

Design of a machine for shredded meat in an industrial dining room

Orlando Uzcátegui^a, Lucia Martino^{*,b}

^aEscuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

^bCentro de investigación en materiales, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Abstract.-

One of the fundamental problems of the canteen (dining room) at the University of Carabobo is that there is no specific equipment for meat processing, specifically for shredded. The employees of this institution use equipment not designed for this task, consequently resulting in low product quality (shredded meat) and failures in the equipment used for this purpose. The goal of this research is to design a device capable of processing (shredded) 1.500 kg of meat per hour. This dining area was visited in order to know the characteristics of the process of elaboration of shredded meat, with this information a prototype of the meat shredder was constructed to evaluate the speed of rotation for a value of thickness and width of the meat strand ≤ 5 mm to obtain a quality product, the speed of rotation obtained is 700 rpm. The device was designed, and then was evaluated the state of stresses and displacements of each piece using a program based on the finite element method, determining that it supports the applied loads.

Keywords: shredded meat; food equipment; food processing.

Diseño de una máquina para deshebrar carne en un comedor industrial

Resumen.-

Uno de los problemas fundamentales del comedor de la Universidad de Carabobo es que no cuenta con equipos específicos para el procesado de carne de res, específicamente para su deshebrado. Viéndose en la necesidad, los empleados de esta institución, de utilizar equipos no diseñados para esta tarea, trayendo como consecuencia una baja calidad del producto (carne deshebrada) y fallas en el equipo utilizado para tal fin. Por lo que el objetivo de esta investigación es el diseño de un dispositivo capaz de procesar (deshebrar) 1.500 kg de carne por hora. Se visitó dicho comedor con el fin de conocer las características del proceso de elaboración de carne deshebrada, con esta información se construyó un prototipo del deshebrador de carne para evaluar la velocidad de giro para un valor de espesor y ancho de la hebra ≤ 5 mm para obtener un producto final de calidad, la velocidad de giro obtenida es de 700 rpm. Se diseñó el dispositivo, al que se le evaluó el estado de esfuerzos y desplazamientos de cada pieza utilizando un programa basado en el método de elementos finitos, determinándose que el mismo soporta las cargas aplicadas.

Palabras clave: carne deshebrada; equipos alimenticios; procesamiento de alimentos.

Recibido: octubre 2016

Aceptado: julio 2017

1. Introducción

Una de las ramas más importantes de la tecnología moderna es la de alimentos. La implementación física de máquinas procesadoras de alimentos siempre han presentado retos únicos para investigadores, industria y diseñadores de equipos. Los resultados de investigaciones han mostrado que el procesamiento de alimentos no

*Autor para correspondencia

Correo-e: lmartino.uc@gmail.com (Lucia Martino)

sólo envuelve la calidad de la materia prima, los procesos de manufactura, el empaque, el cambio químico que puede ocurrir durante su almacenamiento, y las preferencias del consumidor, sino también las maquinarias y equipos utilizados en su procesamiento. El uso de maquinaria automatizada a lo largo del tiempo ha sustituido gran cantidad de procesos con alto contenido artesanal y manual, esto porque es más higiénico e incrementa la producción de cualquier planta procesadora de alimentos, así como de comedores de tipo industrial.

El comedor de la Universidad de Carabobo (UC) ubicado en Campus Bárbula, Municipio Naguanagua, Estado Carabobo, actualmente está prestando servicio diariamente a aproximadamente 4.000 estudiantes, el mismo presenta una demanda insatisfecha en la producción de alimentos, debido a que las instalaciones así como los equipos utilizados fueron diseñados para atender 700 usuarios por día. En el caso de la carne de res se estiman 250 gramos por persona lo que representa una demanda aproximada de 1.000 kilos diarios.

El comedor dispone de un equipo del tipo “Ayudante de Cocina” cuya función principal es rebanar alimentos, específicamente vegetales. Actualmente el procesado de diversas carnes se realiza en la máquina mencionada anteriormente, por lo que el producto final no es el esperado (carne deshebrada). Debido a que la máquina está procesando alimentos para lo cual no fue diseñada, la misma ha presentado diversas fallas mecánicas, derivando esto en su inutilización. Por todo lo mencionado, el objetivo de esta investigación es diseñar una máquina para deshebrar carne de res en un comedor industrial, y así obtener un producto con la calidad y aspecto adecuado.

2. Antecedentes

En relación a los trabajos previos realizados en esta área, se tiene que, De Silva y Wickramarachchi [1] presentaron una máquina automatizada para cortar el pescado basado en el procesamiento de imagen para determinar el punto de corte (cabeza), la cual es eficiente, aumentó la productividad y la calidad del producto, y llevó al mínimo la intervención humana.

Heck [2] diseñó un proceso automatizado de fraccionamiento y corte de pollo con chorros de agua. La máquina posee un sistema de fraccionamiento, realizado mediante el uso de la alta velocidad de procesamiento de imágenes y control de chorros de agua concentrados para cortar filetes de pollo en porciones, tiras de tamaños y formas especificadas. La máquina está diseñada con el fin de lograr un aumento de la producción del producto y la disminución de los costos laborales.

Miranda et al [3] diseñaron una máquina peladora, trituradora y procesadora de fruta para la elaboración de mermelada para la pequeña y mediana industria, logrando obtener un producto de alta calidad; Holz [4] diseñó una máquina cortadora de alimentos, especialmente para cortar en forma de tiras o dados, con cuchillas en rejilla y cuchilla transversal dispuesta en sentido de avance después de las cuchillas de la rejilla con un sistema de recolección del producto procesado; Gavilanes et al [5] diseñaron equipos para lavar, picar y moler la papa China, las capacidades a procesar permiten definir las geometrías, dimensiones y materiales de cada máquina.

