



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño e implementación de un molino refinador de cacao con control de temperatura para optimizar los tiempos de molienda.**

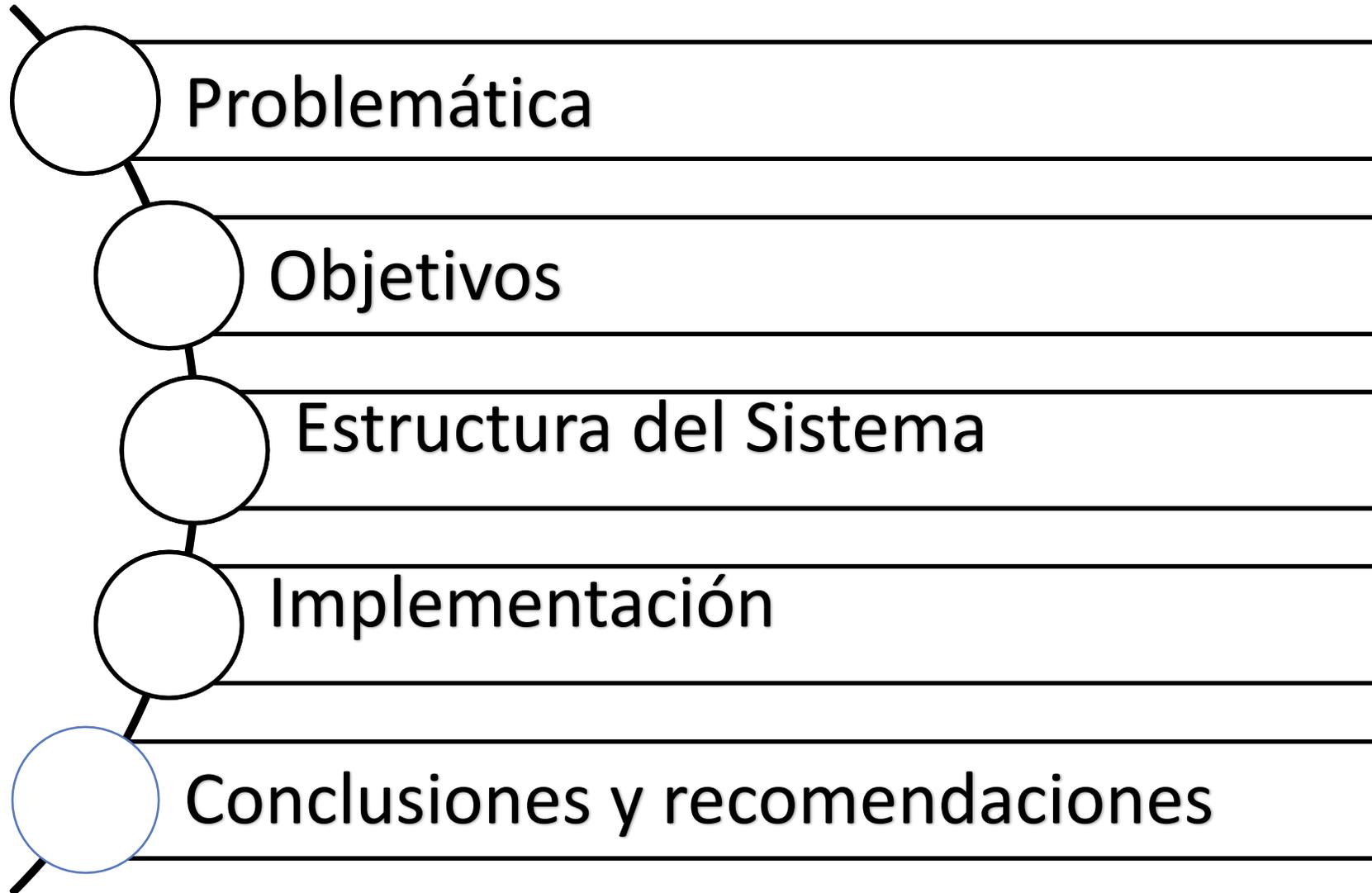
**Autor:**

Monge Herrera, Karen Estefani

**Director:** Torres Muños, Guido Rafael Mgtr.



# AGENDA



## Objetivo General

Diseñar un molino refinador de Teobroma cacao para uso de pequeños productores de procesados y semiprocesados.



