

Apéndices

Apéndice A. Cacao

La calidad del cacao depende de las etapas de postcosecha como son la fermentación, el secado y el tostado. Estas fases son las que preparan el grano para el descascarillado, el cual como ya hemos mencionado, es el proceso para obtener *nibs* (almendras limpias) las cuales serán la base de productos como chocolate, licor o manteca. A continuación, se detallan las etapas de cada proceso y su impacto en la eficiencia del descascarillado.

En la fermentación el principal objetivo es degradar el mucilago, el cual es la pulpa blanca y viscosa que rodea al grano, se realiza manteniendo los granos recién cosechados en recipientes durante varios días para activar reacciones bioquímicas que desarrollan el aroma y el sabor de este, si la fermentación se realiza óptimamente se logra una buena separación en el proceso de descascarillado ya que si se hace forma deficiente los granos tendrán las cáscaras más adheridas afectando la eficiencia de la máquina.

El secado consta en poner los granos al sol por varios días hasta que queden secos por fuera, pero húmedos por dentro logrando que la cáscara sea más frágil y más propensa a la ruptura.

En el tostado los granos se calientan a una temperatura alta para que la cascara pueda separarse del nib e intensificar el sabor y aroma del grano. En este proceso la cascara se vuelve más quebradiza y de una densidad más diferente que la del nib, favoreciendo el proceso de separación mecánica. Ya una vez tostado, el grano de cacao está listo para pasar a la etapa del descascarillado.

El descascarillado elimina la cáscara externa del grano de cacao, permitiendo la obtención de los Nibs. Los Nibs son la parte comestible del grano y son los que permiten la elaboración de productos como el chocolate, el licor y la manteca de cacao. Presentan una estructura más frágil y más densa en comparación de la cascara, estas propiedades son la que permiten optimizar la eficiencia del proceso.

Esta etapa es indispensable en cualquier línea de producción del chocolate ya que la calidad del nib es la que determina el sabor, el aroma, la textura, la inocuidad y el rendimiento económico del chocolate. La eficiencia del proceso de descascarillado impacta la productividad y la calidad del producto final. Si el proceso es mal ejecutado puede provocar la pérdida de nibs o que con las cáscaras se contamine el producto con residuos, afectando el resultado final (Nguyen et al., 2019).

Apéndice B. Descascarillado

Finalmente, para poder diseñar una descascarilladora que realmente sirva a los pequeños productores, hay que fijarse en tres características importantes: la eficiencia, la capacidad y los costos.

Según la Guía de calidad y sabor del cacao, la eficiencia de la maquina es la capacidad que tiene de separar la mayor cantidad de cascara posible sin llevarse partes del nib. Es importante que exista una eficiencia alta para es optimizar la recolección.

La capacidad es la cantidad de cacao que la máquina puede procesar por hora.

$$\text{Capacidad (kg/h)} = (\text{Peso procesado en prueba} / \text{Tiempo de prueba}) \times 60$$

Y los costos son los permitirán que el precio de la máquina no sea un obstáculo para los campesinos. Ya que si la maquina llega a ser muy económica con materiales de bajo rendimiento hará que la maquina tengas una baja eficiencia haciendo que incrementen los costos de mantenimiento y reparación.

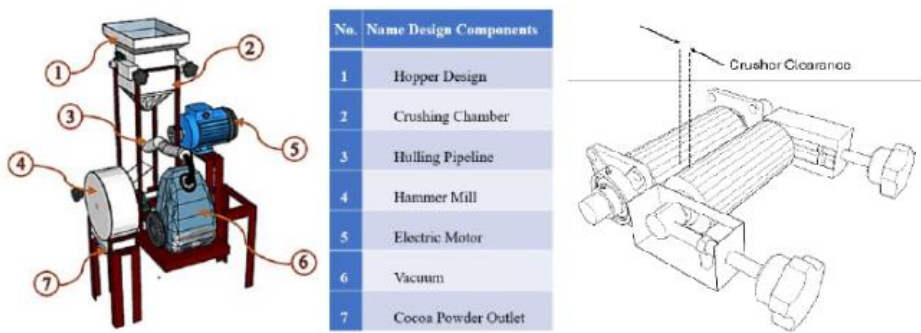
Por lo que al tener en cuenta estas características se puede lograr crear un maquina optima con una inversión recuperable, con materiales locales, evitando las piezas importadas y con un diseño y mantenimiento simple.