Smith [6], proporciona información sobre pequeños equipos de procesamiento de alimentos, la cual puede ser contemplada para la fabricación de éstos en aplicaciones especiales. Establece que los requisitos del equipo, el tipo, la disposición y la cantidad son determinados por el producto a procesar. Lo más importante es que el equipo tiene que llevar a cabo la función para la que fue diseñado de manera segura, eficiente y económica.

La máquina debe ser lo más simple en su diseño así como sólida, suficiente para minimizar la necesidad de frecuentes reparaciones. La máquina debe hacer su trabajo de manera limpia y estar diseñada de forma que pueda ser limpiada fácilmente. Los materiales utilizados en estos equipos tienen que ser duraderos, que no afecten el color o sabor de los alimentos, que no se corroan y que no sean tóxicos. El material preferido para contacto con alimentos es el acero inoxidable.

3. Metodología

3.1. Recolección de la información

Consiste en conocer el procesamiento actual de la carne en el comedor, por lo que se entrevista a los trabajadores de esa área con el fin de establecer las necesidades del proceso que se requieren satisfacer. Luego de esto se efectuó una investigación relacionada con las máquinas procesadoras de carne y de las normas que rigen su diseño.

3.2. Estudio de las propiedades de la carne

Se estudiaron las propiedades físicas (volumen, volumen específico, calidad) y químicas (pH) de la carne de res, así como las mecánicas (fuerza de corte) que deberá ejercer la máquina a diseñar.

3.3. Diseño del sistema

Una vez definidas las características del sistema a diseñar, se procede a establecer las especificaciones del mismo tomando en cuenta las restricciones y criterios establecidos que satisfagan las necesidades planteadas en el comedor y cumplir con las normas para el diseño sanitario de este tipo de equipo. Luego se diseñan las partes necesarias, se les realiza el análisis de esfuerzos presente a cada una y al conjunto armado, así como la evaluación de estabilidad del mismo.

4. Resultados

Un equipo procesador de alimentos es toda aquella maquinaria capaz de cortar, lavar, mezclar, en fin transformar un alimento, de la manera más higiénica y eficiente posible, sin alterar las propiedades químicas del mismo. Las normas de buenas prácticas de fabricación, almacenamiento y transporte de alimentos para consumo humano, publicadas en gaceta oficial 36.081 de Venezuela [7] son la referencia nacional por excelencia para diseños de este tipo, así como éstas, también existen normas internacionales y criterios de diseño de organismos dedicados a establecer parámetros para el área alimenticia. De acuerdo con estas normas se diseñó el equipo para deshebrar carne.

4.1. Sistema de procesamiento de carne

Procesado de carne de res. El comedor recibe cortes de carne de tercera, específicamente el corte conocido como solomo abierto. La carne se halla en trozos cuyo peso oscila entre los 250g y 500g para la preparación de la carne deshebrada, los mismos se hierven en ollas de presión. Una vez cocida la carne se le retira del agua caliente y se enfría con agua a temperatura ambiente. Una vez fría, la carne se dispone en bandejas para transportarla a mesas cercanas al ayudante de cocina. Desde ahí dos personas alimentan la tolva del ayudante hasta llenar su capacidad (de 2 a 4kg de carne). El ayudante de cocina posee una palanca manual que al ser accionada por un operador mueve una tapa de acero inoxidable que entra en contacto con la carne y la empuja hacia unas cuchillas giratorias que la cortan (Figura 1). La carne sale picada por el otro lado en trozos irregulares en forma de picadillo. En virtud de que el equipo no está diseñado para cortar carne, es frecuente que ocurran fallas en el equipo como recalentamiento, vibración excesiva, ruptura de piezas, entre otras cosas, inhabilitando al equipo y por tanto suspendiendo por tiempo indefinido la elaboración de carne “deshebrada” en el comedor.



Figura 1: Ayudante de cocina en el comedor UC.

Tiempo de procesado. Para satisfacer la demanda actual de 1.000kg de carne, el día que se sirve carne “deshebrada”, se estima que el procesado de carne, utilizando el ayudante de cocina tarda en promedio 2,5 horas.

4.2. Consideraciones de diseño

Para el diseño de elementos de máquinas utilizados en la elaboración de alimentos es necesario el estudio detallado de algunas variables y propiedades de la materia prima (carne de res) involucradas en dicho proceso.

Propiedades físicas de la carne. Estas propiedades son necesarias para el correcto dimensionamiento de los componentes que conforman el diseño de la máquina para el deshebrado de carne de res. Dentro de la prueba realizada por Uzcátegui [8], se midieron y calcularon el volumen y el volumen específico, características necesarias para conocer la relación que existe entre el volumen que ocupa una pieza de carne de res y su masa; el volumen específico promedio calculado es $8,31 \times 10^{-4} m^3/kg$.

Calidad de la carne deshebrada. El grosor del trozo de carne cocida no debe ser mayor a 4cm para obtener un ancho óptimo de las hebras de carne deshebrada de 4mm [8].

Fuerza de corte. Esta fuerza permite definir las características del sistema motriz del equipo, así como sus dimensiones y los materiales a utilizar en las piezas. Según Uzcátegui [8] la fuerza necesaria para deshebrar la carne es de 10,1 kgf (98,98 N).

4.3. Restricciones del sistema a diseñar

En función de cumplir con la demanda actual de 1.000kg, disminuir el tiempo de producción en un 60% y prever una creciente demanda futura, la dirección del comedor solicitó que la máquina debe ser capaz de procesar 1500 kg de carne a deshebrar por hora. La tensión disponible en el espacio donde se situará la máquina es de 220 V. Esencialmente el equipo debe estar compuesto de las siguientes secciones: tolva de alimentación, deshebrador de carne, sistema motriz y tolva de descarga.

