a la piña (tales como tierra, polvo o cuerpos extraños), los cuales afecten al contenedor o la piña misma.

3.2 Características del sistema de secado actual en las principales empresas de la localidad de Santo Domingo de los Colorados

3.2.1 Empresa empaadora de piña No.1

El proceso seguido en la Empresa No.1 tiene mucha interacción manual, debido a que a la piña se le realiza un chequeo manual para revisar que no haya sido sometida a golpes durante su transportación, y para cortar la base de la piña antes de ser ingresada al tanque de lavado (Ver Figura 10), en el cual se encuentra una solución a

base de sal que controla la presencia de micro y macro organismos como el caracol cuya presencia está prohibida para determinados mercados como el de Chile.



Figura 10: Lavado de la piña Empresa No.1

Seguido de esta etapa la piña es transportada por medio de una banda transportadora estilo malla, se usa este tipo de malla hasta acabar la etapa del encerado con la finalidad de ayudar a escurrir el agua y cera que se aplican posteriormente al lavado. Una persona al final de esta etapa alinea la piña en una hilera sobre la banda transportadora (Ver Figura 11).

En esta empresa se realiza un pre-secado (Ver Figura 11) en la base de la piña previamente al secado con ventiladores, éste proceso se cumple manualmente con dos finalidades:

- Ayudar a eliminar el exceso de agua en la base de la piña
- Y limpiar a profundidad para eliminar los sobrantes y/o insectos (arenilla)



Figura 11: Alineamiento y pre-secado de la piña

Al terminar esta operación de pre-secado la piña ingresa al secado general de la piña, éste es realizado por dos ventiladores axiales los cuales están colocados sobre la banda transportadora (Ver Figura 12), una persona en esta área es la encargada de revisar las piñas. Continuando con el proceso sigue el encerado y fumigación de la piña. Y antes del empaquetado hay un último secado, que al igual al anterior es realizado por dos ventiladores Axiales (Ver Figura 13).



Figura 12: Secado de la piña Empresa No.1



Figura 13: Ventiladores axiales Empresa No.1

Según consulta realizada a la dirección técnica de la empresa se obtuvo la información siguiente:

- Durante un período aproximadamente igual a 6 meses la empresa no efectuaba la primera etapa de secado, a causa de esto la humedad externa era mayor y se presentaron daños en contenedores.
- En los últimos meses se tuvo que efectuar el cambio de los ventiladores, la causa principal era el ruído que se emitía en el proceso el cual era molesto e insoportable por el personal de la planta interna.
- Los ventiladores actuales pese a que emiten un nivel de ruido que se encuentra dentro de los parámetros exigidos por las normas ambientales aún no satisfacen en su totalidad los requerimientos de secado.

3.2.2 Empresa empacadora de piña No.2

El proceso general de esta empresa es parecido al anterior iniciándose con la recolección de las piñas las que son arrojadas al tanque de lavado. Seguidamente se efectúa su alineación sobre la banda en este caso en dos hileras con las coronas enfrentadas (Ver Figura 14).



Figura 14: Piñas a dos hileras

Seguidamente se realiza la fumigación la cual se ejecuta manualmente sobre toda la piña, continuando con el encerado el cual se aplica únicamente al cuerpo. Se termina el proceso con el secado a cargo de tres ventiladores Axiales antes del empaquetado, (Ver Figura 15).



Figura 15: Secado de la piña Empresa No.2

Mediante la consulta realizada a la dirección técnica de la empresa se obtuvo la información siguiente:

- Antes de la alineación en dos hileras de las piñas, en el exterior del área de trabajo se usaban ventiladores para un secado previo, pero fueron retirados por el gran nivel de ruido que emitían.
- En la Figura 15 se aprecia una vista lateral de donde se encuentran los tres ventiladores, en el cual dos ventiladores se encuentran fuera de funcionamiento, hay uno solo en operación.
- El ruido causado por los ventiladores es elevado y resulta molesto su exposición a largo tiempo, esta es una de las razones por las que no todos los ventiladores se incorporan al proceso de secado.

3.2.3 Empresa empacadora de piña No.3

La empresa empacadora de piña No.3 es un productor de piña especialmente de Md-2, Golden Sweet. Posee un sistema de clasificación inicial para separar la piña que será comercializada nacionalmente de la que está destinada al mercado internacional. La piña atraviesa un sistema de lavado, secado, fumigación, encerado y empaquetado. Para finalmente reposar en cuartos fríos, los cuales mantendrán el estado de la piña hasta el mercado al cual está destinada.

Las piñas están ubicadas a dos hileras durante todo el proceso de la planta con la finalidad de secarla antes de proceder a empacarlas.

Al realizar la consulta a la dirección técnica de la empresa sobre la efectividad del sistema de secado empleado se pudo conocer lo siguiente:

- El sistema de secado (compuesto por tres ventiladores axiales) no resulta totalmente eficiente, se ha debido extender el recorrido de la piña en el transportador con la finalidad de aumentar la destilación del exceso de agua antes de la operación de secado, afectándose el espacio disponible para otras operaciones de la planta como la de paletizado.
- Se mantienen en funcionamiento dos de los tres ventiladores instalados y el nivel de ruido alcanzado se encuentra entre los límites establecidos por las normas ambientales vigentes.
- La dirección de la empresa está interesada en incrementar la eficiencia del secado en la planta lo que permitiría la redistribución del espacio de la planta para potenciar otras operaciones del proceso.

Del análisis realizado a las tres empresas que comprenden el estudio puede resumirse lo siguiente (Ver Tabla 5):

Tabla 5. Tabla de resultados de las Empresas analizadas

ID de la Empresa	Cantidad de operaciones de secado	Eficiencia alcanzada en el proceso de secado	Nivel de ruido generado (cualitativo)	Afectación a otros procesos
1	3	No satisface	Medio	Si
2	1	No satisface	Alto	Si
3	1	No satisface	medio	Si

Estos resultados confirman la necesidad de realizar una propuesta de perfeccionamiento del sistema de secado que satisfaga los requerimientos de humedad del producto en dichas empresas, niveles de ruido ubicados dentro de las normas ambientales vigentes y que permita el uso racional del espacio disponible en la planta con el mejoramiento de otras etapas del proceso y con ello, contribuir al incremento de la eficiencia general del proceso.

3.3 Determinación de la humedad presente en la piña

La piña es humedecida en dos momentos durante el proceso que se cumple en la línea empacadora. El primero, a la salida de la pila de lavado y el segundo, después de aplicada la película de cera al fruto. Teniendo en cuenta que una parte del líquido aportado, ya sea agua o cera, es destilado durante su tránsito por la línea, y que el objetivo no es el de eliminar completamente la humedad. El análisis se concentró en determinar:

- a. ¿Dónde hay mayor presencia de humedad en el fruto?
- b. ¿Cuál es la efectividad del sistema de secado actual?
- c. ¿En cuántas etapas y en qué momento del proceso es más factible realizar la intervención con la ventilación?

Con este fin se utilizaron tres cajas de un calibre intermedio (Calibre 7), a las que se les realizó es estudio comparativo del grado de humedad remanente en el fruto determinado por el método de la huella, según las condiciones siguientes:



Distribución de las piñas en las cajas:

(Calibre 7)

Caja 1:



Huella de humedad de los frutos que siguieron el proceso normal (lavado, encerado, secado). Las manchas gruesas que se aprecian corresponden a la zona donde se apoya el cuerpo de las piñas, las más pequeñas de color menos intenso, corresponden al goteo de la corona. (lavado: X, encerado: X, secado: X)

Caja 2:



Huella de humedad de los frutos que no pasaron por la pila de lavado, fueron encerados y secados. Las manchas gruesas corresponden a la zona de apoyo del cuerpo de las piñas, no hay goteo de la corona por estar completamente seca. (lavado: - , encerado: X, secado: X)

X, secado: X)

Caja 3:



Huella de humedad de los frutos que fueron lavados y encerados, pero no secados. En este caso las manchas gruesas son más intensas y hay presencia también de manchas de goteo de la corona. (lavado: X, encerado: X, secado: -)

Figura 16: Distribución de las piñas en la caja y representación de los diferentes tamaños de las huellas de humedad para tres casos de estudio.

El estudio comparativo de las imágenes de las tres cajas permitió arribar a las conclusiones siguientes:

1. En la caja 1, en la que se siguió el proceso normal de tratamiento de la piña en la línea, la mayor cantidad de manchas de humedad se ubican de manera dispersa en la zona de la corona, lo que evidencia la magnitud del goteo del agua contenida en la base y a lo largo de la corona al momento del empaque.
2. Se identifican en segundo lugar en la caja 1 las manchas que resultan del contacto del cuerpo de la piña en la caja, en este caso es producido por el efecto acumulado del agua y de la cera.
3. En la caja 2, la presencia de manchas solo en la zona de apoyo del cuerpo de la piña confirma la influencia del encerado en la humedad del cuerpo de la piña, y al comparar la superficie abarcadas por las manchas en las cajas 1 y 2 se ratifica la influencia del agua contenida en la corona en la humedad total de la piña.
4. Al comparar el resultado de las manchas producidas por las piñas de la caja 3, las que no se sometieron al proceso de secado, con las manchas producidas en la caja que, si fueron secadas, se observa un incremento sensible del tamaño de la mancha dejada por el cuerpo de la piña, lo que demuestra que el sistema de secado actual, con sus deficiencias, contribuye al secado del cuerpo, y en menor medida al de la corona.

