

Diseño y construcción de un prototipo de máquina tostadora de café portable con capacidad de 10 kg para los pequeños caficultores en el municipio de Los Andes, Sotomayor.

DELGADO RENGIFO, Carlos Alberto – MORA CAICEDO, Daniel Alejandro
carlosdelgado1199@gmail.com – koldamc16@hotmail.com

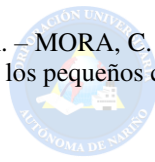
Resumen— En el Departamento de Nariño los caficultores del municipio los Andes Sotomayor, siembran en total 960 hectáreas, de las cuales el 70 % es café para trilla o sea café tipo exportación; cada caficultor siembra en promedio 0.93 hectáreas, generando una producción de 1200 kg al año, por lo cual, los casi 900 caficultores de la zona se enfocan en sembrar café de calidad más no una cantidad exacta, ya que, si expanden sus cultivos disminuye su rentabilidad, al aumentar costos por insumos y mano de obra, dando perdidas al agricultor sin poder recuperar la inversión.

Por otro lado, existe la posibilidad de que cada caficultor pueda vender el café tostado. Para llevar acabo dicho proceso es necesario usar una máquina, de esta manera, se propone un prototipo que realiza dos procesos tostar para luego enfriar el grano, dicho prototipo está conformado por los siguientes elementos, un cilindro que es la cámara de tueste, y otro cilindro que es el depósito de enfriamiento, que en si son los que principales componentes para producir café tostado totalmente homogéneo. Para generar un mayor control de los procesos se decide implementar un sistema semiautomatizado para llevar control sobre las variables tiempo y temperatura en cada lote de tueste, con ayuda de una pantalla táctil que permite establecer la temperatura máxima a la que llega la cámara de tueste, así se brinda un tueste adecuado al grano, además, el prototipo puede despiezarse para ser

transportado con facilidad por las vías de difícil acceso del municipio. Al construir un prototipo de máquina tostadora de café portable se puede ayudar a los pequeños caficultores, mejorando sus ingresos económicos, en menor tiempo a menor costo sin tener que recurrir a las tostadoras locales, que generan poca confiabilidad, debido a la combinación de todo tipo de café de manera inadecuada, cabe recalcar que, si no se cuida el grano desde la cosecha hasta el proceso de tostado, el café tendrá una tendencia a disminuir y perder sus propiedades organolépticas.

Abstract - In the Department of Nariño, the coffee growers of the Los Sotomayor municipality plant a total of 960 hectares, of which 70% is threshing coffee or export type coffee; each coffee farmer plants an average of 0.93 hectares, generating a production of 1200 kg per year, for which reason, the almost 900 coffee farmers in the area focus on planting quality coffee but not an exact quantity, since, if they expand their crops, their profitability, by increasing costs for inputs and labor, giving losses to the farmer without being able to recover the investment.

On the other hand, there is the possibility that each coffee farmer can sell roasted coffee. To carry out this process it is necessary to use a machine, in this way, a prototype is proposed that carries out two toasting processes to then cool the grain, said



prototype is made up of the following elements, a cylinder that is the roasting chamber, and another cylinder that is the cooling tank, which in themselves are the main components to produce fully homogeneous roasted coffee. In order to generate greater control of the processes, it was decided to implement a semi-automated system to control the time and temperature variables in each roasting batch, with the help of a touch screen that allows setting the maximum temperature at which the roasting chamber reaches, this provides a proper roasting to the grain, in addition, the prototype can be broken down to be easily transported along the roads that are difficult to access in the municipality. By building a prototype of a portable coffee roaster, small coffee farmers can be helped, improving their economic income, in less time at a lower cost, without having to resort to local roasters, which generate little reliability, due to the combination of all types of coffee improperly, it should be emphasized that, if the grain is not cared for from the harvest to the roasting process, the coffee will have a tendency to decrease and lose its organoleptic properties.