# Objetivos Específicos

- Realizar una investigación del proceso de molienda de Teobroma cacao, los métodos de molienda y las variables fundamentales en procesamiento de Teobroma cacao.
- Diseñar y seleccionar elementos mecánicos
- Diseñar el control eléctrico y electrónico
- Construir un molino refinador de cacao
- Pruebas de funcionamiento



# PROBLEMÁTICA

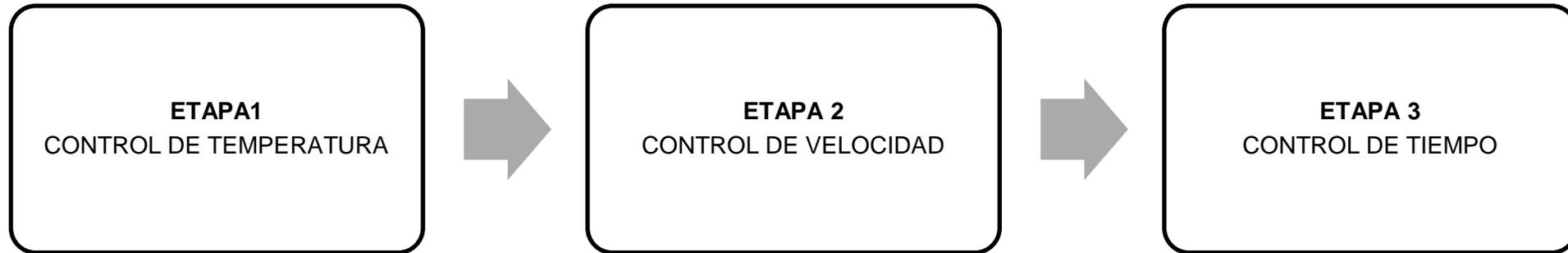
El proyecto nace de la necesidad de un molino refinador que se adapte a la molienda del cacao o pasta de cacao, se busca un diseño que nos permita obtener una pasta fluida de cacao

Se pretende generar los derivados y semi derivados, que no se obtienen debido a que se necesita más de un proceso, lo que conlleva varias máquinas que hace que el presupuesto para este fin salga del alcance de los agricultores.

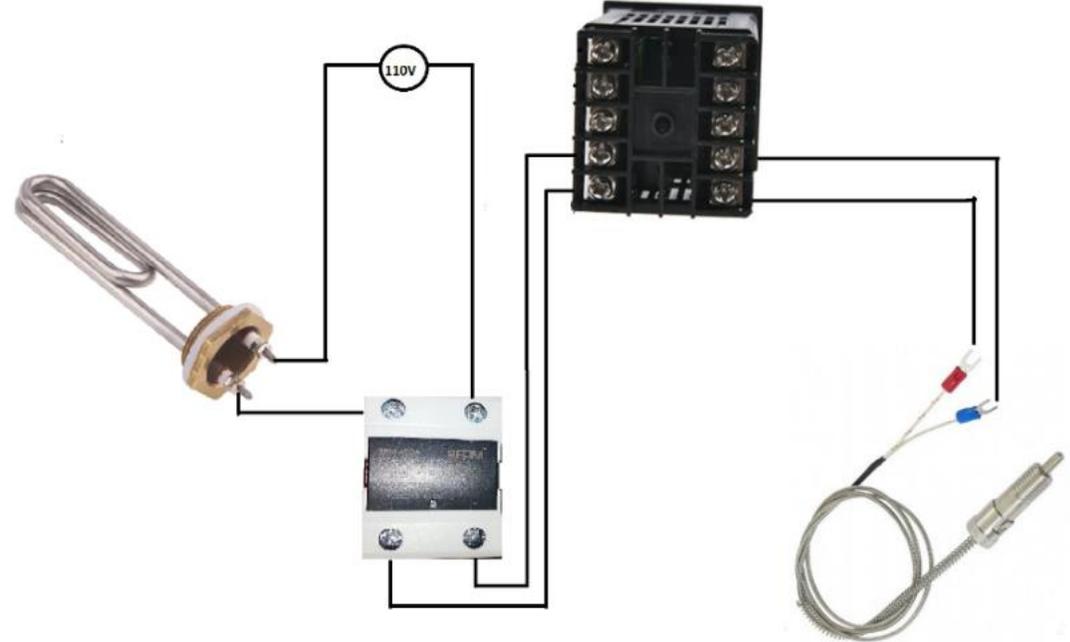
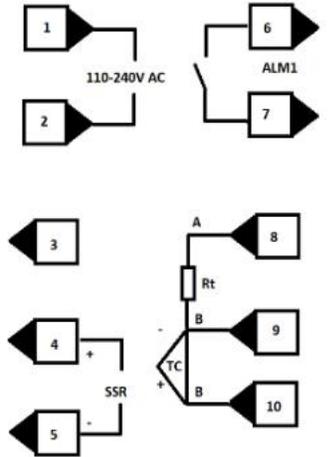
En relación a este problema se plantea la creación de un molino que se adapte a las condiciones de los pequeños agricultores y productores