A partir de estas observaciones se puede dar respuesta a las tres interrogantes iniciales:

- a. Al seguir el proceso de lavado-encerado-secado la mayor presencia de humedad está en la corona.
- b. El sistema de secado actual no satisface los requerimientos de secado de la corona, y satisface medianamente a los requerimientos del secado del cuerpo.
- c. La intervención con la ventilación es más factible realizarla según las etapas y momentos siguientes:
 - En una etapa: luego del encerado (secado de la corona y del cuerpo) o;
 - En dos etapas: una después del lavado (secado de la corona) y otra luego del encerado (secado del cuerpo).

3.4 Soluciones típicas del sistema de secado y las posibilidades de aplicación en las empresas de la localidad.

A nivel industrial se emplean tradicionalmente dos procesos clásicos para eliminar la humedad excesiva en los frutos a través de sistemas de ventilación: La aspiración de la mezcla de aire con el agua contenida en la superficie de los frutos, y la impulsión de aire para expulsar el agua sobrante de la superficie. A continuación, se detallan las pruebas de factibilidad de aplicación de estos métodos para el secado de la piña en las empresas empacadoras.

Luego de la consulta a diversos expertos en el proceso industrial de empaqueo de la piña en las empresas objeto de estudio. Se pudo determinar, que específicamente en el proceso de secado de la piña no se cuenta con normas ni procedimientos debidamente sustentados desde el punto de vista científico-técnico, la selección de los ventiladores se realiza por comparación de las soluciones adoptadas anteriormente según la experiencia de otras empresas empacadoras, lo que condujo a la necesidad de investigar los parámetros requeridos de flujo, velocidad del aire y presión para asegurar el porcentaje de humedad requerido del producto antes de ser empacado.

Para determinar el valor de estos parámetros se precisaba de al menos un ventilador con el que efectuar la investigación sin interrumpir o entorpecer el proceso de producción de las plantas. Con este fin se obtuvo en carácter de préstamo el ventilador que se muestra en la Figura 17, las pruebas fueron efectuadas en la empresa Soldadura Avaca (SOLVAC) ubicada en las afueras de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, km 8 1/2 vía Quinindé.



Figura 17: Ventilador centrífugo de 6 pulgadas habilitado para succión

Características del ventilador 1:

Denominación: Blower centrífugo de 6" con alas inclinadas hacia adelante

Motor: Incorporado

Potencia: 3 HP (2.25 kW)

Velocidad angular: 3250 rpm

Voltaje: 110 Volt

Fase: 1

Frecuencia: 50/60 Hz

Cantidad de hélices: 6

Manguera: diámetro 3" – Longitud 6 m

3.4.1 Estudio de la aplicación del método de secado de la piña por aspiración de aire.

Las hojas de la corona tienen una configuración semicircular en su base que favorece la retención del agua, el resto del agua contenida a lo largo de las hojas de la corona se mantiene en forma de gotas gruesas. Esta particularidad de la configuración de las hojas de la corona ha motivado el estudio de un sistema de succión que favorezca la extracción del agua de la corona.

Con la finalidad de facilitar la succión del agua de la corona y de contribuir a la libre expulsión de una parte de ella por gravedad pudiera modificarse el posicionamiento de la piña en la banda, de forma tal que se ubique con inclinación de la corona hacía abajo en un ángulo entre 45 y 60 grados respecto a la horizontal favoreciéndose así el escurrimiento del agua de la corona, pudiendo aumentar la efectividad de la absorción. El inconveniente de esta propuesta radica en los gastos económicos que acarrea la modificación en el diseño del transportador principal, lo cual contribuye al encarecimiento de su implementación.

Como el aire que se succiona viene mezclado con agua, se requerirá separar la humedad del aire en forma de gotas, para ello se utilizaría un sistema de succión cuyo esquema simplificado se mostró en la Figura 4.

Al usar este tipo de ventilador, la manguera de succión se conecta a la entrada de aire del ventilador (Ver Figura 17) el que conduce la mezcla de aire y agua extraída de la superficie de la piña hasta el colector o ciclón donde se separa el agua del aire succionado para continuar su camino hasta la entrada del ventilador y su expulsión por la salida del mismo. Se empleó una manguera de aspiración de diámetro 3", alcanzándose una razón de diámetro de entrada/salida en el ventilador de 0.5 dado que el diámetro de salida de aire del ventilador es de 6". La longitud de la manguera es de 6 m y responde a que la ubicación prevista para el ventilador es en la parte exterior de la planta, aislado en una cabina anti ruido, la distancia lineal desde el área de producción hasta el punto de ubicación del ventilador es de unos 5 m. El nivel de ruido generado por el funcionamiento del ventilador es de 110 dB, superior al admisible para instalaciones industriales, por esta razón no puede ser ubicado en el interior de la planta.

El valor del número de revoluciones que brinda el ventilador (3250 rpm) resultó insuficiente, lo que no permitió generar la presión negativa indispensable para lograr la aspiración y remoción del agua de la superficie de la piña.

Debido a que el motor utilizado estaba incorporado directamente al ventilador no se pudo variar la velocidad angular de las hélices del ventilador, al menos por medios mecánicos. Rápidamente se llegó a la conclusión de que las características del ventilador no eran propicias para un secado por aspiración, y se decidió realizar la prueba de secado por impulsión de aire.

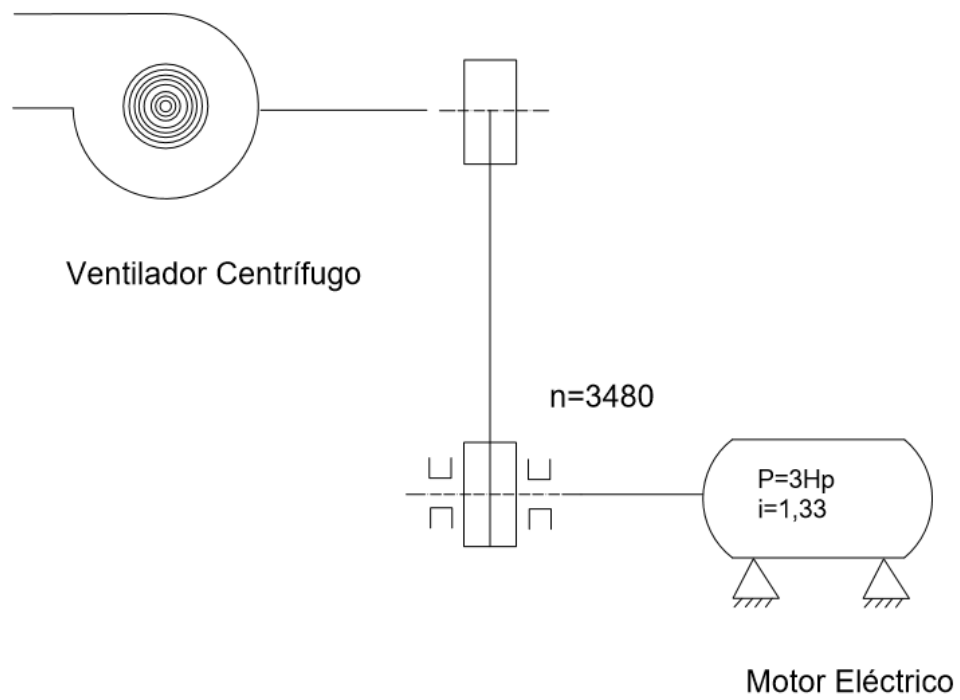
3.4.2 Estudio de la aplicación del método de secado de la piña por impulsión de aire.

Al usar el mismo ventilador, como máquina de impulsión, la manguera se conectó a la salida del ventilador conduciéndose así el aire para que incidiera directamente sobre la superficie de la piña. Se empleó la misma manguera de diámetro 3" con igual longitud de 6 m a partir del mismo criterio de ubicación del ventilador al exterior de la planta. En este caso, al igual que en el caso de la succión, los resultados no fueron satisfactorios, la magnitud del flujo y la velocidad que se logró a la salida del difusor era suficiente para expulsar el agua de la superficie de la piña, lo que condujo a desestimar el ventilador utilizado para los fines de la investigación.

Fue habilitado un segundo ventilador, el cual se muestra en la Figura 18 a), en la Figura 18 b) se representa el esquema cinemático desde el motor eléctrico al ventilador.



a)



b)

Figura 18: a) Ventilador centrífugo de 2 pulgadas habilitado para impulsión
b) Esquema cinemático del ventilador centrífugo de 2 pulgadas

Características del ventilador 2:

Denominación: Blower centrífugo de 1,65” (42 mm) con alas inclinadas hacia atrás

Motor: independiente

Potencia: 3 HP

Velocidad angular del motor: 3480 rpm

Voltaje: 110 Volt

Fase: 1

Frecuencia: 50/60 Hz

Cantidad de hélices: 22

Diámetro polea salida motor: 4”

Manguera: diámetro 2” – Longitud 2 m

Este ventilador al ser accionado con motor independiente, admite la variación de la relación de transmisión motor-ventilador mediante la modificación de los diámetros de las poleas del motor y del ventilador respectivamente. En la Tabla 6 se recogen los resultados obtenidos al variar la relación de transmisión durante la emisión directa y con manguera de 2.8 m de longitud.