Índice de Términos

- Lote, bache o batch: cantidad de café a tostar por el prototipo
- Barista: persona especialista tostando café, en el proyecto brinda apoyo para evaluar las características del café después de tostarlo.
- Características organolépticas: son características como olor, sabor, textura, color, las cuales determinan un alimento en especial, en el caso del proyecto son las características de cada café.
- Convección: Método para transferir calor, los líquidos y gases por medio de la convección transfieren calor, este es el método para calentar el cilindro en el que se tuesta el café.
- Desecación: procedimiento físico para reducir la

humedad de un producto, con el fin de prevenir daños de la materia prima, esta es una de las fases por la cual pasa el café.

-Escala Agtron: es una referencia de puntos para clasificar tanto grado como color de diferentes tipos de tueste del grano de café, es el sistema de apoyo para determinar el tipo de tueste del café.

-Motorreductor: son elementos formados por engranajes, reducen la velocidad de motores eléctricos, este elemento transmite al eje del cilindro de tueste la velocidad necesaria.

-Pirolisis: descomposición de materia orgánica y demás materias, menos metales y vidrios, a causa de calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno; es el cambio que sufre el café al comenzar el proceso de tueste.

-Portable: objeto fácil de transportar de un lugar a otro, es una de las características del prototipo de máquina tostadora de café.

-Proceso endotérmico: reacción química que absorbe energía, se presenta cuando existe un incremento de entalpía o ΔH positivo. Por lo tanto, la energía que poseen los productos es mayor a la de los reactivos, este es el proceso térmico al cual se somete el café para ser tostado.

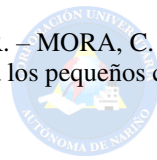
-Proceso exotérmico: proceso en el cual un sistema libera energía a su entorno, habitualmente como calor, este proceso sucede al momento de calentar el cilindro de tueste

-Radiación térmica: a cierta temperatura la materia irradia energía emitiendo calor en varias direcciones, transfiriendo energía al propagarse por el espacio, de esta manera se calienta el cilindro de tueste.

-Torrefacto: tueste con azúcar, posee sabores intensos y amargos.

-Tostadora: aparato para tostar alimentos como el café o algunos granos similares.

-Transferencia de calor: intercambio de energía, específicamente de calor entre dos o más cuerpos que están a diferente temperatura.

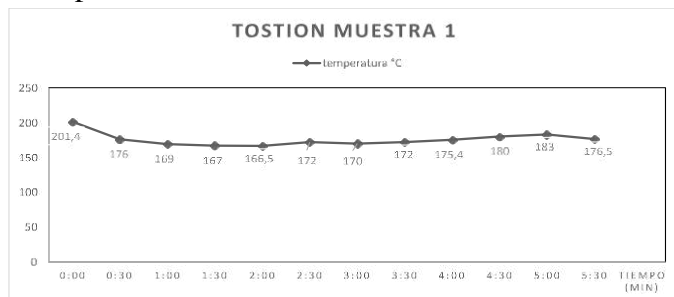


- Tueste: secar un alimento sin quemarlo, además, debe tener un color dorado y una textura crujiente.
- Sprocket: piñón de la rueda de un mecanismo o rueda dentada, ya sea en una transmisión directa por engranaje o indirecta a través de una cadena de transmisión.

Introducción

El presente proyecto está enfocado en la aplicación de la ingeniería mecánica, en la mejora de procesos de tostado de café. Este prototipo tostador de café surgió de la problemática que envuelve a los pequeños caficultores del municipio de los andes Sotomayor, para los cuales la producción de café no es rentable económicamente debido a la baja producción, además de elevados costos de mano de obra e insumos agrícolas, lo cual provoca poco beneficio al momento de comercializar el café.