Los bordes internos deben tener, preferentemente, un radio igual o superior a 6mm; el radio mínimo es de 3mm. Se deben evitar los bordes agudos ($\leq 90^\circ$), según la EHEDG [9]. El acabado superficial debe ser $\leq 0,8\mu m$. Para evitar contaminación, el departamento de agricultura de

los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), establece que no debe haber rodamientos dentro del área de contacto con los alimentos.

Para la fabricación de algunos elementos se usa el acero laminado en frío con una rugosidad entre 0,2 y $0,5\mu m$. Para el diseño de partes que estarán en contacto con el producto se seleccionó por su alta resistencia a la corrosión y buena soldabilidad, características altamente precisadas en el diseño del equipo, el acero AISI 316 y el AISI 316L [9]. Para prevenir salpicaduras y facilitar la limpieza de la máquina, las áreas de contacto del producto deben estar entre 31 y 46cm por encima del piso [8].

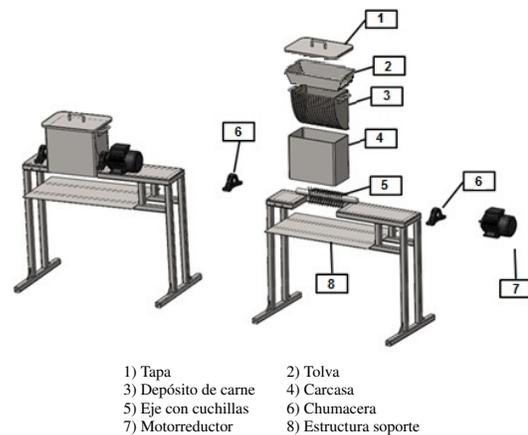


Figura 2: Solución planteada, conjunto armado y despiece.

4.4. Especificaciones del sistema diseñado

La solución propuesta se puede observar en la Figura 2, la cual muestra los elementos que forman el sistema. La carne es depositada manualmente dentro del conjunto deshebrador conformado por la tapa (1), la tolva (2), el depósito de carne (3), el cual posee unas rejillas que funcionan como cuchillas fijas, la carcasa (4) y el eje con cuchillas (5), dicho eje está soportado por dos chumaceras (6) y acoplado a un motorreductor (7), para luego de procesada caer sobre la bandeja para carne que se soportará sobre la estructura soporte (8), las bandejas a utilizar son las que posee el comedor. El deshebrado de la carne ocurrirá dentro del conjunto deshebrador al girar el eje con las cuchillas (5) las cuales están intercaladas con la rejilla del depósito. El conjunto deshebrador está

cubierto por la carcasa (4) y en la parte superior por la tapa (1) para evitar y disminuir el contacto de los alimentos con el ambiente.

Dimensionamiento de las partes que conforman el sistema. La capacidad volumétrica se refiere al volumen de carne por unidad de tiempo que se debe procesar, la cual se determina con la ecuación (1).

$$Q_v = Q_m v \quad (1)$$

Donde: Q_v es la capacidad volumétrica (cm^3/s), Q_m es la capacidad de producción del equipo (kg/h) y v es el volumen específico de la carne (m^3/kg) tomado de Uzcátegui [8]. Sustituyendo los valores en la ecuación (1) se tiene $Q_v = 347,22cm^3/s$.

4.4.1. Conjunto deshebrador

Este mecanismo (Figura 3) es el más importante en el equipo pues su movimiento desgarrará la carne con las cuchillas haciéndola pasar por la rejilla del depósito de carne, ésta quedará procesada como las especificaciones lo indican. El mismo está conformado por las cuchillas, el depósito de carne, la tolva, la carcasa, el motorreductor, el eje con cuchillas, el anillo de retención, la chaveta, los rodamientos, y el acople.

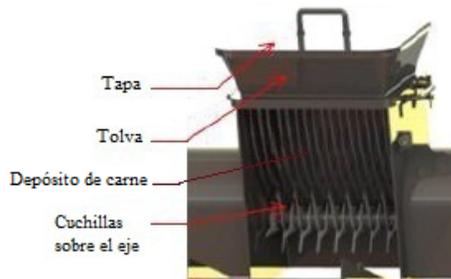


Figura 3: Detalle del conjunto deshebrador hecho en dibujo CAD.

Cuchillas. La longitud de las cuchillas se asumió como la mayor profundidad de inserción en la carne ($4cm$), más $1cm$ que deja una separación entre la parte de la cuchilla que entrará en contacto con la carne y el eje en la cual estará situada. La separación entre el diente y la rejilla se tomó de $5mm$, se asume una inserción promedio de

$2cm$, lo que permite establecer un promedio de carne procesada con tres dientes de $7cm^3$, por lo que cada diente procesará aproximadamente $2,3cm^3$ [8]. El número de dientes necesarios para procesar la capacidad prevista se calcula usando la ecuación (2).

$$N_d = Q_v / Q_{vd} \quad (2)$$

Donde: N_d es el número de dientes por segundo, Q_v es la capacidad volumétrica (m^3), Q_{vd} la capacidad volumétrica por diente ($cm^3/diente$), sustituyendo los valores se obtiene que N_d , redondeando, es $151dientes/s$, los mismos van a girar una vuelta por segundo ($60rpm$).

Para conocer el espacio ocupado por las cuchillas es necesario calcularlo con la ecuación (3), basada en la geometría de las mismas.

$$E_{oc} = (E_d + 2S_{dr} + A_r) N_d - 15 \quad (3)$$

Donde: E_{oc} es el espacio ocupado por las cuchillas (mm), E_d el ancho del diente ($4mm$), S_{dr} separación entre la pared del diente y la rejilla ($5mm$), A_r ancho de la rejilla ($5mm$), sustituyendo en la ecuación (3), se tiene $E_{oc} = 2.854mm$

Esta longitud no es conveniente para el diseño, por lo que se establece una configuración de tres dientes por cada cuchilla (un diente cada 120°), 17 cuchillas y $180rpm$, lo que da como espacio $308mm$, aceptable para el diseño. Las 17 cuchillas se posicionarán sobre el eje en dos distribuciones, una primera distribución de 9 cuchillas distanciadas una de otra $30mm$ y una segunda distribución de 8 cuchillas desfasadas 60° con la anterior distribución y con la misma separación entre cuchillas. En la Figura 4, se muestra una vista de perfil y planta de dicha distribución.