Tabla 6. Condiciones y resultados de las pruebas de impulsión con ventilador de salida de 1.65" (42 mm), con emisión directa y con manguera de 2.8 m de longitud

Prueba de Impulsión	
Ventilador (BLOWER) 1.65" 22 álabes inclinados hacia atrás Motor independiente: 3 HP Veloc. Motor: 3480 rpm Amperaje: 4,5 Amp Sin manguera a la salida del ventilador Polea Motor: 2" Polea Ventilador: 3" Relación de Transmisión: 0.66 Velc. Ventilador: 2296.8 rpm Nivel de Ruido: 55 dB Eficiencia: Baja	Ventilador (BLOWER) 1.65" 22 álabes inclinados hacia atrás Motor independiente: 3 HP Veloc. Motor: 3480 rpm Amperaje: 6.4 Amp Con manguera flexible Diámetro: 2" Longitud: 2.8 m Polea Motor: 4" Polea Ventilador: 3" Relación de Transmisión: 1.33 Velc. Ventilador: 4628.4 rpm Nivel de Ruido: 55 dB Eficiencia: Baja, grandes pérdidas de presión

Análisis de resultados:

1. Como se observa en la primera columna de la Tabla 6, con una relación de transmisión de 0.66 se obtuvo poco flujo directamente a la salida del ventilador sin el empleo de manguera (eficiencia baja), y un bajo nivel de ruido 55 dB.
2. Al incrementar la Relación de transmisión a 1.33 (segunda columna Tabla 6), con una polea a la salida del motor eléctrico de 4" se obtiene buen flujo en la salida del ventilador directamente, pero insuficiente con grandes pérdidas de presión al utilizar la manguera de 2" en una longitud de 2.8 m. El nivel de ruido alcanzado fue de 55 dB.

En la Tabla 7 se recogen los resultados obtenidos al variar la relación de transmisión durante la emisión directa y con manguera de 1.8 m de longitud.

Tabla 7. Condiciones y resultados de las pruebas de impulsión con ventilador de salida 1.65” y manguera de longitud 1.8 m

Prueba de Impulsión	
Ventilador (BLOWER) 2"	Ventilador (BLOWER) 2"
Motor independiente: 3 HP-2.25 kW	Motor independiente: 3 HP (2.25 kW)
RPM Motor: 3480	RPM Motor: 3480
Amperaje: 6.4	Amperaje: 32
Manguera flexible	Manguera flexible
Diámetro : 2"	Diámetro : 2"
Longitud : 1.8 m	Longitud : 1.8 m
Polea Motor: 4"	Polea Motor: 6"
Polea Ventilador: 3"	Polea Ventilador: 3"
Relación de Transmisión: 1.33	Relación de Transmisión: 2
RPM Ventilador: 4628.4	RPM Ventilador: 6960
Nivel de Ruido: 55 dB	Nivel de Ruido: 63 dB
Eficiencia: Media	Eficiencia: Media-Alta

Análisis de resultados:

1. Al reducir la longitud de la manguera de 2.8 a 1.8 m se observa un incremento del flujo en la salida, lo que demuestra la magnitud de las pérdidas de presión que tienen lugar con el ventilador utilizado y la manguera de 2”. (Ver columna 2 de la Tabla 7).
2. Se produjo un incremento del nivel de ruido a 63 dB. Este es un valor permitido por las normas medioambientales para este tipo de industria.
3. Con la polea de 6” en el motor se produjo un consumo excesivo de corriente 32 Amp. El motor está diseñado para un consumo máximo de 30 Amp.
4. Luego de 5 min de funcionamiento del motor a 6960 rpm se inició un ruido continuo que indica fallo por rodamiento a ese valor de velocidad angular del ventilador.

5. La magnitud y velocidad del fluido alcanzadas a 6960 rpm con manguera de 2" de diámetro y longitud de 1.8 m satisface los requerimientos para el secado de la piña.

Pese a gestiones realizadas en empresas y centros comerciales de instrumental de la localidad, en Quito y Guayaquil, no fue posible contar con instrumentación para medir la magnitud del flujo (flujómetro) o la velocidad a la salida del ventilador (anemómetro, con capacidad de medir velocidades superiores a 30 m/s). Con la intención de determinar estos parámetros se construyó un tubo de Pitot cuya descripción se realiza en el epígrafe siguiente.

- **Determinación del valor de la velocidad y la magnitud del flujo de aire que se requieren para el secado de la piña.**

En la Figura 19 se muestra un tubo de Pitot utilizado para establecer la velocidad del flujo a través de la medición de la presión total en una tubería, también denominada presión de estancamiento (suma de la presión estática y la presión dinámica). El cilindro de mayor diámetro constituye la tubería por donde circula el fluido cuya magnitud y velocidad deberá ser medida, el vector velocidad indica la dirección y sentido que sigue del fluido. El tubo acodado insertado dentro de la tubería contiene en su interior un líquido, generalmente agua. Uno de sus extremos de este tubo es ubicado directamente en la zona central de la corriente de flujo dentro de la tubería para evitar la influencia de las pérdidas que tienen lugar en las capas adyacentes a la pared interna de la tubería. Al otro extremo del tubo le son practicados orificios al final de la conducción, donde se mide la presión estática (p_s) que existe en la tubería.

Cuando el ventilador está apagado, por la ley de vasos comunicantes, se iguala el nivel de la columna del líquido dentro del tubo. Al ponerse en funcionamiento el ventilador, el aire impulsado dentro de la tubería penetra en el extremo del tubo ubicado dentro de él y empuja la columna de líquido (debido a la presión dinámica (p_d) que depende de la velocidad del fluido y su densidad) lo que eleva la presión total (p_t) dentro del tubo, hasta que la velocidad en el punto de embocadura del tubo se hace nula no produciéndose más entrada de fluido procedente de la tubería. En

este instante, se ha alcanzado un diferencial de altura de la columna “ h ” máximo entre los extremos de la columna de líquido.

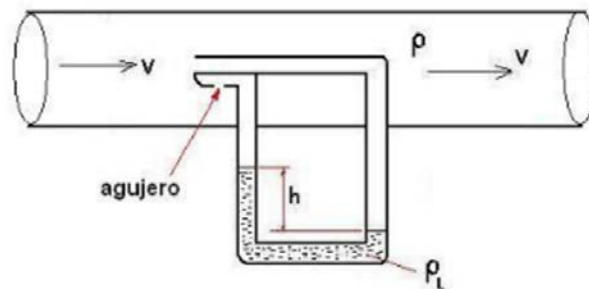


Figura 19: Tubo de Pitot utilizado para medir la velocidad de un gas

Entonces, un tubo de pitot permite medir dos presiones simultáneamente, la presión de total (p_t) y la presión estática (p_s). La ecuación de Bernoulli nos muestra que:

$$p_t = p_s + \left(\frac{\rho v^2}{2}\right) \quad (3.1)$$

Donde:

p_t : Presión total o de estancamiento (Pa)

p_s : Presión estática (Pa)

ρ : densidad del aire (kg/m^3)

v : Velocidad del fluido (m/s)

La presión diferencial medida a través del tubo de Pitot puede calcularse utilizando la ecuación de Bernoulli, y resulta ser proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido. Resolviendo la ecuación de Bernoulli obtenemos la velocidad del flujo.

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}} \quad (3.2)$$

La presión dinámica se determina como:

$$p_d = p_t - p_s = \frac{1}{2}\rho v^2 = \rho_L \cdot g \cdot h \quad (3.3)$$

Donde:

p_d : Presión dinámica (Pa)

ρ_L : Densidad del líquido (kg/m^3)

g : Gravedad (9.8 m/s^2)

h : Diferencial de altura de la columna líquida (m)

Sustituyendo la ecuación (3.3) en la ecuación (3.2) se tiene:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_L \cdot g \cdot h}{\rho}} \quad (3.4)$$

- **Determinación del valor de la altura “h” de la columna de agua en un tubo de Pitot.**

En la Figura 20 a) y b) se muestra la instalación y el tubo de Pitot respectivamente contruidos para determinar la magnitud de la velocidad y el valor del flujo alcanzado en el Ventilador 2 para las condiciones descritas en la segunda columna de la Tabla 7, en la que se indica un valor de la velocidad angular del rotor del ventilador de 6990 rpm.

En la Figura 20 a) se observa que el tubo de Pitot fue ubicando directamente a la salida del ventilador en el interior de un tubo de PVC de 2” de 100 mm de longitud. En la Figura 20 b) se observa el interior del dispositivo, el número 1 indica el extremo abierto del tubo de Pitot por donde entra el flujo de aire y el número 3 indica el otro extremo que se une a una sección de tubo metálico 2 con orificios donde se manifiesta la presión estática (p_s). En la Tabla 8, se muestran los resultados de las 15 lecturas efectuadas de la altura de la columna de líquido en el tubo de Pitot, el valor promedio obtenido fue de 19.31 cm.