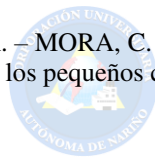
Por otra parte, el proceso de tostado del café se puede ver afectado debido al proceso de cosecha, lavado y secado, procesos que si se manejan de manera negligente por parte de los manipuladores se generara un café de baja calidad. Todas las características de un excelente tostado se ven reducidas al manipular las variables temperatura y tiempo, ya que, por medio de estas se logra el tipo de tueste adecuado para cada café en especial. Este proceso no es 100% efectivo, si el café no está en su punto mínimo de humedad, el cual es de 5% a 8%, si sucede esto puede que los tiempos aumenten y por ende se perdería la curva de tostado ideal para ese tipo de café.



Perfil de tosti3n de la muestra N° 1

En el Departamento de Nariño los caficultores del municipio los Andes Sotomayor, siembran en total 960 hectáreas, de las cuales el 70 % es café para trilla o sea café tipo exportación; cada caficultor siembra en promedio 0.93 hectáreas, generando una producción de 1200 kg al año considerándose una producción baja, por lo cual, los casi 900 caficultores de la zona se enfocan en sembrar café de calidad más no una cantidad exacta, ya que, si expanden sus cultivos disminuye su rentabilidad, al aumentar costos por insumos y mano de obra, dando perdidas al agricultor sin poder recuperar la inversión, por tal motivo producen café de alta calidad con características únicas, cuyas tasas superan los 85 puntos de acuerdo a calificaciones para cafés especiales.

Por otro lado, existe la posibilidad de que cada caficultor pueda vender el café tostado, al darle un valor agregado al grano eleva su precio, beneficiando al productor de café. Para llevar acabo dicho proceso es necesario usar una máquina segura que brinde la posibilidad de tostar café sin causar peligro al operario, de esta manera, se propone un prototipo que cumple dos procesos tostar para luego enfriar el café, conformado por los siguientes elementos, un cilindro que es la cámara de tueste, y otro cilindro que es el depósito de enfriamiento, que en si son los principales componentes para producir café tostado totalmente homogéneo. Para generar un mayor control de los procesos se decide implementar un sistema semiautomatizado para llevar control sobre las variables tiempo y temperatura en cada lote de tueste, con ayuda de una pantalla táctil que permite establecer la temperatura máxima a la que llega la cámara de tueste, según el tipo de tostado requerido, quien se encarga de modificar dichas variables es el caficultor, podrá determinar el tueste idóneo según el tipo de café cosechado, otorgándole a este un mejor tueste de acuerdo con las características organolépticas del grano.



Es válido resaltar que el diseño de este prototipo se basa en que las vías de acceso al municipio son intransitables, siendo esta la principal razón por la cual se diseña y construye un prototipo de máquina portable, este prototipo puede despiezarse para ser transportado fácilmente de forma segura, de esta manera mejorar la calidad de vida y la rentabilidad económica de este producto para beneficio del caficultor, ya que estos podrán tostar adecuadamente café en sus fincas, posteriormente podrán venderlo a un precio razonable remunerando lo invertido en producción, generando ganancias a los productores, además, se tiene en cuenta la producción baja de café verde por cada caficultor de la zona para determinar la capacidad de la máquina siendo 10 kg el lote de café a tostar.



Render de tostadora de café portable.

Con el desarrollo de este prototipo se generará un gran impacto tanto económico como social en Los Andes Sotomayor, ya que, mejora la calidad de vida de pequeños caficultores; por ahora el café sólo lo comercializan en la cooperativa de cafeteros de occidente al igual que en la federación nacional de cafeteros quienes pagan por cada kilo de café verde un valor igual a \$5.420 pesos colombianos, sin embargo, cafeteros podrán tostar café para luego comercializarlo con valores equivalentes a \$10.097 COP; si se tiene en cuenta que el auge de los cafés especiales ha abierto una gran oportunidad de negocio, se puede aprovechar ésta circunstancia, para generar opciones de trabajo e ingresos

económicos a la zona, todo esto gracias al valor agregado que pueden dar cosechadores al tostarlo sin intervención de productos químicos, ni procesos que alteren la calidad y sabor del café.