Apéndice C. Proyectos Consultados

En los proyectos investigados se observó que los diseños pueden variar según la capacidad y tecnología empleada, estos proyectos sirvieron como base para comprender como es el comportamiento de los elementos principales del proceso de descascarillado, los equipos de descascarillado suelen tener una lista de componentes básicos (Osoteo et al., 2024) como:

Figura C1

Descascaradora-pulverizadora combinada de granos de cacao.



Nota. Tomado de Osoteo et al. (2024).

La Tolva de alimentación la cual es el depósito inicial para el grano tostado. La Cámara de trituración o quebrado: realiza la separación física entre cáscara y nibs. El Motor eléctrico: fuente de energía para la operación de los mecanismos. El Soplador y ciclón el cual realiza la separación que elimina la cáscara liviana del nib. El Sistema de transporte interno (tuberías y conductos) que dirige la mezcla entre etapas del proceso. El Recolector de nibs que almacena el producto listo para la siguiente fase de transformación.

La máquina descascarilladora-pulverizadora combinada de cacao desarrollada por es un equipo de procesamiento continuo con dos etapas en un solo sistema: el descascarillado y la pulverización del grano. El proceso inicia con la introducción de los

granos tostados por la tolva, los cuales son conducidos hacia un triturador de rodillos. Posteriormente, un sistema de vacío separa la cascarilla del nib. Los nibs desprovistos de cascarilla son transportados mediante tuberías hacia un molino de martillos de cuatro aspas fijas. La máquina es accionada por un motor eléctrico de 1 HP.

Firmanto et al. analizaron una máquina descascarilladora para productores de chocolate a pequeña escala, en donde evaluaron el rendimiento con la capacidad de procesamiento, la eficiencia energética y la pureza del producto. Se concluyó que, al ajustar adecuadamente la velocidad de succión de aire, se logra una separación correcta de la cáscara y los nibs de cacao. Este análisis nos ayudó como referencia para definir los parámetros necesarios para el sistema de separación.

Figura C2

Máquina descascarilladora de granos de cacao tostado con sistema de cuchillas rotatorias y soplador centrífugo.



Nota. Tomado de Firmanto et al. (2024)

La máquina evaluada es una descascarilladora de granos de cacao tostado que opera mediante fricción entre un rotor de cuchillas cilíndricas y una cámara estática.

Cuenta con un motor eléctrico de 0.5 HP a 1400 rpm. La transmisión de potencia se realiza mediante poleas y correas en V, permitiendo velocidades de operación de 500, 700 y 900 rpm. Incorpora un soplador centrífugo para separar la cascarilla del nib aprovechando la diferencia de densidades entre ambos. En sus condiciones óptimas alcanzó una capacidad de trabajo de 34.5 kg/h, un rendimiento del 81.58% y un porcentaje de nibs del 97.47%.

La búsqueda inicial de los artículos o trabajos de investigación sobre el tema incluyó las siguientes ecuaciones de búsqueda.

“DESCASCARILLADORA DE CACAO” AND “DISEÑO” AND
“EFICIENCIA”

“DESCASCARILLADORA DE CACAO” AND “MATERIALES”

“DESCASCARILLADORA MECÁNICA” AND “DESEMPEÑO”

“PROCESAMIENTO DE CACAO” AND “DESCASCARILLADO”

“MÁQUINAS DESCASCARILLADORAS” AND “CACAO” AND
“RENDIMIENTO”

Se obtuvo un total de 17 trabajos de investigación mediante las ecuaciones de búsqueda, de los cuales se descartaron 6 por no aportar información relevante, dejando 11 artículos seleccionados. Estos artículos hablan el procesamiento del cacao y describen el diseño para el proceso de descascarillado, evaluando diferentes características y alternativas de máquinas. Esta revisión de literatura sienta las bases para desarrollar una descascarilladora eficiente y adaptada a las necesidades de la industria del cacao.