Figura 20: Tubo de Pitot utilizado para medir la velocidad a la salida del ventilador

Tabla 8. Mediciones de la altura de la columna de líquido efectuadas con el tubo de Pitot

Mediciones de la columna de agua		
Mediciones	Valor	Unidad
1	19.3	cm
2	19.5	cm
3	19.4	cm
4	19.3	cm
5	18.9	cm
6	19.5	cm
7	18.8	cm
8	19.5	cm
9	19.3	cm
10	19.4	cm
11	19.5	cm
12	19.3	cm
13	19.4	cm
14	19.3	cm
15	19.3	cm
Valor Promedio	19.31	cm

- **Cálculo del valor de la velocidad a la salida del ventilador**

Al utilizar la ecuación (3.4) se determina el valor de la velocidad del fluido:

Datos:

$$\rho_L: 997 \text{ kg/m}^3$$

$$g: 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$h: 0.1931 \text{ m}$$

$\rho: 0.92 \text{ kg/m}^3$ (según Tabla 9 para una altura de la ciudad de Santo Domingo de 625 msnm y una temp de 21°)

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 997 \cdot 9,8 \cdot 0,1931}{0,92}}$$

$$v = 64,04 \text{ m/s}$$

Tabla 9. Valor de la densidad del aire según ubicación de la localidad de trabajo (altura sobre el nivel del mar y la temperatura ambiente)

Kg/m³ = Factor de densidad × 1,2
Densidad del aire seco a 21 °C al nivel del mar = 1,2 Kg/m³
Altitud sobre el nivel del mar en metros

	-250	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
Temp. E Hg	782	760	738	717	697	677	657	639	620	603	569	536
C. E H ₂ O	10649	10345	10048	3761	3482	9211	8947	8691	8443	8201	7739	7303
0	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,76
21	1,03	1,00	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
50	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,68	0,64
75	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,57	0,63	0,60
100	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,59	0,56
125	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55	0,52
150	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49
175	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,49	0,46
200	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
225	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42
250	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,42	0,40
275	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,40	0,39
300	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,38	0,36
325	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35
350	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33
375	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32
400	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31
425	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30
450	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29
475	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
500	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
525	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26

Las pérdidas de carga son proporcionales a la densidad (en primera aproximación)
Consultar las leyes de los ventiladores, o las referencias, para más detalles

Fuente: VENTILACIÓN INDUSTRIAL Generalitat Valenciana. Conselleria de Treball i Afers Socials. Direcció General de Treball. Paseo de la Alameda, 16. 46010 Valencia. ESPAÑA

- **Cálculo de la magnitud del flujo que entrega el ventilador**

Para el cálculo de la magnitud del flujo a la salida del ventilador se emplea la ecuación siguiente:

$$Q = v * A \quad (3.5)$$

Donde:

Q : Magnitud del flujo de aire a la salida del ventilador

A : Área de la sección transversal de la salida del ventilador. Para diámetro de salida de 42 mm.

$$Q = 64,04 * 0,0014$$

$$Q = 322,778 \text{ m}^3/\text{h} = 189.955 \text{ cfm}$$

Finalmente, los valores de velocidad y de flujo de aire a la salida del ventilador serán afectados por un coeficiente de seguridad de magnitud igual a 2, con la finalidad de garantizar que la instalación de secado cumpla satisfactoriamente su destino de servicio en las condiciones reales de producción.

$$v = 64,04 * 2 = 128,08 \text{ m/s}$$

$$Q = 322,778 * 2 = 645.556 \text{ m}^3/\text{h} = 379,91 \text{ cfm}$$

3.5 Diseño de la instalación de secado con herramientas CAD

De la diversidad de sistemas CAD de bajo costo existentes en el mercado, en la sección Marco de Referencia se hizo énfasis en los softwares de diseño *AutoCAD* y *SolidWork*. A pesar de que existe compatibilidad entre los formatos de ambos sistemas, luego del análisis de las ventajas de la utilización de cada uno se decidió utilizar como plataforma de diseño el *SolidWork* basado fundamentalmente en que posee el módulo *SolidWorks Simulation* el cual tiene un módulo para la simulación Dinámica de Fluidos (CFD), acrónimo de las palabras inglesas *Computational Fluid Dynamics*, que está incorporado al propio sistema CAD, lo cual resulta de gran

utilidad para alcanzar el cuarto objetivo declarado en el diseño de la investigación de la presente tesis, relacionado con la propuesta del sistema de secado para satisfacer los requerimientos del secado de la piña en plantas empacadoras, lo cual presupone la simulación dinámica de la propuesta antes de ser implementada.

Diseño del sistema de conducción de aire desde el ventilador hasta la banda transportadora

De acuerdo al nivel sonoro alcanzado en las pruebas con el ventilador 2, se pudo constatar que las condiciones requeridas de flujo y velocidad pueden alcanzarse con un nivel de ruido tolerable dentro de las normas ambientales vigentes al utilizar un ventilador centrífugo. Lo que sugiere evaluar la posibilidad de la instalación del ventilador en el interior de la planta, cercano a la banda transportadora.

La instalación del sistema de secado seguirá el esquema mostrado de la Figura 21. Como puede apreciarse la manguera se instalará a la salida del ventilador, la conducción deberá continuar su trayectoria con radio amplio para disminuir las pérdidas a lo largo de la conducción del fluido hasta llegar el difusor.

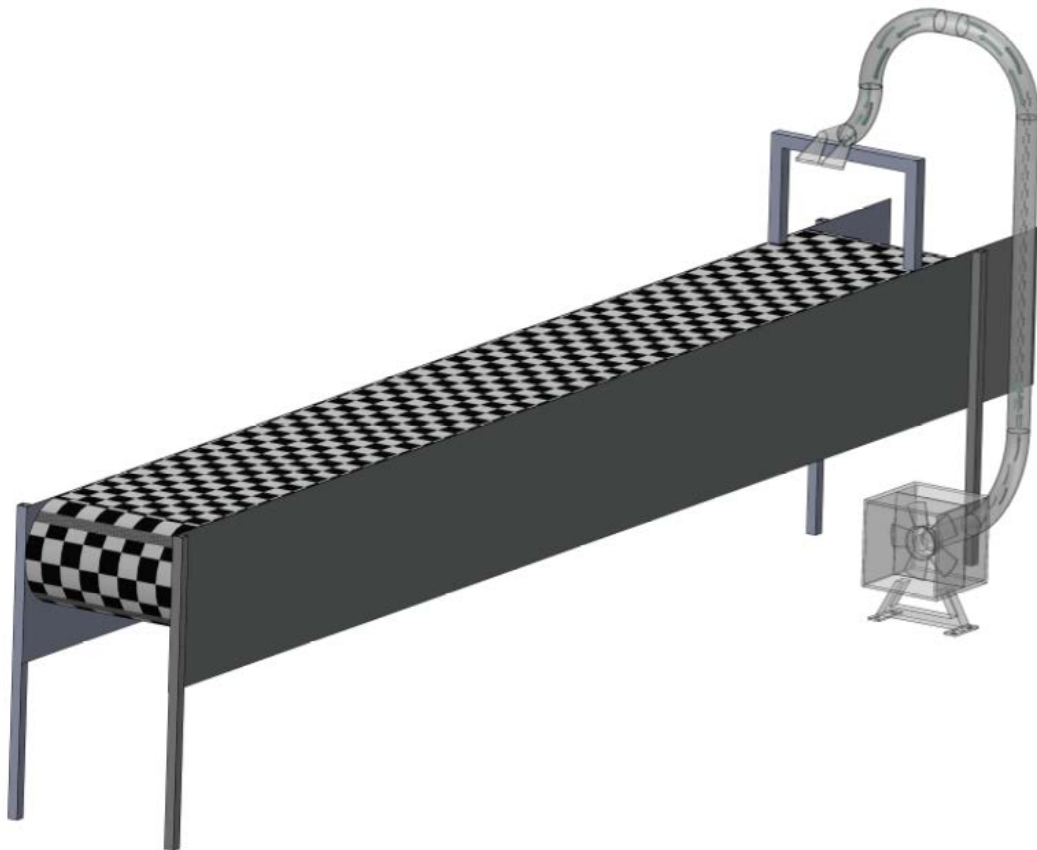


Figura 21: Esquema general simplificado de la instalación con el equipo impulsor de flujo y el sistema de conducción de aire

Inicialmente saldrá la conducción en trayectoria paralela al nivel del piso. A los 20 cm de la salida del ventilador curvará hacia arriba formando un ángulo de 90° con un radio de curvatura de 30 cm. Luego se prolonga un tramo vertical de una longitud de 50 cm para iniciar una nueva curvatura de 30 cm, se concibe un tramo recto pequeño de solo 4 cm, que tiene la función de servir de adaptador entre las curvas ubicadas a ambos extremos, con la posibilidad de ajustar su dimensión acorde a la necesidad de las dimensiones del transportador de banda de la empresa en la que se vaya a utilizar.

El siguiente tramo curvo tiene igual radio de 30 cm, luego se ubica un adaptador entre curvas de solo 1 cm para iniciarse un codo truncado de radio 15 cm con una altura entre los ejes extremos de 15 cm.