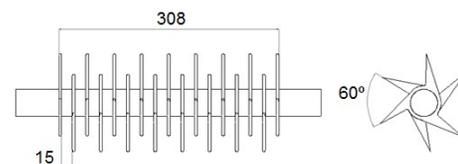


Figura 4: Vistas del conjunto deshebrador.

Velocidad de corte. Los cálculos de este proceso se realizaron haciendo una analogía con el proceso de fresado que consiste en cortar un material con movimientos rotatorios de una cuchilla de corte. Esta velocidad se calcula con la ecuación (4) [10].

$$V_c = \frac{D\pi N}{1.000} \quad (4)$$

Donde: V_c es la velocidad de corte (m/min), N es la velocidad de rotación (rpm), D es el diámetro mayor de la herramienta (mm), este diámetro se puede calcular con la ecuación (5) basado en la configuración en detalle de la cuchilla mostrada en la Figura 5.

$$D = \left(45 + 5 + \frac{D_e}{2}\right)2 \quad (5)$$

Donde: D_e representa el diámetro del eje (mm).

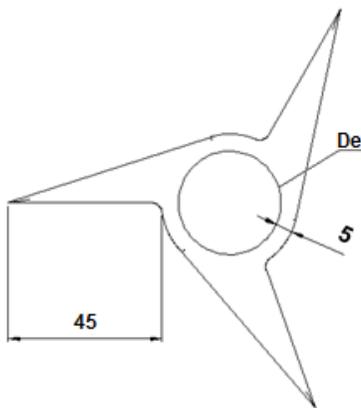


Figura 5: Configuración en detalle de la cuchilla.

Asumiendo un diámetro comercial de 38,10mm ($1 \frac{1}{2}$ pulg.) y sustituyendo en la ecuación (5) se obtiene $D = 138,1mm$, sustituyendo éste en la ecuación (4) se tiene $V_c = 78,09m/min$. Es importante resaltar que esta velocidad representa la mínima velocidad, con esta configuración de cuchillas, para satisfacer la capacidad volumétrica de carne que debe procesar el equipo. Esta velocidad se probó con un prototipo del equipo como el mostrado en la Figura 6, donde se varió la velocidad de giro con la ayuda de un regulador de intensidad de corriente [8].

La velocidad de giro se varió hasta que el equipo fuese capaz de procesar la carne y se



Figura 6: Prototipo deshebrador de carne.

podiese obtener un producto de calidad. Los resultados obtenidos de la prueba se presentan en la Tabla 1. De esta manera y para los cálculos siguientes se tomó como velocidad de giro del motor $700rpm$ que se encuentra disponible en el mercado nacional.

Depósito de carne. El depósito de carne con su rejilla junto con el eje con cuchillas, forman el sistema de rasgado de la carne, su función principal es la de no permitir que caigan pedazos grandes de carne no procesada, esto sucede una vez que la carne cae desde la tolva de alimentación. La configuración diseñada se muestra en la Figura 7, el ancho del contenedor se establece en $200mm$ en función de tener un diseño ergonómico y la sección transversal es un cuarto de elipse. Con esta geometría se calcula el ancho del depósito, usando la ecuación (6)

$$V = \frac{\pi ab}{4}l \quad (6)$$

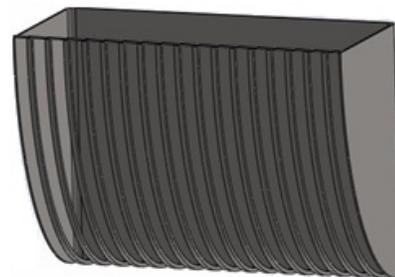


Figura 7: Configuración del depósito de carne.

Donde, V es el volumen a procesar; según la capacidad volumétrica del equipo debe procesar

Tabla 1: Resultados de la prueba con el prototipo.

Rango de velocidad de giro (rpm)	Observaciones
180 - 350	Producto deficiente, la mayoría de las hebras de grosor mayor a 10 mm.
350 - 600	Intermitencia en la calidad del producto, 30 % de hebras con buen espesor y el resto de poca calidad.
600 - 800	Producto de buena calidad, hebras con espesores menores e iguales a 5mm.
800 - 1.000	Intermitencia en la calidad del producto, 40 % de las hebras son cortadas en longitudes menores a 10 mm.

no menos de 14.000cm^3 cada 40 segundos, l es la longitud del depósito, está dado por el espacio ocupado por las cuchillas del deshebrador (308mm) más 5mm de separación de cada lado con las cuchillas (318mm), a es la longitud que delimita el ancho de la elipse (200mm). Despejando b de la ecuación (6) y sustituyendo los valores, se obtiene $b = 280\text{mm}$.

El número de rejillas dispuestas a lo largo del depósito de carne es de 16, conociendo que cada una de ellas hará la función de cuchilla fija para, de este modo, formar la trampa para carne. La Figura 8 muestra la geometría que tendrá este elemento. En los laterales del elemento, se muestran dos manillas de acero inoxidable. Los planos del depósito se encuentran en Uzcátegui [8].

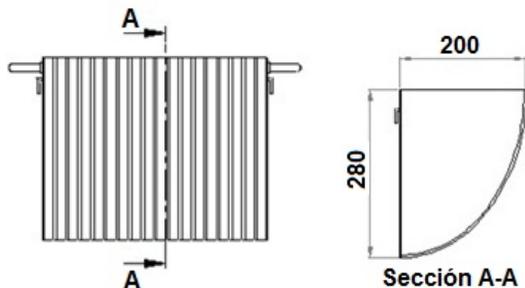


Figura 8: Geometría y distribución de rejillas del elemento depósito de carne.