Apéndice D. Matriz QFD

El desarrollo del diseño de la descascarilladora de cacao se fundamentó en traducir las necesidades del usuario final en soluciones técnicas viables, coherentes con las condiciones productivas del municipio de El Carmen de Chucurí. Este proceso se estructuró a partir del análisis funcional del sistema, la priorización de requerimientos mediante el Despliegue de la Función de Calidad (QFD) y la evaluación comparativa de distintas alternativas de diseño, con el propósito de seleccionar la configuración más adecuada desde el punto de vista técnico, económico y operativo.

A partir de un análisis funcional del sistema, se realizó la aplicación del Despliegue de la Función de Calidad como herramienta para vincular las necesidades de los productores con las características técnicas del diseño.

Tabla D1.

Matriz QFD

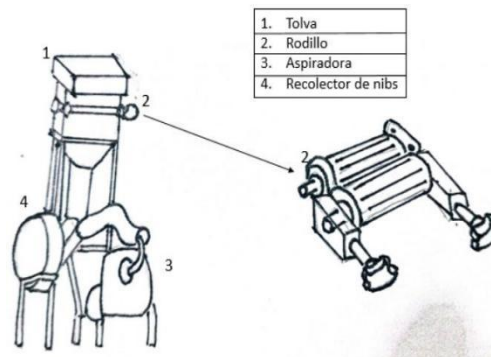
Necesidades del Cliente	Eficiencia mecánica		Peso		Capacidad (kg/h)		Torque		Nivel de autonomía		Materiales estructurales		Materiales de maquinaria		Disponibilidad de repuestos		Ergonomía		Durabilidad	
9 Precio total	0	0	1	9	9	81	0	0	3	27	9	81	9	81	3	27	3	27	9	81
8 Facilidad de operación	9	72	3	24	3	24	3	24	9	72	3	24	0	0	9	72	9	72	9	72
7 Alta pureza del nib	3	21	3	21	3	21	9	63	9	63	0	0	3	21	0	0	0	0	3	21
6 Alta eficiencia de descascarillado	9	54	3	18	9	54	9	54	9	54	0	0	0	0	1	6	0	0	3	18
5 Bajo daño a los nibs	3	15	9	45	3	15	9	45	9	45	0	0	9	45	0	0	1	5	3	15
4 Facilidad de mantenimiento	9	36	9	36	3	12	3	12	9	36	9	36	9	36	9	36	3	12	9	36
3 Diseño compacto y seguro	3	9	9	27	1	3	1	3	3	9	9	27	3	9	3	9	9	27	9	27
2 Bajo consumo energético	9	18	1	2	3	6	3	6	9	18	1	2	0	0	0	0	1	2	3	6
1 Bajo nivel de ruido	9	9	1	1	3	3	3	3	9	9	3	3	3	3	0	0	3	3	0	0
SUMATORIA	234		183		219		210		333		173		195		150		148		276	

Apéndice E. Alternativas

Con base en los requerimientos ya establecidos para el diseño de la descascarilladora de cacao, se plantearon tres alternativas de diseño. Cada alternativa busca cumplir con las especificaciones técnicas estipuladas, pero presentan diferencias en su configuración y sistemas de separación, ofreciendo distintas soluciones para optimizar el proceso:

Figura E1

Alternativa 1



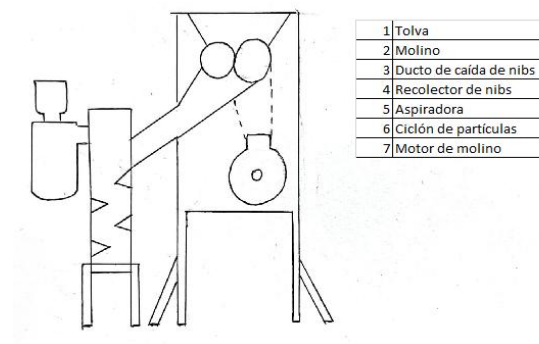
La primera alternativa consiste en una descascarilladora que utiliza un sistema de rodillos para romper la cáscara del grano de cacao. Los granos ingresan a través de una tolva y pasan por los rodillos, donde se realiza la separación mecánica. Posteriormente, una aspiradora succiona las cáscaras ligeras, mientras que los nibs caen por gravedad a un recolector.