# ESTRUCTURA DEL SISTEMA

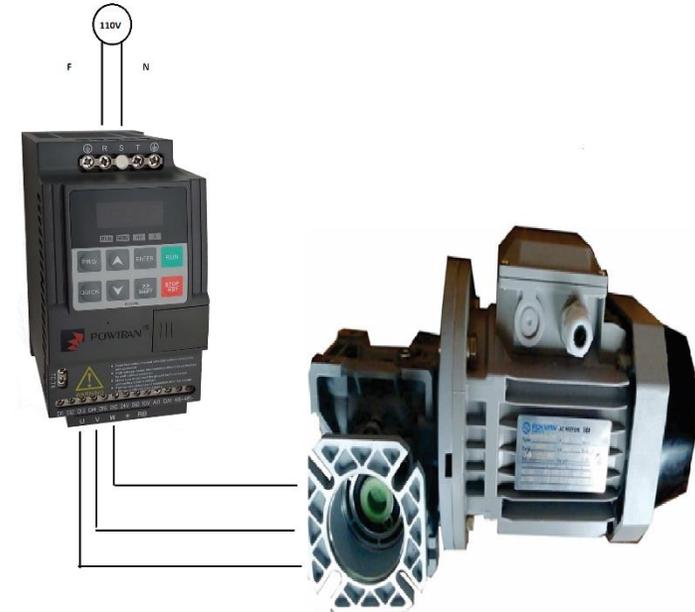


# Control de temperatura



# Control de velocidad

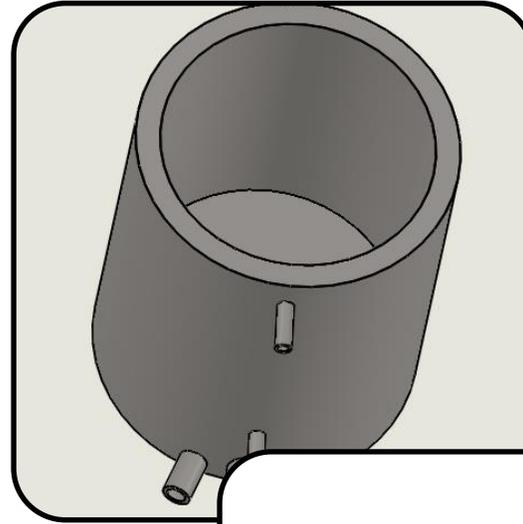
Programación de la Frecuencia del Variador		
Código	Función	Valor
F0. 01	Frecuencia de ajuste del teclado	60[Hz]
F0. 13	Tiempo de aceleración	6[seg]
F0. 14	Tiempo de desaceleración	6[seg]
F0. 15	Unidades de tiempo (segundos)	0
F0. 19	Frecuencia máxima	60[Hz]
Parámetros del Motor		
b0.01	Potencia Nominal	3,7Kw
b0.03	Corriente Nominal	A
b0.04	Frecuencia Nominal del motor	60Hz