Motorreductor. Para seleccionar el motorreductor se necesita calcular la potencia consumida por el eje del conjunto deshebrador, este cálculo se realiza en Uzcátegui [8], del que se obtiene que el motorreductor necesita un motor de 5 hp ($3,72\text{ W}$) y una velocidad de giro de 700 rpm .

Diseño del eje. Según configuración del sistema planteado la Figura 9 muestra el diseño del eje, el cual cuenta con un anillo de sujeción en el punto B y un cuñero de perfil en el punto C. Para el diseño del eje se estudiaron todas las cargas presentes en el mismo, las cuales son generadas por: la fuerza de corte (F_c), el peso de la carne (ω_c) y las reacciones sobre los rodamientos. Tomando en consideración que en el eje existen dos distribuciones de cuchillas (desfasadas 60°), una de 9 cuchillas y la otra de 8, se hicieron estudios de cargas para cada distribución, en función de hallar la sección más crítica [8]. La distribución de las fuerzas sobre la cuchilla y el eje se muestran en la Figura 10.



Figura 9: Diseño del eje.

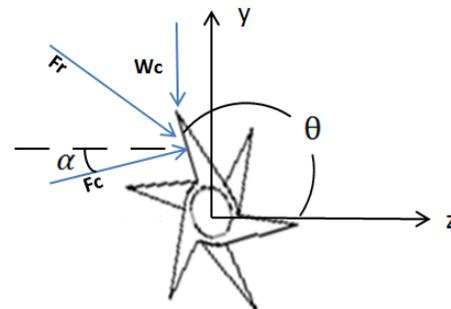


Figura 10: Diagrama de fuerzas sobre la cuchilla.

El peso de la carne (ω_c) se toma asumiendo que el contenedor de carne está lleno (14.000cm^3) y éste está distribuido uniformemente en las 17 cuchillas, dividiéndolo entre el volumen específico promedio obtenido en Uzcátegui [8], entonces el peso total de la carne es $\omega_t = 166\text{N}$, por lo que el peso sobre cada cuchilla es: $\omega_c = 9,76\text{N} \approx 9,8\text{N}$.

Para el diseño del eje es necesario conocer el ángulo donde la fuerza resultante (F_r) es mayor. Para esto se recurre al análisis matemático mostrado en Uzcátegui [8], en el que se obtiene que la fuerza resultante depende del ángulo θ , se hace importante destacar que éste tiene un rango de variación entre $57,05^\circ$ y $175,42^\circ$, tal como lo muestra la Figura 11. Para hallar el ángulo donde la fuerza resultante es mayor, se varía θ en el rango establecido y se realiza el estudio respectivo obteniéndose que la fuerza mayor es de $104,64 N$, justo cuando el ángulo es de $57,05^\circ$. Luego se realizó el análisis sobre el eje para determinar que el diámetro del mismo es de $30 mm$ con un factor de seguridad de $4,8$ en el punto más crítico [8].

Elementos varios. Se selecciona un rodamiento con soporte de pie tipo PLE200 relubricable luego de realizar los cálculos necesarios asumiendo 8 horas diarias de trabajo por un periodo de 10 años [8]. Los soportes con rodamiento SNR, como el seleccionado no necesita ser lubricado, pues son lubricados de forma permanente, y en este caso no son sometidos a condiciones de carga ni ambientales extremas. En Uzcátegui [8] se presentan los cálculos y selección de los diversos elementos de máquinas que forman parte del sistema diseñado, así como los planos de cada elemento diseñado.

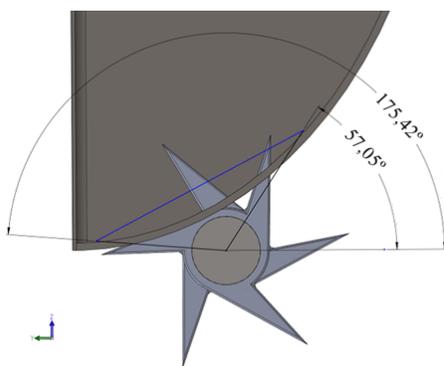


Figura 11: Rango del ángulo θ donde actúa la cuchilla.

4.4.2. Estructura

Carga que soporta la estructura. La estructura total que soporta todas las cargas está formada por la mesa de apoyo y la carcasa (Figura 2).

Las cargas soportadas por esta estructura son: el peso del eje y de las cuchillas, de la carcasa, del depósito lleno de carne, de la tolva, de las tapas (frontal, superior y laterales), de las chumaceras, del acople, del motorreductor y de la bandeja llena de carne. Luego del estudio efectuado en Uzcátegui [8] se presentan los resultados en la Tabla 2.

4.4.3. Análisis de esfuerzos

Para realizar este estudio se recurre al uso de un software de tipo CAD/CAE, esto en función de conocer la deformación y los esfuerzos presentes, para dicho análisis se aplican condiciones de restricciones y cargas propias para cada uno de estos elementos, y una vez obtenidos estos valores se realiza el estudio de convergencia obteniendo así el mallado óptimo [11]. Para posteriormente, llevar a cabo la discretización de cada pieza utilizando elementos tetraédricos de segundo orden, debido a que en el diseño abundan las caras curvas, y este tipo de elemento posee la capacidad de adaptarse de forma más precisa a geometrías curvilíneas. Luego se calcula el factor de seguridad respectivo.

Tabla 2: Distribución de pesos de los diversos componentes [8].