La máquina combinada de descascarillado y pulverización de cacao tiene una capacidad de producción de 5.56 kg/h, su eficiencia de la máquina de 83.37% en promedio. Utiliza un motor eléctrico de 1 HP como fuente de energía para alimentar el

molino de tipo fijo, diseñado para pulverizar los nibs de cacao (Bertulfo, Jack; Cular, Patrick G.; Mendoza, John, 2024)⁸ .

Figura E2.

Alternativa 2

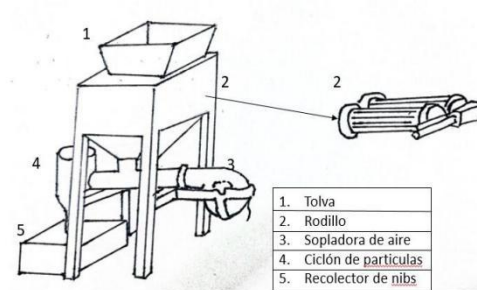


La segunda alternativa presenta una descascarilladora que combina un molino de rodillos con un sistema de separación por caída. Primero, los granos ingresan por la tolva y son triturados en el molino. Luego, el producto cae por un conducto donde se separan por gravedad los nibs de las cáscaras. Los nibs son recolectados en un contenedor inferior, mientras que las cáscaras son succionadas por un ventilador axial conectado a un ciclón o separador de partículas, que las deposita en un segundo recolector.

El molino está conectado a un motor eléctrico para su funcionamiento, su capacidad de descascarillado es de 30 kg/h, la eficiencia mecánica es de 75% y el motor del molino es de ½ caballo de fuerza.

Figura E3.

Alternativa 3



La tercera alternativa está constituida por un sistema de rodillos de la primera alternativa que rompe la cáscara de los granos, pero usando esta vez un soplador en lugar de una aspiradora. Los granos entran por medio de una tolva para ser separados por los rodillos, luego siguen cayendo los granos a un ducto donde el aire de la sopladora los expulsa y dirige hacia un ciclón de partículas donde las cáscaras de los granos quedan atrapadas y por peso, los nibs caen hacia un recolector.

La máquina combinada de descascarillado y pulverización de cacao tiene una capacidad de producción de 4,74 kg/h, su eficiencia de la máquina de 48.2% en promedio. Utiliza un motor eléctrico de 1 HP como fuente de energía para alimentar el molino de tipo fijo, diseñado para pulverizar los nibs de cacao. (Osoteo, May Rose B. et al., 2024)⁹

Apéndice F. Cálculos realizados en EES

Código EES de la tolva

$$A1 = 0,16 * 0,22 \text{ [m}^2\text{]} [\text{Área superior}]$$

$$A2 = 0,11 * 0,09 \text{ [m}^2\text{]} [\text{Área inferior}]$$

$$h = 0,25 \text{ [m]} [\text{Altura de la tolva}]$$

$$V = (h/3) * (A1 + A2 + \text{sqrt}(A1 * A2)) \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\rho = 593 \text{ [kg/m}^3\text{]} [\text{Densidad del cacao}]$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$m = \rho * V \text{ [kg]}$$

$$W = m * g \text{ [N]}$$

$$p = \rho * g * h \text{ [Pa]}$$

$$A_cara = ((0,22 + 0,09)/2) * h \text{ [m}^2\text{]} [\text{Área promedio de la pared inclinada}]$$