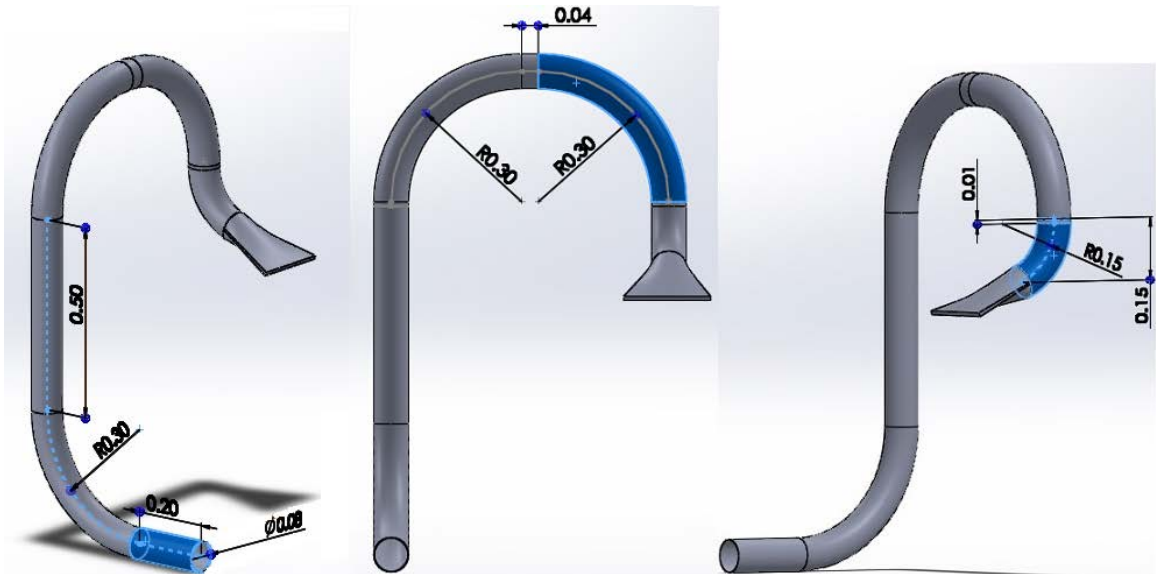


Figura 22: Diseño de la conducción de aire desde el ventilador hasta la banda transportadora

A continuación, se ubica un difusor que constituye una transformación de sección circular a rectangular, que permite dirigir de manera más efectiva el flujo a lo largo de la corona (Ver figura 23). El difusor parte de una sección circular de diámetro interno de 7.62 cm hasta una sección rectangular interna de 1 x 20 cm suficiente para abarcar el ancho completo de la corona de la piña.

Sobre el transportador se conducen las piñas siguiendo dos hileras paralelas. El diseño de difusor que se presenta abarca solo una hilera de piñas. Puede considerarse la posibilidad de utilizar dos instalaciones, una para cada hilera, o en otro caso utilizar una sola instalación con un difusor doble direccionado uno para cada hilera de piña. En este caso habría que considerar la utilización de un ventilador con doble capacidad de flujo para un secado adecuado de la corona las piñas en ambas hileras.

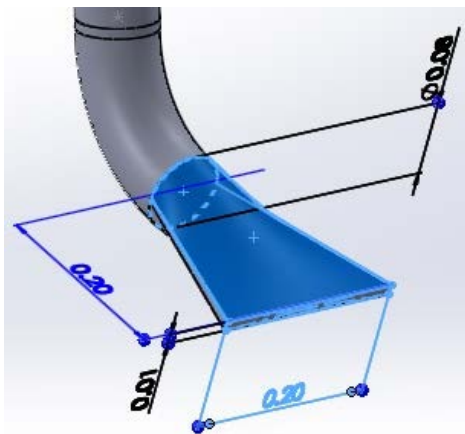


Figura 23: Diseño del difusor ubicado en el extremo de la conducción de aire

3.5.1 Propuesta de ventilador para satisfacer los requerimientos del secado de la piña en plantas empacadoras.

A partir de los valores determinados de flujo y velocidad de aire requeridos para el secado de la piña en la línea de producción en plantas empacadoras de la localidad de Santo Domingo de los Tsáchilas se efectuó un estudio de mercado de posibles proveedores de la unidad de ventilación. En la Tabla 10 se resume el resultado de la búsqueda realizada.

Tabla 10. Posibles proveedores de ventiladores para el sistema de impulsión de aire.




ID	Distribuidor	Tipo de Ventilador	Características	Precio
01	USA (Republic Manufacturing) Distribuidor en Ecuador: INDUCOM	Regenerativo	HRB 800, 8.5 HP, 3F (220 V) 60Hz, 3500 rpm, 599,751 m ³ /h - 353 CFM, Descarga 2.5", Nivel de Ruido: 78 dB	4400 usd
02		Centrífugo	RB 1200 HC, 15 HP, 3F (220-440 V), 3500 rpm, 700 m ³ /h - 412 CFM, Dia. Descarga 4", Nivel de Ruido: 82 dB	9816 usd
03	USA (W and Z Manufacturing), con importación desde	Regenerativo	GHBH 010361R8 11,5 HP 3F (480 V) 618.439 m ³ /h -364 CFM, Descarga 2.5"	1629 usd
04	China	Regenerativo	GHBH 017361R9 19,4 HP 3F (480 V) 1248,77 m ³ /h -735 CFM, Descarga 4"	3523 usd

3.6 Simulación del flujo de aire en la instalación de secado con herramientas CAD/CAE

Una vez obtenido el modelo 3D de la conductora de aire junto al difusor para el secado de la piña, se podrá efectuar la simulación dinámica (CFD) del comportamiento del flujo de aire impulsado por el ventilador para las condiciones determinadas en la investigación.

Con este fin, se ha utilizado el módulo *SolidWorks Flow Simulation* que viene embebido al paquete CAD.

Pasos para realizar la simulación CAE de la conducción:

1. Una vez obtenido el modelo CAD de la conducción, seleccionar en el menú principal la  opción Complementos y seguidamente seleccionar “add-ins”, se despliega una ventana en la que habrá que activar el submódulo “SolidWorks Flow Simulation”.
2. Ubicar “tapas” en ambos extremos de la tubería: Las tapas constituyen entidades gráficas que permiten la asignación de propiedades acerca de las condiciones existentes a la entrada y salida de la conducción, para ello seleccionar el ícono .
3. Seleccionar la opción “Wizar” , para la creación del nuevo proyecto con la especificación de las características del fluido que se trabajará, entre otros aspectos se definen: Las unidades de trabajo (SI), tipo de fluido (Aire), tipo de análisis (interno de la tubería), el valor de la rugosidad superficial de la conducción (Rz, se tomó Rz = 3,2 tubería lisa) y la definición de la resolución de la simulación (se tomó la resolución por defecto del sistema).
4. Definición de las “Boundary Condition”: Constituyen las condiciones de frontera de la conducción. A la entrada de la conducción se encuentra el ventilador, por lo que se indica el valor del flujo entregado por este (la simulación fue realizada para un ventilador con un flujo de $618.439 \text{ m}^3/\text{h} = 364 \text{ cfm}$). Se define como condición de frontera a la salida de la conducción, la presión atmosférica.
5. Definir los “Goals”: Constituyen los objetivos a lograr con la simulación. Para este caso se definieron como objetivos superficiales “surface goals”: los valores de velocidad promedio del fluido y la presión total promedio a la que se entrega el fluido a la salida de la conducción.
6. Seleccionar la opción “run” para ejecutar el solver del proyecto, si el cálculo de los parámetros para la simulación está correcto se genera un diálogo como el que se muestra en la Figura 24.

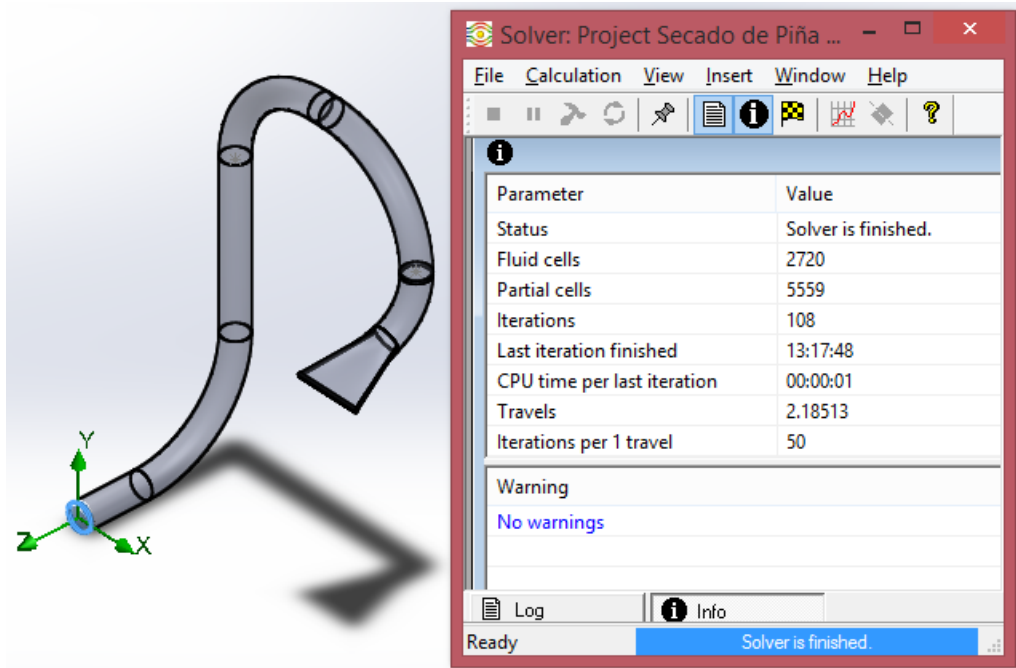


Figura 24: Resultado del Solver para la simulación del proyecto: Secado de la Piña

7. Eliminar el recuadro de volumen de control en el que se inscribe la conducción: Para ello, se presiona sobre la opción “*Computacional Domain*” en el menú árbol y con el botón derecho del mouse seleccionar la opción “hide”.
8. Seleccionar en el menú principal “*flow simulations display*” y activar la opción “*transparency*” para visualizar el movimiento del fluido por el interior de la conducción.
9. En el menú árbol, dentro de resultados se da clip derecho sobre la opción “*Goals Plot*” a continuación “*insert*”, seleccionar la opción “*All*” y son desplegados los resultados del solver ejecutado en el punto 6.