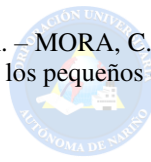
I. PROCEDIMIENTO PARA LA SUMISIÓN DEL DOCUMENTO

A. Cálculos

Analizando la importancia que tiene tostar café, se debe tener en cuenta la mezcla controlada de temperatura con tiempo, por lo tanto, un tostado fuerte sin control produce café amargo con poco aroma. Por otro lado, un tostado ligero no es suficiente para que el grano gane propiedades, produciéndose un café marrón claro, con rasgos organolépticos rezagados. La temperatura de tostación puede variar típicamente entre 180°C a 240°C por lapsos de tiempo que van desde 10 a 35 minutos

El criterio parte del cálculo del flujo de calor que sale de la cámara de tostado, también del flujo de calor aprovechado, luego se procede a calcular el flujo necesario para el tostado de los 10 kg de café, como paso a seguir se determina el flujo másico; un valor importante para tener en cuenta es el calor específico del café que depende directamente del contenido de humedad del café menor a 8%, continuando se debe calcular la cantidad de energía requerida para tostar el café, esta vez teniendo en cuenta la $T^{\circ}\text{min}$ y la $T^{\circ}\text{max}$, el siguiente procedimiento es calcular la energía total perdida, para luego finalizar calculando la energía total que se suministra a la tostadora.

A continuación, se mencionan las formulas usadas para el diseño de la cámara de combustión y la energía calorífica necesaria para tostar el café.



- Cálculo longitud de la cámara de tostado:

$$L = \frac{V_T}{0.7854 * D^2}$$

- Área de la cámara de tostado:

$$A = 2\pi * r * l$$

- Cálculo de flujo necesario:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{ter}}$$

- Cálculo del flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta T}$$

- Cálculo del calor específico del café:

$$C_p = 1,3556 + 5,7859M$$

- Cantidad de flujo aprovechado:

$$q_{aprov} = m * C_p * (T_i - T_{amb})$$

- Cálculo de la energía total:

$$q_{tot} = q_{aprov} + q_{perd}$$

Generar la energía calórica para tostar 10 kilos de café requiere un quemador a gas infrarrojo o de alta presión que proporcione **1994.84 k.cal/h** con esta cantidad de energía es suficiente para dar un tueste homogéneo a los 10 kilos de café.



Café tostado sometido al golpe de enfriamiento.

II. ANÁLISIS DE RESULTADO

Tipo de tostado con respectivos tiempos y temperaturas

De acuerdo con la anterior tabla sobre los

Tipo de tostado	temperatura	tiempo	Característica
Tueste ligero	190°C	45 min	Tostado homogéneo en su totalidad con un color Amarillo-castaño.
Tueste medio	202 °C	12 min	Tostado homogéneo en su totalidad con un color Pardo oscuro.
Tueste oscuro	216°C	15 min	Tostado homogéneo en su totalidad con un color Café oscuro.

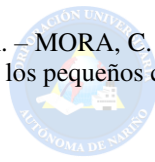
tostados logrados por el prototipo los cuales fueron manipulados de manera normal, estos mismos tuestes no pueden ser controlados en su totalidad por las tostadoras regionales donde su temperatura y tiempo se manejan a criterio del barista y no como la teoría lo dispone.

Para optimizar la situación anteriormente expuesta el prototipo cuenta con una programación que tiene la facilidad de prender los quemadores cuando la temperatura en la cámara de combustión disminuya sobre el rango establecido y de apagar los quemadores cuando la temperatura en la cámara de tueste supere el rango especificado.

1. Rango de precalentamiento de 0°C a 60 °C.
2. Rango para lograr un tostado ligero comienza en 60°C y termina 192°C.
3. Rango para lograr un tostado medio comienza en 192°C y termina 202°C.
4. Rango para lograr un tostado oscuro comienza en 202°C y termina 220°C.