$$F = p * A_cara \text{ [N]}$$

$$a = 0,22 \text{ [m]} [\text{Longitud característica de la placa}]$$

$$t = 0,002 \text{ [m]} [\text{Espesor de la pared}]$$

$$\sigma = (6 * p * a^2) / (t^2) \text{ [Pa]}$$

$$\sigma_MPa = \sigma / 1E6 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_adm = 184 \text{ [MPa]}$$

$$FS = \sigma_adm / \sigma_MPa$$

Código EES de las Poleas

"DATOS DE ENTRADA"

$$Nm = 1400$$

$$D1 = 0,08$$

$$D2 = 0,20$$

$$C = 0,40$$

"RELACIÓN DE TRANSMISIÓN "

$$i = D2/D1$$

"VELOCIDAD DE LA POLEA CONDUcida"

$$Nr = Nm*(D1/D2)$$

"LONGITUD DE LA CORREA"

$$L_correa = (2*C) + ((\pi/2)*(D1+D2)) + (((D2-D1)^2)/(4*C))$$

"RESULTADOS"

"i = relacion de transmision"

"Nr = rpm rodillo"

"L_correa = m"

Codigo EES del Motor

$$D_rodillo = 0,098 \text{ [m]}$$

$$r_rodillo = D_rodillo/2 \text{ [m]}$$

$$m_c = 0,002 \text{ [kg]}$$

$$m_dot = 30/3600 \text{ [kg/s]}$$

$$F_D = 40 \text{ [N]}$$

$$n = 560 \text{ [rpm]}$$

$$FS = 1,2$$

"CALCULOS"

$$N_dot = m_dot/m_c \text{ [1/s]}$$

$$w = 2*\pi*n/60 \text{ [rad/s]}$$

$$V_T = \omega * r_{\text{rodillo}} \text{ [m/s]}$$

$$P_1 = F_D * V_T \text{ [W]}$$

$$P = P_1 * N_{\text{dot}} \text{ [W]}$$

$$P_{\text{diseno}} = FS * P \text{ [W]}$$

$$HP_{\text{diseno}} = P_{\text{diseno}} / 746 \text{ [HP]}$$

Codigo EES de los Rodillos

"DATOS DE ENTRADA"

Nm=1400 "rpm motor"

D1=0,08 "m polea motriz"

D2=0,20 "m polea conducida"

L=0,134 "m longitud rodillo"

m=5 "kg masa rodillo"

g=9,81 "m/s²"

P=575 "W"

r=0,049 "m radio rodillo"

E=193E9 "Pa modulo Young"

Nr=560 "rpm"

"VELOCIDAD ANGULAR"

$$\omega = (2 * \pi * N_r) / 60$$

"PERIODO"

$$T = (2 * \pi) / \omega$$

"TORQUE"

$$\text{Torque} = P / \omega$$

"FUERZA"

$$F_t = \text{Torque} / r$$

"PESO DEL RODILLO"

$$W_{\text{rodillo}} = m * g$$

"CARGA DISTRIBUIDA"

$$w_l = W / L$$

$$F_z = W + F_t$$

$$w_z = F_z / L$$

"REACCIONES EN APOYOS"

$$R_A = (w_z * L) / 2$$

$$R_B = (w_z * L) / 2$$

"MOMENTO MÁXIMO"

$$M_{\text{max}} = (w_z * L^2) / 8$$

"DEFLEXION PERMITIDA"

$$\delta_{\text{perm}} = L / 360$$

"MOMENTO DE INERCIA"

$$I = (5 * w_z * L^4) / (384 * E * \delta_{\text{perm}})$$

"DIAMETRO MINIMO"

$$d = ((64 * I) / \pi)^{(1/4)}$$

"RESULTADOS"

"Nr = rpm rodillo"

"w = rad/s"

"T = s"