# Parámetros de diseño



Material  
Acero Inoxidable  
304



Proporciones  
geométricas

$$\frac{H}{D} = 1$$

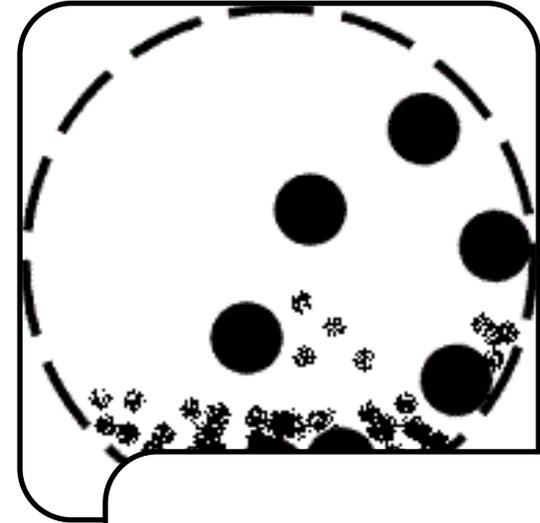


Masa de las  
esferas de  
molienda

$$m_e = V_{mol} \cdot (0,2 - 0,4) \cdot 0,6 \cdot \delta a$$



# Parámetros de diseño



Volumen de las  
esferas de  
molienda dentro  
de la cuba

$$V_e = V_e + 0,40V_e$$

Masa de la pasta  
de cacao a moler

$$MP = VC \cdot \delta p$$

Velocidad critica

$$\omega_c = \frac{42,3}{\sqrt{D}}$$



# Parámetros de diseño

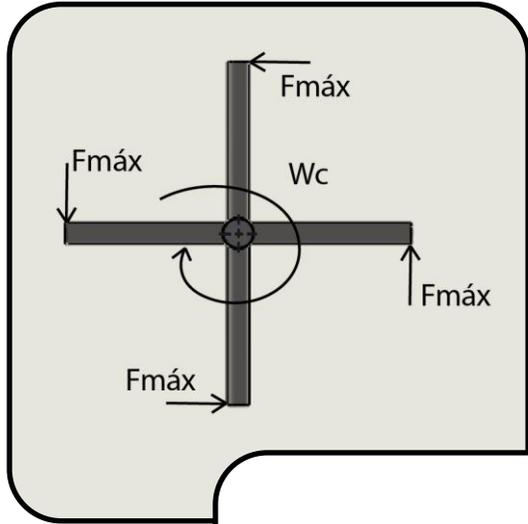


Potencia que requiere el sistema

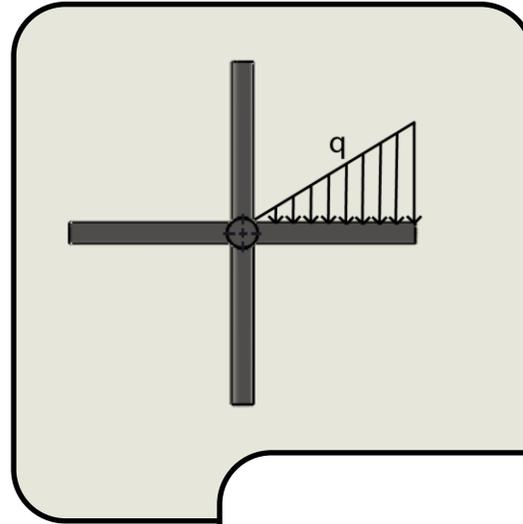
$$P = 0,092 \cdot V_{\infty} \cdot g \cdot \left(\frac{D_T}{D_a}\right) \cdot \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}\right)^{1/2} \cdot \exp\left(\frac{5,3Ha}{D_T}\right) \cdot (\rho_s - \rho_1) \cdot V_T$$



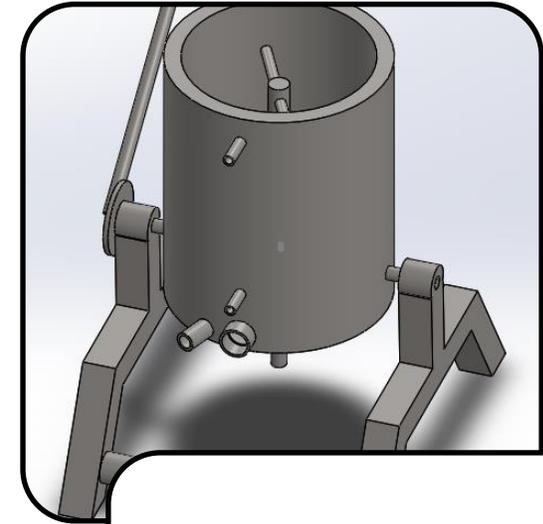
# Parámetros de diseño



Diseño de los  
brazos de  
molienda



Comportamiento  
dinámico de los  
brazos de  
molienda



Molino refinador  
a esferas



# Refinación

La mezcla inicial es procesada en refinadoras con el objetivo de disminuir el tamaño de las partículas, de tal forma que el resultado final sea suave al paladar evitando así la sensación de arenosidad que suelen presentar chocolates mal procesados, entre más tiempo dure el proceso de refinación mejor será la calidad del producto pero si el proceso es enfocado los tiempos de refinación disminuyen y también los costos operativos