Elemento soporte	Elementos a soportar	Peso del elemento a soportar (N)	Carga total (N)
Base derecha	Tapa lateral derecha	58,80	609,36
	Chumacera	13,72	
	Motorreductor	499,80	
	Acople	9,80	
	½ Eje con cuchillas	27,24	
Base izquierda	Tapa lateral izquierda	28,42	69,38
	Chumacera	13,72	
	½ Eje con cuchillas	27,24	
Carcasa	Tapa superior con manilla	19,60	286,53
	Tapa Frontal	31,36	
	Tolva de alimentación	27,14	
	Depósito lleno de carne	208,43	
Soporte bandeja	Bandeja llena de carne	201,00	201,00
Carga total			1.166,27

Cuchillas. Se realiza un análisis de tipo estático, en el instante donde las cargas actuantes sobre la pieza sean las máximas. En este caso por ser dinámico el sistema, se debe tener en cuenta que el factor de seguridad en esta pieza debe ser suficiente para garantizar confiabilidad (valor > 4) ante la presencia de fatiga en la pieza. Las cargas aplicadas proceden de la fuerza resultante debido a la fuerza de corte y del peso de la carne en el punto donde ésta sea mayor (104,64N), aplicada sobre una de las caras de corte de la cuchilla. La restricción seleccionada es del tipo fija ubicada sobre la cara interna de la cuchilla (Figura 12).

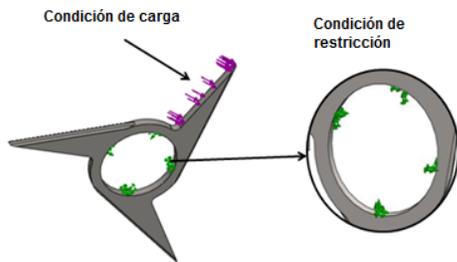


Figura 12: Condiciones de carga y restricción en la cuchilla.

El número de elementos del mallado óptimo es 26.565, el esfuerzo máximo de von Mises es 34,686MPa, y el desplazamiento máximo es 0,03562mm. En virtud de optimizar el diseño de la cuchilla, notando un importante concentrador de esfuerzos en la punta del diente, se procede a realizar el mismo análisis (de elementos finitos) a la pieza con los bordes redondeados a un ancho de 2mm, tal y como se muestra en la Figura 13, dando como resultado que el número de elementos es 43450, el esfuerzo máximo de von Mises de 31,59MPa (Figura 14) y el desplazamiento 0,0161mm (Figura 15).

Los desplazamientos con este diseño se reducen en un 50 % con respecto al modelo original, esto es de entender, conociendo que la sección transversal aumentó, además los esfuerzos sobre toda la cuchilla disminuyen, entonces, se puede decir que esta nueva geometría logra distribuir mejor los esfuerzos sobre la pieza. Una vez determinado el esfuerzo se determina el factor de seguridad a través de la ecuación (7) [12].

$$N_f = \frac{S_y}{\sigma_{vm}} \quad (7)$$

Donde: N_f es el factor de seguridad, S_y es el esfuerzo del material de la cuchilla (acero AISI 316) [12] y σ_{vm} el esfuerzo máximo de von Mises, sustituyendo las variables por sus valores respectivos se tiene que el factor de seguridad es 5,44.

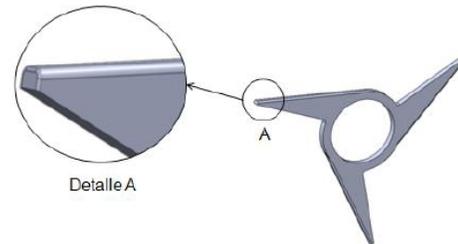


Figura 13: Rediseño de la punta del diente de la cuchilla.

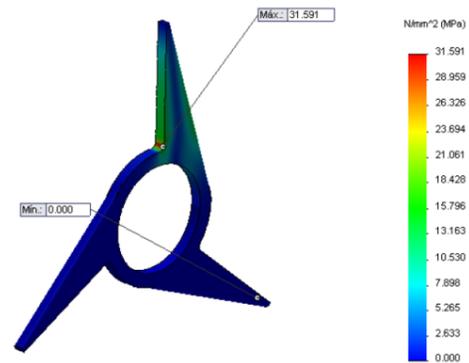


Figura 14: Resultados de los esfuerzos de von Mises (MPa) en la cuchilla.

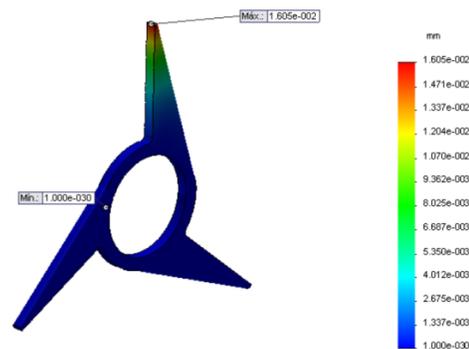


Figura 15: Resultados de los desplazamientos (mm) presentes en la cuchilla.

Rejillas. La carga es generada por la fuerza de corte (98,98N) aplicada de forma vertical sobre la rejilla, carga debido al peso de la carne, el cual

cae en su mayoría sobre las cuchillas y el eje, entonces, el porcentaje de carne que cae sobre las rejillas es igual al porcentaje del área “A1” sobre el área de la sección transversal total Figura 16. Donde $A1$ es el área donde cae la carne en las rejillas y es igual a $16.715,65mm^2$ y el área total de la sección transversal del depósito de carne es $A_t = 43.982,29mm^2$ (véase diseño de depósito).

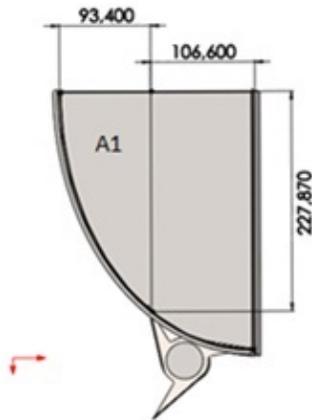


Figura 16: Áreas de la sección transversal para el estudio de cargas.