"P_{kw} = kW"

$$\text{"Torque = N*m"}$$

$$\text{"Ft = N"}$$

$$\text{"Fz = N"}$$

$$\text{"wz = N/m"}$$

$$\text{"RA = N"}$$

$$\text{"RB = N"}$$

$$\text{"Mmax = N*m"}$$

$$\text{"I = m^4"}$$

$$\text{"d = m"}$$

Codigo EES del Soporte

$$m = 55$$

$$g = 9,81$$

$$n_apoyos = 4$$

$$lado_ext = 0,025$$

$$espesor = 0,0015$$

$$lado_int = lado_ext - 2*espesor$$

$$W = m*g$$

$$W_apoyo = W/n_apoyos$$

$$A = lado_ext^2 - lado_int^2$$

$$\sigma = W_apoyo/A$$

$$\sigma_MPa = \sigma/1E6$$

$$\sigma_adm = 113$$

$$FS = \sigma_adm/\sigma_MPa$$

Codigo EES del sistema de succión

"DATOS DEL MATERIAL"

flujo_cacao = 30 [kg/h - capacidad de la maquina]

frac_cascara = 0.12

Wm_kgh = flujo_cacao * frac_cascara [kg/h - flujo masico cascarilla]

Wm_lbmin = Wm_kgh * 2.2046 / 60 [lb/min]

rho_m = 6.24 [lb/pie3 - densidad cascarilla de cacao (100 kg/m3)]

dp = 0.02297 [ft- diametro promedio particula (7 mm)]

"PROPIEDADES DEL AIRE"

"El Carmen de Chucuri: altitud ~300 m, T_amb = 28 C"

PB = 14.23 [psi - presion barometrica a 300 m s.n.m.]

T_C = 28 [°C]

T_R = (1.8 * T_C + 32) + 460 [°R - temperatura en Rankine]

delta_a = 2.702 * PB / T_R [lb/pie3]

delta_std = 0.075 [lb/pie3 - densidad estandar]

Fc = delta_std / delta_a

Fp = 1 / Fc [factor de correccion perdidas]

"VELOCIDAD DE FLOTACION"

g = 32.174 [pies/s2]

fd = 1.0 [coef. arrastre, particulas irregulares]

Vf_fps = sqrt((4/3) * g * dp * (rho_m - delta_a) / (fd * delta_a)) [pies/s]

Vf_fpm = Vf_fps * 60 [pies/min]

Vf_ms = Vf_fps * 0.3048 [m/s]

"VELOCIDAD DEL AIRE EN EL DUCTO"

$V_a = 3000$ [pies/min - velocidad adoptada para diseño]

$V_{a_ms} = V_a * 0.00508$ [m/s]

"CANTIDAD DE AIRE NECESARIA"

$rel_aire_mat = 40$ [pie³_aire/lb_material]

$Q_cfm = W_{m_lbmin} * rel_aire_mat$ [pie³/min = CFM]

$Q_m3min = Q_cfm * 0.0283168$ [m³/min]

$Q_m3s = Q_m3min / 60$ [m³/s]

"DIAMETRO DEL DUCTO"

"Diametro teorico"

$A_teorica = Q_cfm / V_a$ [pie²]

$d_teorico_ft = \sqrt{4 * A_teorica / \pi}$ [pies]

$d_teorico_in = d_teorico_ft * 12$ [pulgadas]

$d_teorico_mm = d_teorico_ft * 304.8$ [mm]

"Diametro comercial seleccionado: 1.0 pulgada"

$d_com_in = 1.0$ [pulgadas]

$d_com_ft = d_com_in / 12$ [pies]

$d_com_mm = d_com_in * 25.4$ [mm]

"Velocidad real con ducto comercial"

$A_com = \pi * d_com_ft^2 / 4$ [pie²]

$V_{a_real_fpm} = Q_cfm / A_com$ [pies/min]

$V_{a_real_ms} = V_{a_real_fpm} * 0.00508$ [m/s]

"Verificacion: $V_{a_real} > V_f$ "

" $V_{a_real_fpm} > V_{f_fpm}$ -> transporte sin sedimentacion"