# RESULTADOS



Pasta de cacao primera molienda



2 Horas de refinación



4 Horas de Refinación



6 Horas de Refinación

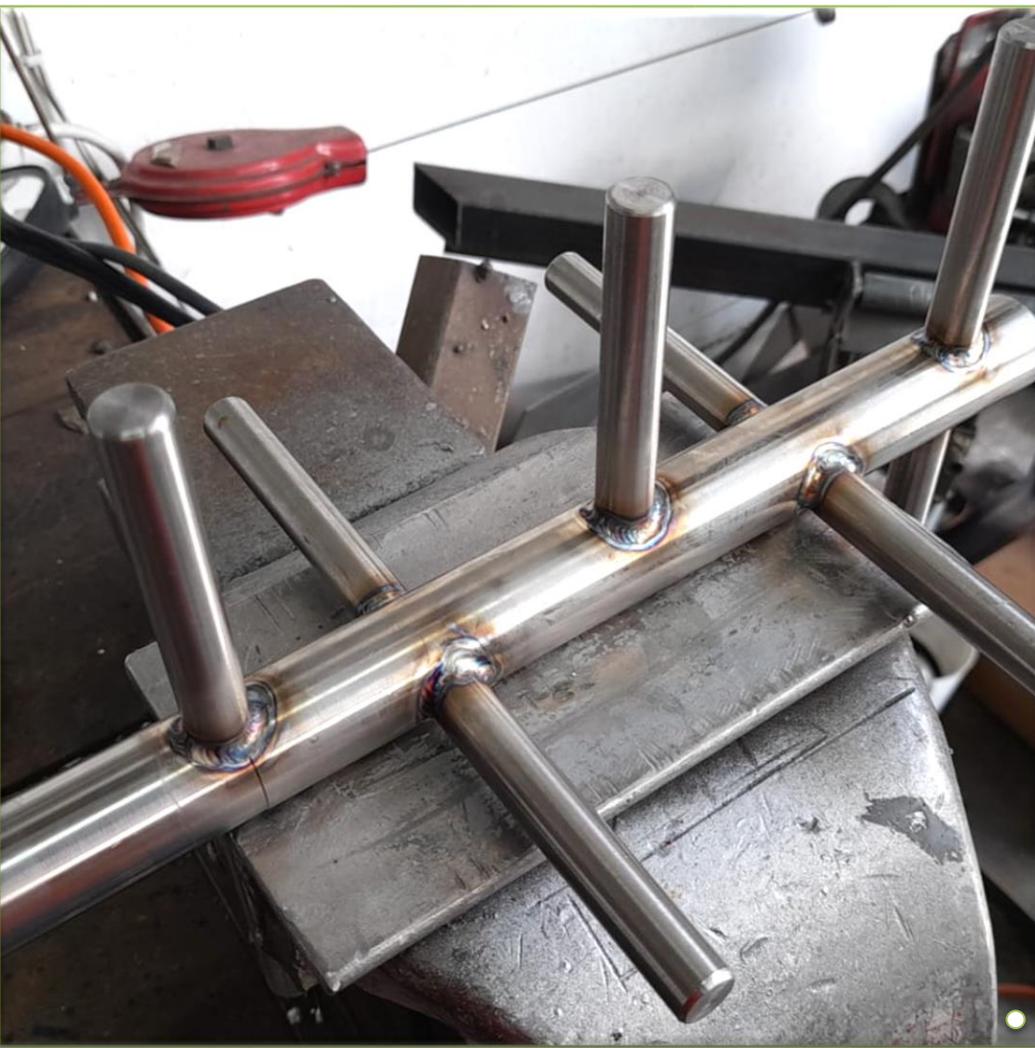


7 Horas de Refinación

Prueba	Cantidad Procesada (Kg)			Temperatura del proceso (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo de Molienda (horas)
	Pasta de Cacao	Azucar	Total			
1	5,22	2	7,22	50	55	16
2	5,22	2	7,22	50	66,87	12
3	5,22	2	7,22	50	89,167	10
Prueba	Cantidad Procesada (Kg)		Total	Temperatura del proceso (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo de Molienda (horas)
	Pasta de Cacao					
1	7,22		7,22	50	55	10
2	7,22		7,22	50	66,87	8
3	7,22		7,22	50	89,167	7
Prueba	Cantidad Procesada (Kg)			Temperatura del proceso (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo de Molienda (horas)
	Pasta de Cacao	Azucar impalpable	Total			
1	5,22	2	7,22	50	55	12
2	5,22	2	7,22	50	66,87	10
3	5,22	2	7,22	50	89,167	9