Entonces el área $A1$ representa un 38 % del área total, esto dice que el mismo porcentaje es la cantidad de carne que cae sobre las rejillas. El peso debido a la carne P_c se calcula con la ecuación (8).

$$P_c = 0,38P_{tc} \quad (8)$$

Donde, P_{tc} es el peso total de la carne ($166N$), sustituyendo en la ecuación (8) se tiene que $P_c = 63 N$, entonces el peso sobre cada rejilla es $63 N / 16 = 3,94 N$. La restricción es del tipo fija ubicada sobre las caras planas inferior y superior, esto debido a que éstas están soldadas al depósito de carne. Las cargas y restricciones aplicadas a la rejilla se muestran en la Figura 17.

El número total de elementos es de 10.840. La Figura 18 muestra los esfuerzos de von Mises presentes, dando como máximo esfuerzo $47,093MPa$, la Figura 19 muestra el desplazamiento máximo que es $0,1553mm$. Luego se calcula el factor de seguridad usando la ecuación (7), donde el material de la rejilla es acero AISI 316 [12], que para este caso es 3,65.

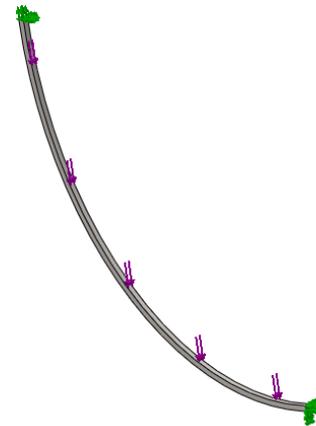


Figura 17: Cargas y restricciones en la rejilla.

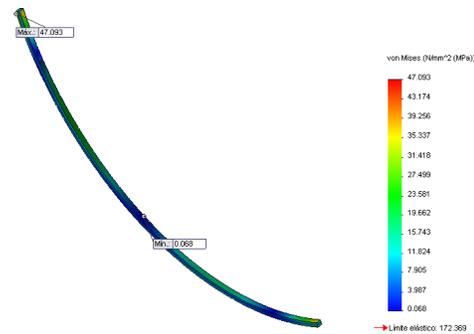


Figura 18: Resultado de los esfuerzos de von Mises para la rejilla.

Estructura soporte. Las cargas aplicadas a la estructura soporte son: sobre la base lateral derecha $609,36 N$, sobre la base izquierda $69,38 N$ y sobre la carcasa $286,53 N$ (véase Tabla 2). La restricción es del tipo fija ubicada sobre las patas de la mesa; las cargas y restricciones que actúan sobre la mesa se muestran en la Figura 20.

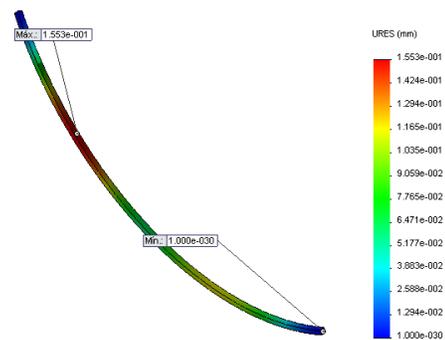


Figura 19: Resultados de los desplazamientos para la rejilla.

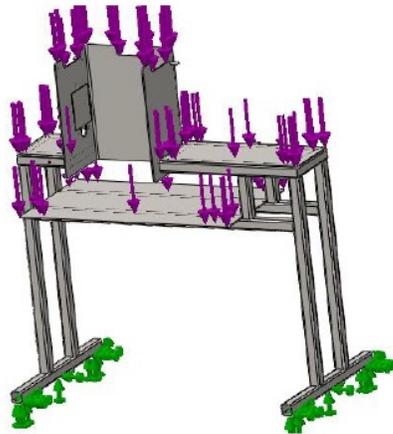


Figura 20: Condiciones de carga y restricción aplicadas sobre la estructura.

El número total de elementos es 174.562. Las Figura 21 y 22 muestran respectivamente los esfuerzos de von Mises y los desplazamientos presentes, cuyos valores máximos son $68,34MPa$ y $0,275mm$. El factor de seguridad (ecuación (7)) es 4,03 conociendo que los tubos estructurales son de acero inoxidable AISI 304 ($S_y = 276 MPa$) [13].

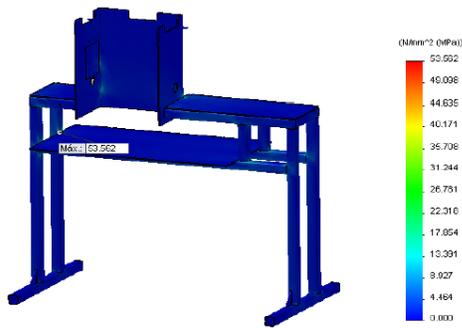


Figura 21: Resultados de los de esfuerzos de von Mises para la estructura.

Diseño de las soldaduras. Las cuchillas están unidas permanentemente al eje por medio de un cordón de soldadura a tope, la carcasa está unida a la estructura por medio de un cordón de soldadura de $3mm$ de altura, y la unión de las vigas y las columnas (parte inferior de la estructura) se realiza con un cordón de soldadura a ambos lados [13], el tipo de electrodo y los cálculos de las soldaduras están en Uzcátegui [8].

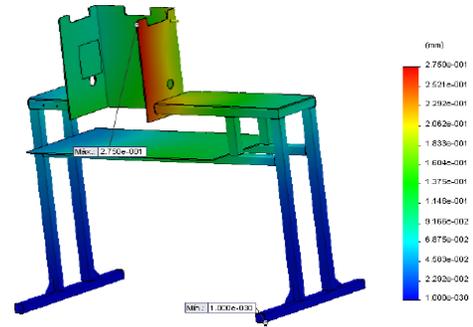


Figura 22: Resultados de los desplazamientos para la estructura.