"FLUJO MASICO DEL AIRE Y RELACION DE CARGA"

$$W_a = Q_{cfm} * \Delta_a \text{ [lb/min]}$$

$$R = W_{m_lbmin} / W_a \text{ [relacion de carga]}$$

" $R < 1 \rightarrow$ fase diluida"

"ALTURA EQUIVALENTE DE AIRE"

$$A_e = 5.2 / \Delta_a \text{ [pies por 1 pulgada H}_2\text{O]}$$

"PERDIDAS DEL SISTEMA"

"Geometria del sistema de ductos"

$$L_h = 0.30 * 3.2808 \text{ [pies - tramo horizontal (0.30 m)]}$$

$$L_v = 0.40 * 3.28084 \text{ [pies - tramo vertical (0.40 m)]}$$

$$n_{codos} = 2 \text{ [codos a 90 grados]}$$

$$C_r = 0.40 \text{ [coef. rozamiento]}$$

"Sp1: Perdidas levantamiento vertical"

$$Sp1 = L_v * R * (1 / A_e) \text{ [\"H}_2\text{O]}$$

"Sp2: Perdidas horizontales"

$$Sp2 = L_h * R * (1 / A_e) * C_r \text{ [\"H}_2\text{O]}$$

"Velocidades del material"

$$V_r = V_{f_fpm} * (0.18 + 0.65e-4 * V_{a_real_fpm}) \text{ [vel. relativa]}$$

$$V_{Mh} = V_{a_real_fpm} - V_r \text{ [pies/min]}$$

$$V_{Mv} = V_{a_real_fpm} - V_{f_fpm} \text{ [pies/min]}$$

$$V_c = 0.80 * V_{Mh} \text{ [pies/min]}$$

"Velocidades de presion (aire en condiciones reales)"

$$V_{p_h} = \Delta_a * (V_{Mh} / 1906)^2 \text{ [\"H}_2\text{O]}$$

$$V_{p_v} = \Delta_a * (V_{Mv} / 1906)^2 \text{ [\"H}_2\text{O]}$$

$$V_{p_c} = \Delta_a * (V_c / 1906)^2 \text{ [\"H}_2\text{O]}$$

"Pad: aceleracion en ductos"

$$Vp_d_total = (Vp_h - 0) + (Vp_v - Vp_c)$$

$$Pad = Vp_d_total * R \text{ ["H2O"]}$$

"Pac: aceleracion en codos"

$$Pac = Vp_c * n_codos * R * \pi * 0.4 \text{ ["H2O"]}$$

$$Sp3 = Pad + Pac \text{ ["H2O"]}$$

"Sp4: Perdidas por flujo de aire"

$$PL = 2.74 * (Va_real_fpm / 1000)^{1.8} / d_com_in^2 \text{ ["H2O por 100 pies"]}$$

$$L_total = L_h + L_v$$

$$Sp4_ductos = L_total * Fp * PL / 100 \text{ ["H2O"]}$$

"Longitud equivalente por codo"

$$Le = 5 \text{ [pies]}$$

$$Sp4_codos = Le * Fp * PL * n_codos / 100 \text{ ["H2O"]}$$

$$Sp4 = Sp4_ductos + Sp4_codos \text{ ["H2O"]}$$

"Sp5: Perdidas en el ciclon artesanal"

$$Sp5 = 1.50 \text{ ["H2O - valor tipico ciclon artesanal"]}$$

"PERDIDAS TOTALES"

$$SPT = Sp1 + Sp2 + Sp3 + Sp4 + Sp5 \text{ ["H2O"]}$$

$$SPT_Pa = SPT * 249.09 \text{ [Pa]}$$

"REQUERIMIENTOS DEL EQUIPO"

"Potencia util requerida"

$$P_util_W = Q_m3s * SPT_Pa \text{ [W]}$$

"Con eficiencia de aspiradora eta = 27%"

$$eta = 0.27$$

$$P_{\text{electrica_W}} = P_{\text{util_W}} / \eta \text{ [W]}$$

"Verificacion aspiradora EQP40 (1800W, $\Delta P_{\text{max}} \sim 2000 \text{ Pa}$)"

$$\Delta P_{\text{disp}} = 2000 \text{ [Pa - presion max aspiradora EQP40]}$$

$$\text{margen_presion} = (\Delta P_{\text{disp}} - \text{SPT_Pa}) / \text{SPT_Pa} * 100 \text{ [\%]}$$