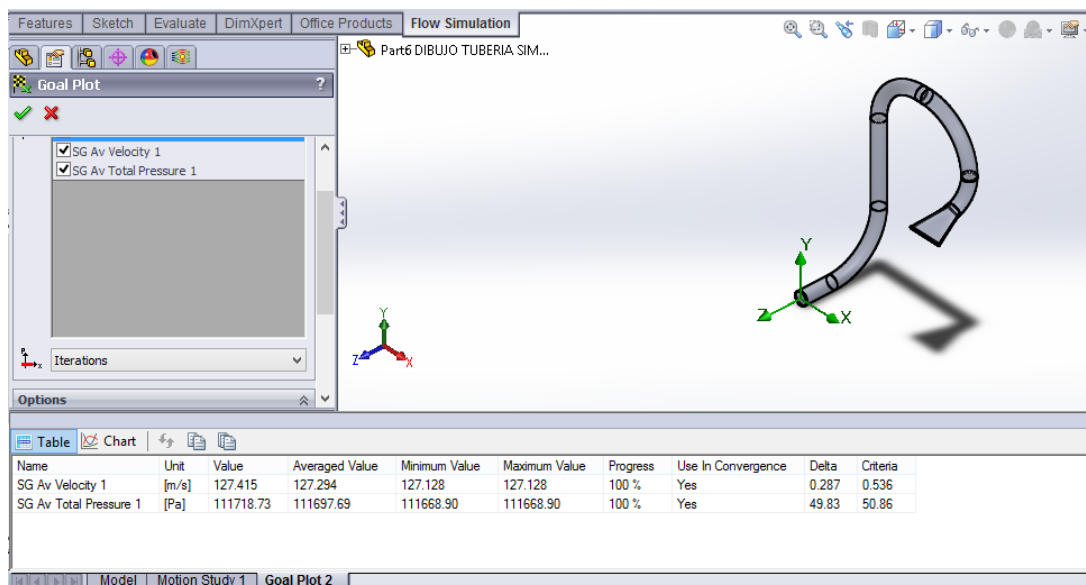
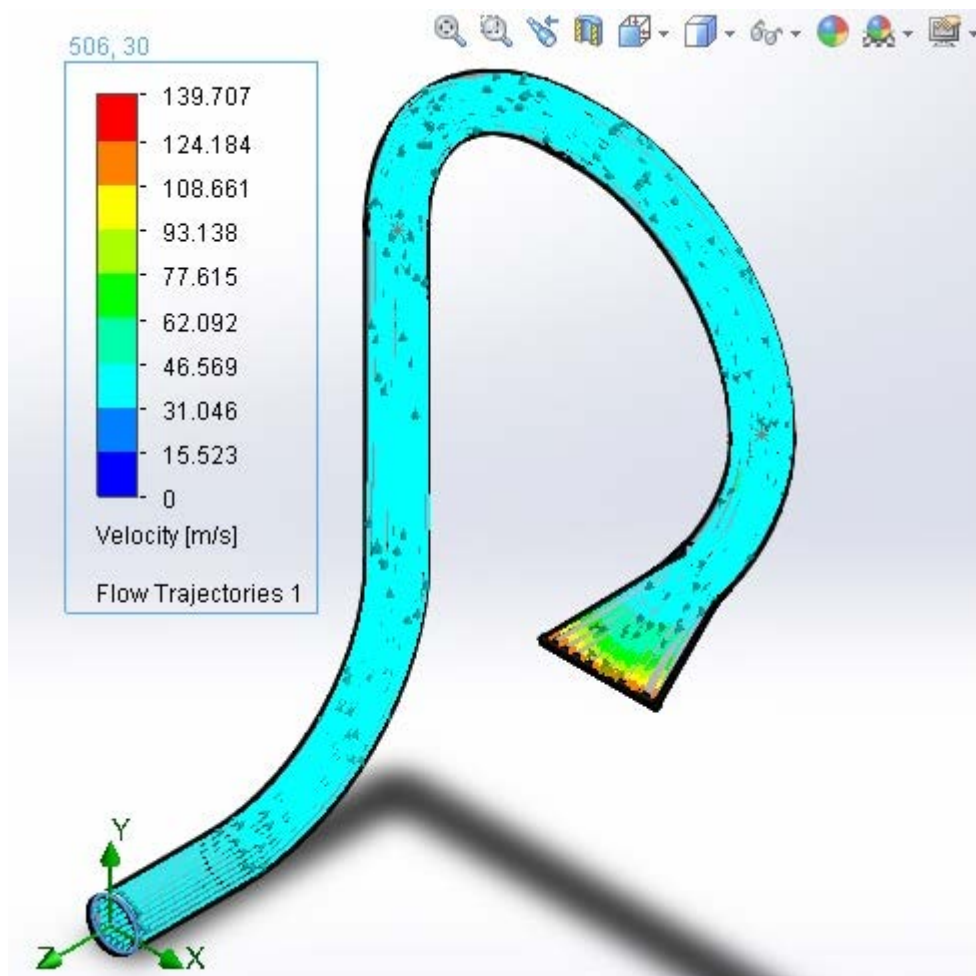
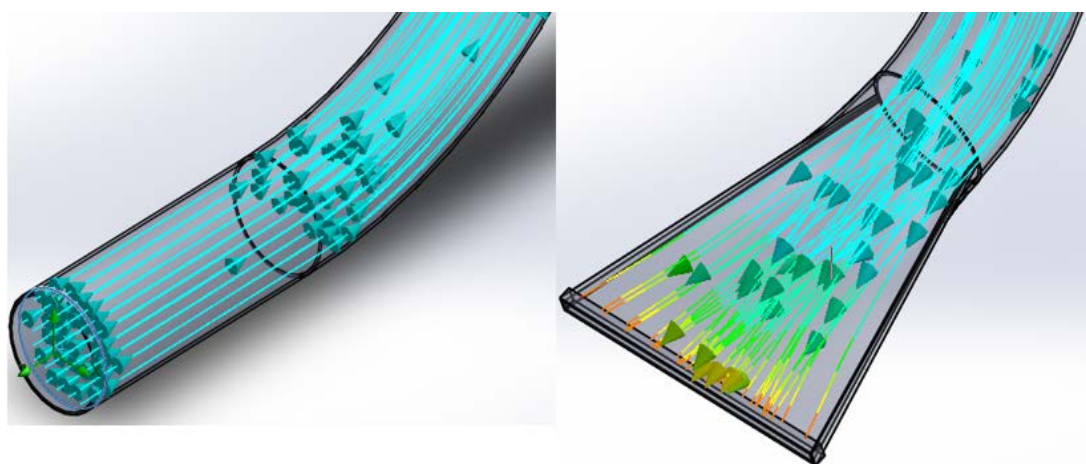


Figura 25: Resultado de la ejecución del Solver para la simulación del proyecto: Secado de la Piña

10. Mostrar trayectorias del fluido, en el menú árbol, hacer click derecho sobre la opción “*Flow trajectories*” y seleccionar la opción “insertar”, luego indicar el objetivo a visualizar (seleccionar primeramente el objetivo velocidad, e indicar la cara donde se inicia la simulación que es donde estaría ubicado el ventilador), ver los resultados en la Figura 26 a) y b).
11. Dentro de la misma opción “*Flow trajectories*” indicar como nuevo objetivo a visualizar, la presión. El resultado de esta simulación se muestra en la figura 27 a) y b).