4.4.4. *Evaluación de volcamiento*

Se realiza esta evaluación para conocer el comportamiento de la máquina como estructura, bajo la influencia de la carga de apoyo de una persona de estatura promedio de $1,80m$ y peso de $100kg$, suponiendo que ésta apoya $1/3$ de su peso con un ángulo de 45° . La carga de apoyo y dimensiones de la máquina se muestran en la Figura 23. Para este cálculo se asume como condición crítica, que la máquina se encuentra vacía (sin alimento). El peso total de la máquina es $1.222,16 N$ [8].

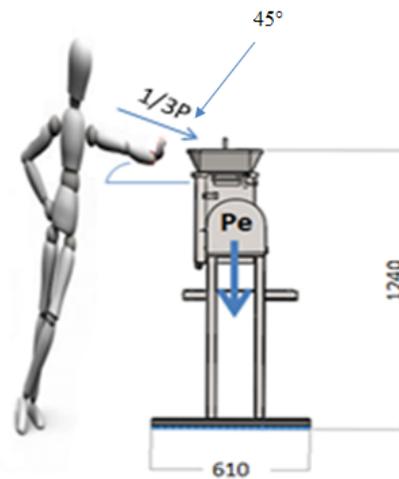


Figura 23: Carga de apoyo y dimensiones de la máquina.

La carga debido al peso de la persona se descompone en sus componentes $Q_x = 231N$ y $Q_y = 231N$

El análisis de volcamiento se hace con la relación (9) obtenida de Bernal [14].

$$M_v < M_{rv} \tag{9}$$

Donde: M_v es el momento de volcamiento; el cual es el producto entre la carga que produce volcamiento (Q_x) y la altura donde está aplicada (1,24m, Figura 23).

$$M_v = 293,88Nm$$

M_{rv} es el momento de reacción al volcamiento; que es el producto entre la carga vertical en la estructura ($P_e + Q_y$) y la distancia entre el centro de masa y el punto de volcamiento (0,610m/2, Figura 23).

$$M_{rv} = 436Nm$$

De la relación (9) se tiene que $293,88Nm < 436Nm$, lo que indica que la máquina no volcará bajo la presencia de cargas como las aplicadas en este estudio.

En la Figura 24 se muestra el equipo diseñado realizado con un programa CAD/CAE, en donde se puede observar el equipo ensamblado y la parte interna con las cuchillas para desgarrar la carne.

5. Conclusiones

Se identificaron las variables requeridas por el proceso de deshebrado de carne, resultando como las más relevantes el tiempo de producción, la capacidad de procesado de carne y la calidad de la carne deshebrada. El peso y el volumen específico de la carne, fueron las propiedades que influyeron en mayor medida en el diseño de todos los elementos del proyecto. Se construyó un prototipo para determinar la velocidad de giro del equipo para lograr la medida de la hebra requerida. La máquina diseñada es capaz de deshebrar el tipo de corte de carne de res cocida requerida, en trozos de hasta 500 gramos, a una tasa de 1.500kg por hora con una hebra de carne con un espesor y ancho menor o igual a 5mm, pudiendo satisfacer la demanda del comedor. El factor de seguridad es notablemente satisfactorio para el caso de la cuchilla ($N_f > 4$) y en la rejilla ($N_f > 2$), así como para la estructura ($N_f > 4$). Se determinó que la estructura no vuelca, lo que repercute en la seguridad del usuario.



(a) Equipo ensamblado



(b) Vista sin tapa frontal del depósito

Figura 24: Equipo diseñado realizado con un programa CAD/CAE.

Referencias

- [1] C. W. de Silva and N. Wickramarachchi. An innovative machine for automated cutting of fish. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2(2):86–98, June 1997.
- [2] B. Heck. Automated chicken processing: machine vision and water-jet cutting for optimized performance. *IEEE Control Systems*, 26(3):17–19, June 2006.
- [3] Miranda C. R., S. Salcedo T., C. O. Ríos G. y O. L. Solís C. Máquina peladora, trituradora y procesadora de fruta para la elaboración de mermelada. In *EXPODIME 12*. Universidad de Guadalajara, 2002.
- [4] Achim Holz. Máquina cortadora de alimentos. ES Patent ES 2 253 801 T3, Oficina Española de Patentes y Marcas, 1999.
- [5] Marcelo Vinicio Gavilanes F. y Carlos Aníbal Rea Cabezas. Diseño de equipos para el procesamiento de la papa china. Trabajo Especial de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2009.
- [6] D. A. Smith. Small-scale food equipment. Food

processing for entrepreneurs series. *NebGuide*, G1687, January 2007.

- [7] Ministerio de Sanidad y Asistencia Social. Buenas prácticas de fabricación, almacenamiento y transporte de alimentos para consumo humano. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, N°36081:8–15, Noviembre 1996.
- [8] O. Uzcátegui. Diseño de una máquina para mechar carne en un comedor industrial. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, 2013.
- [9] EHEDG. Criterios para el diseño higiénico de equipos. Tech report, European Hygienic Engineering and Design Group, Abril 2004.
- [10] Richard A. Flinn y Paul K. Trojan. *Materiales de ingeniería y sus aplicaciones*. McGraw-Hill, 1989.
- [11] O. C. Zienkiewicz. *El método de los elementos finitos*. Reverté, 1981.
- [12] R. Norton. *Diseño de máquinas*. Prentice-Hall, primera edición, 1999.
- [13] R. Budynas y J. Nisbett. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill, octava edición, 2008.
- [14] Jorge Bernal. *Hormigón armado: Estructuras. Introducción*. Nobuko, , Buenos Aires, Argentina, 1^{era} edición, 2005.