La manipulación de estos rangos depende total y exclusivamente del caficultor, él determina el punto exacto de tostado a cada tipo de café.

Este tipo de rangos fueron establecidos para cafés especiales con denominación de origen, todo con el fin de que a la hora de tostar no se pierdan sus



propiedades organolépticas. Para los caficultores que no tienen experiencia en el proceso de tueste se recomienda la implementación del rango de tostado oscuro, teniendo en cuenta que es el apetecido por la mayoría de los consumidores y a los cuales se les dará una capacitación para el manejo de la máquina y poderles enseñar las diferentes tuestes para abrir mayores mercados y expandir su producto.

III. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

El proceso de construcción del prototipo de máquina tostadora de café portable con capacidad de 10 kg para los pequeños caficultores en el municipio de Los Andes, Sotomayor se llevó a cabo en las instalaciones del taller de metalmecánica en el sector de Catambuco en donde se analizó el proceso de corte y ensamblado del prototipo, empezando por el armado del cilindro de tueste, el diseño de sus aspas para hacer rotar los granos de café para lograr un movimiento uniforme, se comprobó que el café no se maltrata, también que las dimensiones del diseño planteado son las adecuadas, ya que, el café giro de manera uniforme consiguiendo un tueste homogéneo, además, se hizo una rejilla para que los gases salgan de la cámara de tueste, así se evita que el café se contamine o se ahumé, el mecanismo de movimiento tiene un motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ HP de potencia el cual hace girar un plato de engranes a 15 RPM, la cuales se consideró que eran pertinentes para que el café se tueste manera uniforme, todo con el fin de evitar atascamiento y minimizar el riesgo de quema a la hora de tostar.

Se construye un segundo cilindro que es la coraza aislante, la cual cumple una doble función, la primera es proteger al operario de cualquier quemadura y la segunda es ayudar a establecer una cámara de combustión donde el calor generado

por los quemadores se distribuirá uniformemente por todo el cilindro de tueste optimizando la transferencia de calor del prototipo.

Se realizó la construcción de los ejes los cuales soportan y transmiten el movimiento, esta fase se realizó en las instalaciones del centro internacional de producción limpia LOPE-SENA, con ayuda del profesor Jaiver Realpe, quien facilitó el torno y la fresadora para maquinarse las piezas logrando una mayor precisión en estas, para no tener inconveniente a la hora de ensamblar el prototipo.

Se realiza un primer ensamble que une el cilindro de tueste, la coraza aislada, los dos ejes y el motor eléctrico que, por medio de una cadena y dos engranajes, transmite el movimiento rotatorio a la cámara de tueste.

Las pruebas realizadas al sistema de transmisión de potencia estuvieron basadas en que el movimiento rotatorio tendría que ser lento y estable para un óptimo tueste sin maltrato al café de ninguna forma.

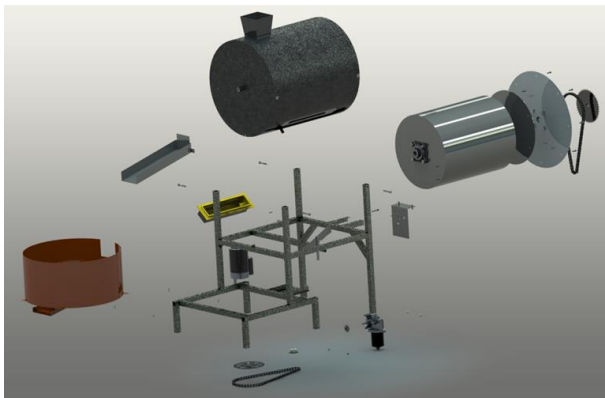
Otra prueba que se llevó a cabo es la del sistema de transferencia de calor y lo eficiente que llegaría a ser la coraza aislada, todo con el fin de que no se pierda calor en la cámara de combustión y que la coraza se vuelva un riesgo por quemadura para el operario.