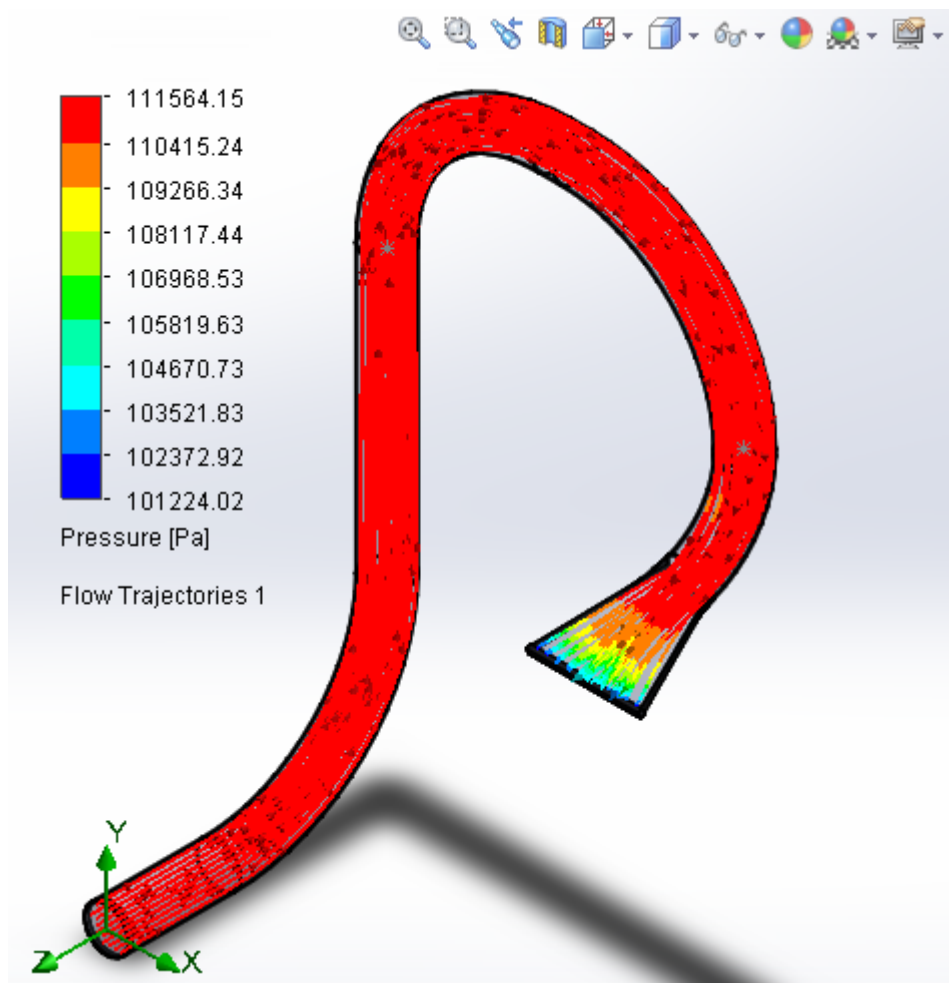


a)

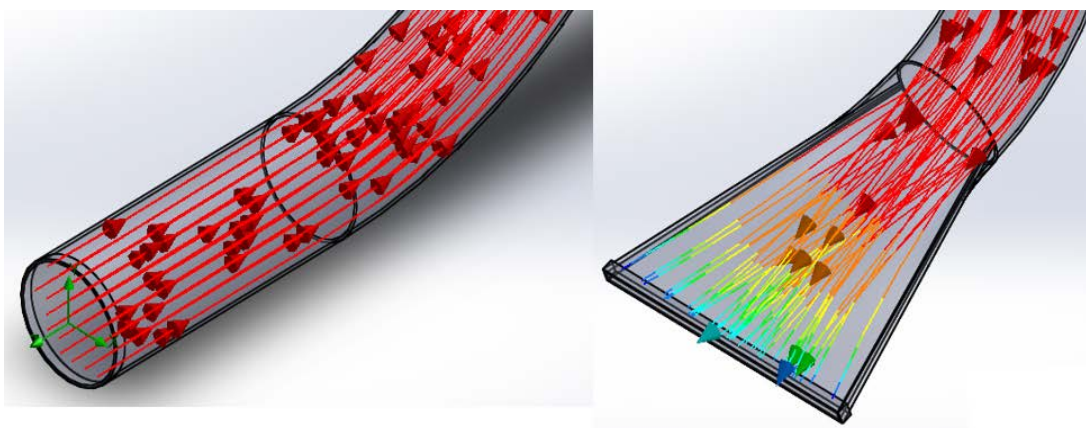


b)

Figura 26: Resultado de la simulación del objetivo “velocidad” en la conducción



a)



b)

Figura 27: Resultado de la simulación del objetivo “presión” en la conducción

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al efectuar la simulación mediante CAE del modelo CAD de un sistema de conducción de aire impulsado por ventilación, concebido para ser utilizado en el proceso de secado de la piña en plantas empacadoras, puede sintetizarse lo siguiente:

1. El sistema de secado del fruto por succión del agua contenida en la superficie de la piña y su corona, requiere de magnitudes de flujo y velocidad del aire superiores a las del secado por impulsión. La alternativa de introducir modificaciones en el transportador que permitieran la inclinación del fruto entre 45° a 60° y facilitar así el escurrimiento de la corona, conlleva a modificaciones constructivas en la línea de producción con afectación a la viabilidad de la propuesta.
2. El ventilador simulado fue el indicado en la Tabla 10 con ID 03, de W and Z Manufacturing, que entrega un flujo de $618,439 \text{ m}^3/\text{h}$ - 364 CFM al inicio de la conducción. El valor de la velocidad obtenido durante la simulación fue de 127.294 m/s (ver Figura 25) y puede ser aceptado como válido, al compararlo con el valor requerido de $128,08 \text{ m/s}$ determinado en el epígrafe No. 3, para un flujo de aire de $645.556 \text{ m}^3/\text{h}$ - 379.91 CFM, dada la proximidad de ambos valores, sobre todo teniendo en cuenta que el valor requerido fue afectado por un coeficiente de seguridad igual a 2 atendiendo a las condiciones de producción.
3. Los resultados obtenidos son satisfactorios para las dimensiones de salida del difusor de $1 \times 20 \text{ cm}$, lo que sugiere su utilización en el secado de una sola hilera de piña. Para el secado de las dos hileras, se requerirá de la ubicación de dos instalaciones de ventilación de similares características, una para cada hilera, o la utilización del ventilador con ID 04, de $1248.77 \text{ m}^3/\text{h}$ - 735 CFM, con una bifurcación de dos difusores de igual sección de $1 \times 20 \text{ cm}$.
4. Se aprecia un valor alto de presión prácticamente en toda la conducción con un valor promedio de 111697.69 Pa (ver Figura 25) disminuyendo el valor de presión al aproximarse al extremo del difusor ya que éste descarga directamente a la línea de producción (presión atmosférica $101\,325 \text{ Pa}$).

CONCLUSIONES

Como conclusiones de la presente investigación se destacan las siguientes:

1. Según el estudio realizado los indicadores cuantitativos que caracterizan la humedad de la piña se consideran solo en la industria de procesos de conserva. En el caso de las empresas empacadoras tienen carácter cualitativo, basados en la experiencia de los productores según la presencia o no de micro organismos y plagas en el fruto, el índice de rechazos de exportaciones y el deterioro presentado en las cajas por el exceso de humedad, lo cual condujo a la aplicación del método de la mancha para determinar el grado de humedad presente en el fruto al ser empacado.
2. Se pudo determinar que el sistema de secado instalado en las empresas empacadoras de la localidad, que fueron estudiadas, no satisface en su totalidad los requerimientos de secado del fruto. Conservan un nivel de humedad que produce una mancha excesiva en la superficie de la caja que las contiene, fundamentalmente en la zona donde se ubica la corona, lo que justificó que el análisis se centrara fundamentalmente en el secado de esa zona de la piña.
3. El nivel de ruido generado en dos de las tres empresas estudiadas resulta excesivo, superiores a los 100 dB. Las variantes de solución tomadas por los productores consisten en no poner en funcionamiento todo el sistema de ventilación con afectaciones a la calidad del secado del producto, o en incluir excesivas operaciones de secado a lo largo de la línea de producción.
4. No se cuenta con normas o procedimientos debidamente sustentados, desde el punto de vista científico-técnico, que avalen la selección de los ventiladores instalados en las empresas estudiadas, ésta se realizó por comparación con las soluciones adoptadas anteriormente por otras empresas empacadoras, lo que condujo a la necesidad de investigar los parámetros de flujo, velocidad del aire y presión requeridos para un correcto secado del producto y un nivel de ruido admisible según las normas medio ambientales.
5. A través de la investigación realizada se obtuvo un valor de velocidad del aire a la salida del ventilador de 128,08 m/s con un flujo igual a $645.556 \text{ m}^3/\text{h} - 379.91 \text{ cfm}$, los que resultaron adecuados para el secado de la piña por el método de impulsión de aire, la medición de estos valores se realizó mediante un tubo de

Pitot luego de conseguir la relación de transmisión requerida en el ventilador utilizado para el estudio.

6. Se obtuvo el modelo CAD del sistema de conducción de aire, y se realizó el análisis CAE a través de la simulación dinámica del fluido por CFD al utilizar la herramienta *SolidWork Flow Simulations*. Se simuló el desempeño de un ventilador que entrega $645.556 \text{ m}^3/\text{h} - 379.91 \text{ cfm}$ el que satisface los requerimientos del secado en una hilera de piña sobre la banda transportadora, lo que conduce a recomendar la instalación de dos de estas unidades para abarcar ambas hileras o emplear un ventilador que entregue un flujo de $1248.77 \text{ m}^3/\text{h} - 735 \text{ cfm}$ con una bifurcación de dos difusores.
7. Las unidades de ventilación propuestas (Ventiladores Regenerativos), generan un nivel de ruido inferior a 85 dB el que es permitido por las normas ambientales vigentes para jornadas de trabajo de 8 horas.