# IMPLEMENTACIÓN



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONCLUSIONES

- Tomando en consideración que la producción de cacao de un pequeño productor es de 18 a 15 quintales al año, y que el máximo tiempo de refinación es de 16 horas y la primera molienda toma alrededor de 1 hora y se puede producir 7,22 kg de pasta refinada al día, al año sin contar los fines de semana se podrá refinar 18,772 quintales. Si la refinación de pasta de cacao es constante durante todas las semanas del año se podrá refinar el 104,288 % de la producción de cacao de un pequeño productor.



# CONCLUSIONES

- El proceso de molienda de Teobroma cacao al ser un grano húmedo debe ser bajo el método de fricción, existen algunas opciones en el mercado siendo las más usadas para el tratamiento del chocolate los molinos a fricción, piedras y a esferas (atritor), en la tabla 2 se realizó una ponderación sobre 10 de varias variables fundamentales al escoger un molino refinador demostrando que el que más se adapta al proceso de refinación es molino a esferas con la ponderación más alta 8,3. Hay variables del molino refinador a esferas, importantes como la velocidad centrípeta que si sobrepasa los 89,167 rpm provoca que las esferas por efecto de la fuerza centrípeta se peguen a las paredes del tanque esto fue evidenciado en las pruebas de funcionamiento, y la temperatura de molienda que no puede ser superior a 50°C, se realizó una prueba a 89,167 rpm y 50 °C, y se obtuvo en 7 horas la fluidez de la pasta de cacao deseada como se puede observar en la figura 29, compara con otras pruebas fue el mejor resultado el más rápido y con mejor calidad.

# CONCLUSIONES

- La selección de elementos mecánicos está relacionada con la capacidad del molino, en base a los 12,7 Kg de esferas y los 7,22 Kg de cacao calculados que el molino puede refinar, se diseñó un eje agitador que presenta un factor de seguridad de 6,94 que demuestra que los elementos están diseñados de manera correcta, un factor que nos indica que la estructura resistirá en caso de tener más peso que del calculado. Ya que el diseño de los elementos es el correcto no se presentaron deformaciones en el proceso de molienda.
- En el control eléctrico y electrónico permite tener una velocidad fija de 89,167 rpm que hace proceso más rápido, no se presentó anomalías en el control de velocidad es un proceso controlado que llega sin presentar problemas a la velocidad programada con una aceleración progresiva gracias a la cual no se presentaron movimientos bruscos, el control de temperatura permite mantener el sistema en 50° C lo que dio como resultado un cacao de un aroma y sabor exquisito con textura fluida capaz de adaptarse a cualquier uso



# RECOMENDACIONES

- La separación de las esferas y el chocolate debe ser realizada desde el primer momento con un colador para evitar que las esferas se queden en la pasta de cacao debido a la naturaleza oscura y bastante espesa, es bastante difícil diferenciar cuando se van esferas en el producto. En un futuro se recomienda crear un sistema exterior para la separación de las esferas y el chocolate.
- El sistema del control eléctrico y electrónico está diseñando para pasar la mayor parte del tiempo censando y si lo apagamos y prendemos con mucha frecuencia en el transcurso del día podemos deteriorar el PLC, para evitar esto se adecuo un botón de arranque y paro, solo para el molino refinador en caso de querer comprobar el estado de la pasta sin tener que apagar los demás equipamientos.

# RECOMENDACIONES

- Se debe realizar un mantenimiento preventivo de la maquina donde, los reten NBR 42-25-10 deben ser revisados cada 6 meses para comprobar que se encuentren en buen estado dado el caso se debe cambiar para que maquina tenga un correcto funcionamiento.
- No llenar la cuba de molienda en su totalidad con cacao, solo llenar hasta cubrir el eje agitador ya que están contemplados 5 centímetros adicionales, para evitar desbordamientos que se producen cuando el cacao está siendo refinado