Caracterización de tiempos y temperaturas por lote de tostado.

Con el objetivo de conocer el tiempo y las temperaturas de tostado que nuestro prototipo proporciona, se realizó una caracterización iniciando por el precalentamiento el cual se lo designo a una temperatura de 60°C teniendo en cuenta que es la temperatura de inicio que no afecta ningún rango de tueste, cabe señalar que el tiempo de precalentamiento ronda de 5 a 10 minutos, entendiendo que luego de esta fase se procede a introducir el café al cilindro de tostado, es en ese punto cuando el tostado empieza y el proceso es totalmente óptimo.

La tabla número 1 muestra los diferentes tipos de tostado que genero el prototipo los cuales fueron controlados por un barista quien determino que el tostado era homogéneo, así mismo, que el tipo de tueste ya dependía del café y sus propiedades organolépticas.

Durante el transcurso del ensamble del prototipo se pidió asesorías técnicas al Ing. Robinson Ortega experto en máquinas que utilizan transferencia de calor, el cual analizo el prototipo y sugirió mejoras en cuanto a la optimización del proceso, igualmente a la ergonomía del prototipo basada en el operario, de igual manera examino el sistema de transmisión de potencia, sugirió un cambio de piezas, y ajustar la relación de transmisión para optimizar el proceso.



Render en vista explosionada del prototipo de maquina tostadora de café portable

IV. CONCLUSIONES

- El cilindro de tueste gira con un motor de 12V de ½ hp de 40 rpm, el aspa del enfriador gira con un motor de 110V de 1/9 hp de 70 rpm, la fuente de calor es el GLP, cuenta con una electroválvula para el paso de gas, tiene una termocupla para censar la temperatura (°C), es portable puede desensamblarse para ser transportado fácilmente.
- Luego de realizar varias pruebas tanto de funcionamiento como de experimentación de tuestes, se deduce que los procesos de tueste y enfriamiento se realizan adecuadamente cumpliendo

con el objetivo de tostar con corrección el café para posteriormente enfriarlo.

- Se logra obtener un prototipo que cumple con las normas para procesar alimentos, se construye con materiales adecuados para tratar el café sin afectarlo
- Los materiales y elementos usados, se seleccionaron teniendo en cuenta la disposición en el mercado regional, para disminuir tanto costos como tiempos de construcción.
- La ubicación de los elementos para medir las variables garantiza el buen funcionamiento del prototipo.

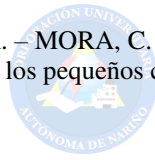
REFERENCIAS

Manual básico de buenas prácticas. (2016). Obtenido de https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf

MUNDO DEL CAFÉ. (2016). Obtenido de <https://mundodelcafe.es/granos-de-cafe/>

TecAIRE. (2019). Obtenido de <http://www.tecaire.es/wp-content/uploads/2016/10/ROASTER-TTA-140NM.jpg>

Ministerio de industrias y productividad de Ecuador. (s.f.). manual básico de buenas prácticas para el tostado del café. Obtenido de https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf



D'WASI café-tostaduría. (2019). Obtenido de <http://www.cafedwasi.com/caracteristicas-de-un-buen-cafe-de-calidad/>

Café, Campo y Ambiente. (18 de junio de 2012). Obtenido de http://4.bp.blogspot.com/-Ub1mImE74A8/T9_SqapYoeI/AAAAAAAAACE/rVxpESOc75g/s1600/2kg-+expo.JPG

MASTERCAFE. (10 de agosto de 2009). Hablando de café. Obtenido de <https://mastercafe.wordpress.com/2009/08/10/siste-mas-de-tueste-de-cafe-6690486/>

Autores

Estudiantes del Programa de Ingeniería de la Facultad de Ing. Mecánica.

PROHIBIDA SU COPIA