RECOMENDACIONES

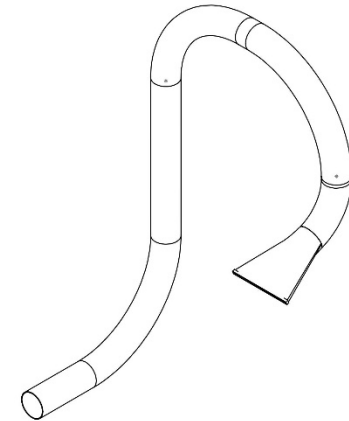
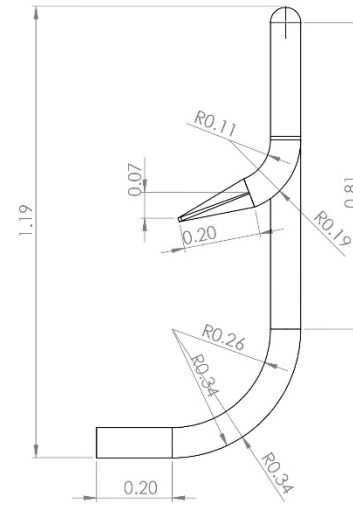
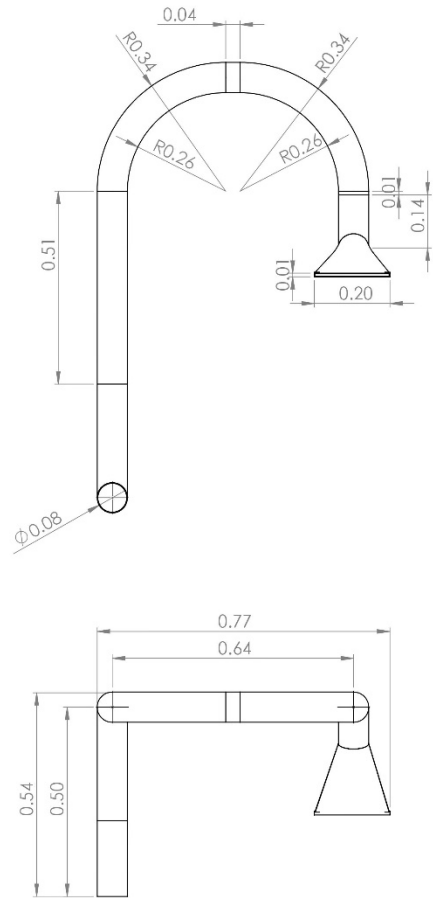
1. En el caso en que se decida ubicar dos unidades de ventilación, uno para cada línea de frutos, se deberá considerar su instalación en cabinas aislantes de ruido.
2. Efectuar la presentación de los resultados obtenidos en la investigación a los especialistas y la dirección de las empresas estudiadas, con la finalidad de evaluar su posible implementación en las condiciones de sus respectivas unidades productivas.

REFERENCIAS

- A. Páez Dueñas, A. B.-E. (s.f.). Ensayo de la Mancha. *Ensayo de la Mancha: Su influencia en el comportamiento en servicio de los ligantes asfálticos*. Santiago de Chile, Chile.
- Agricultura, D. d. (15 de 12 de 2106). *Depósitos de documentos de la FAO- Manual para el mejoramiento del manejo de poscosecha de frutas y hortalizas*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/x5056S/x5056S03.htm>
- ASOPINÑA. (2011). Obtenido de <http://asopina-ecuador.org/areas-cultivo.html>
- Autodesk.es. (16 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.autodesk.es/store/todos-los-productos#>
- Bolívar, I. M. (2012). El cultivo de Piña y el clima en el Ecuador. *Revista EL AGRO*, 25.
- Bosquez Molina, E. &. (2012). *Procesamiento térmico de frutas y hortalizas (No. TX612. F7 B65)*. Trillas.
- Bouvy Q., R. T. (2015). Design of quieter landing gears through lattice-Boltzmann CFD simulations, AIAA/CEAS. *Aeroacoustics Conferences*. Dallas Texas, USA.
- Campos Vázquez A., E. N. (2013). Análisis experimental numérico de la plantilla para el conformado plástico mediante embutido de una abrazadera metálica. México.
- Cedismafrut.com. (16 de enero de 2017). Obtenido de <http://www.cedismafrut.com/productos/cepilladoras-y-lavadoras/cepilladoras-lavadoras-de-fruta/ecoagua-manzana>
- Chann P., J. J. (2012). Forecasting of manufacturing cost in mobile phone products by case-based reasoning and artificial neural network models. En *Journal of Intelligent Manufacturing* (págs. 517-531).
- Croccolo D., D. A. (2011). Structural Analysis of an Articulated Urban Bus Chassis via FEM: a Methodology Applied to a Case Study. En *Journal of Mechanical Engineering* 57 (págs. 199-809).
- Gafanhao, M. I. (2007). Determinación del punto de precipitación de los asfaltenos en crudos venezolanos. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 225-232.
- Goberna, R. (1992). *Ventilación Industrial*. España: Artes Gráficas Soler, S.A.
- Higiene Laboral- Ventilación Industrial. (11 de Mayo de 2015). Obtenido de EstructPlan online: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3196>

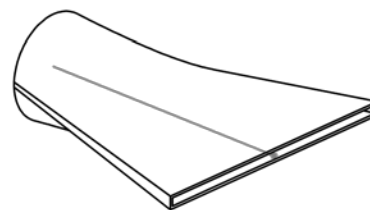
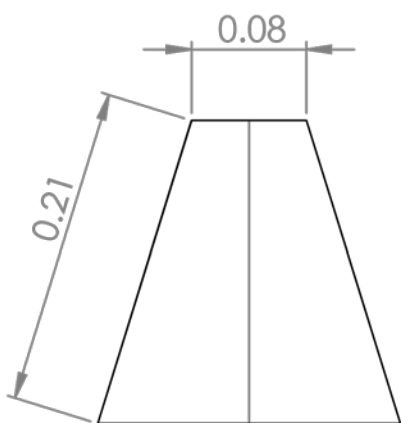
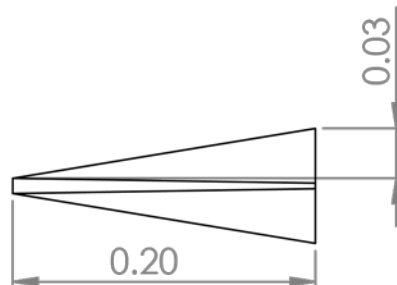
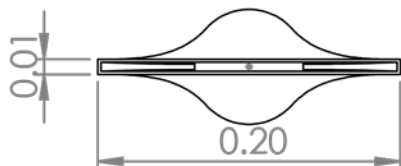
- ISO 4871: 1996, IDT. (1996). *Acústica. Declaración y verificación de los valores de emisión sonora de máquinas y equipos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Jhony Mauricio Gutierrez Florez, J. R. (Febrero de 2012). *Ventiladores para secadores de café*. Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/lib37751.pdf>
- López Sandoval, J. Á. (2013). *Verificación de sistemas de ventilación por extracción localizada*.
- MAF, R. (17 de Diciembre de 2008). *YouTube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=BcoZrWEJv74>
- Manual Práctico de Ventilación. (s.f.). En *Conceptos de ventilación-Ventiladores* (pág. 2 a 20). Salvado ESCODA S.A.
- Mecánica Industrial*. (30 de 12 de 2016). Obtenido de <https://www.mecanicaindustrial.com.br/662-sopradores-regenerativos/>
- NTE INEN 1 836:2009. (2009). *Frutas Frescas. Piña. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1 836:2009. (s.f.). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. "FRUTAS FRESCAS. PIÑA. REQUISITOS" 1 836:2009. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Pesca, O. R. (2012). Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y pesca. *Acuerdo Ministerial 281*. Ecuador.
- Sánchez F. J., F. d. (2011). XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. *Técnicas de Prototipado Rápido*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla España.
- Seng Fat W. Weng I. H., V. A. (2012). 2012 International Symposium on Management of Technology . *Ergonomic Design Knowledge Base in Web-enabled Quick Response System*. Hangzhou, China.
- Solidworks.es*. (16 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/3d-cad-design-software.htm>
- Sosa, G. C. (2012). *Aspectos Básicos sobre Control de Ruido Aplicado a Ventiladores Industriales*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Torres, E. d. (1982). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hill.
- Troz, L. (1999). *Bajo Control Numérico*. Mexico: CADXPres.
- UNET. (2015). *Laboratorio Virtual*. Obtenido de <http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-128.htm>

ANEXOS



					Tolerancia	Peso	Poliuretano termoplástico	
					IT 9			
					Fecha	Nombre		
					Dib.	01/07/17	Karla Nuñez	Manguera con Difusor
					Rev.	04/07/17	Alexis Ceraóvés	
					Apr.	05/07/17	Alexis Ceraóvés	
					Empresa	UTE-01-00		Marca de Registro
					UTE-SD	(Sustitución)		
Edi- ción	Modifi- cación	Fec.	Nom.					

Escala
1:10
A2



				Tolerancia	Peso	Acero Inoxidable AISI 304	
				IT 9			
				Fecha	Nombre	Difusor Simple	Escala 1:5 A4
			Dib.	01/07/17	Karla Nuñez		
			Rev.	04/07/17	A. Cordovés		
			Apr.	05/07/17	A. Cordovés		
				Empresa		UTE-01-01	Marca de Registro
Edi- ción	Modifi- cación	Fec.	Nom.	UTE-SD		(Sustitución)	