"RESULTADOS"

" $W_{\text{m_kg/h}}$ = flujo masico cascarilla [kg/h]"

" $W_{\text{m_lb/min}}$ = flujo masico cascarilla [lb/min]"

" Δ_a = densidad aire en sitio [lb/ft³]"

" F_c = factor correccion densidad [-]"

" $V_{\text{f_ms}}$ = velocidad flotacion [m/s]"

" $V_{\text{f_fpm}}$ = velocidad flotacion [pies/min]"

" V_a = velocidad aire adoptada [pies/min]"

" $V_{\text{a_real_ms}}$ = velocidad real en ducto comercial [m/s]"

" Q_{cfm} = caudal de aire [ft³/min]"

" $Q_{\text{m3/min}}$ = caudal de aire [m³/min]"

" $d_{\text{com_in}}$ = diametro ducto comercial [pulgadas]"

" $d_{\text{com_mm}}$ = diametro ducto comercial [mm]"

" R = relacion de carga [-]"

" A_e = altura equivalente de aire [pies/H₂O]"

" Sp_1 = perdidas levantamiento vertical [H₂O]"

" Sp_2 = perdidas horizontal [H₂O]"

" Sp_3 = perdidas aceleracion material [H₂O]"

" Sp_4 = perdidas flujo aire [H₂O]"

" Sp_5 = perdidas ciclon [H₂O]"

"SPT = perdidas totales sistema [H2O]"

"SPT_Pa = perdidas totales sistema [Pa]"

"P_util_W = potencia util requerida [W]"

"P_electrica_W = potencia electrica minima [W]"

"margen_presion = margen sobre presion requerida [%]"

Apéndice G. Costos del proyecto

Tabla G1

Costos del proyecto

ELEMENTOS	COSTOS	
EQUIPO		
2 rodillos	\$	700.000.00
Molino y automatización	\$	1.100.000.00
Aspiradora Stanley	\$	353.000.00
Adaptador del enchufe	\$	12.000.00
MATERIAL		
Lamina de Acero inoxidable	\$	150.000.00
Unión de rosca	\$	20.000.00
SERVICIO		
Software (Licencia de SolidWorks)	\$	15.556.480.00
Asesoría Profesional	\$	1.000.000.00
Mano de Obra	\$	300.000.00
TOTAL	\$	19.191.480.00

Nota. El costo de la licencia de SolidWorks corresponde a un gasto académico institucional y no representa un costo de replicación para el productor final. El costo de fabricación replicable del prototipo da \$3.635.000 COP.

Apéndice H. Manual De Usuario

Descripción General

El prototipo integra las etapas de molienda y separación en un solo sistema modular, diseñado para pequeños cacaoteros. Su capacidad operativa promedio es de 30 kg/h funciona con motor monofásico.

Componentes Principales

- Modulo 1, Molienda: tolva de alimentación, molino de rodillos.
- Modulo 2, Separación: Extractor, separador por caída y contenedor.
- Sistema motriz: motor, poleas, correas, piñones y cadena de transmisión.

Instrucciones De Uso

- Ubicación: colocar la máquina sobre una superficie plana y firme.
- Montaje: El ensamblaje de los módulos debe realizarse siguiendo el orden numérico establecido, garantizando el correcto acople entre guías y tornillos de fijación. Posteriormente, se procede con el acoplamiento de las cadenas; para ello, las chumaceras pueden desplazarse longitudinalmente con el propósito de ajustar la tensión adecuada. Una vez concluido este paso, se instala el motor y se fija mediante su tensor, el cual permite igualmente regular la tensión de la polea. Finalizado el acople de todos los mecanismos, se realiza la instalación de las guardas de protección y las guías correspondientes de la máquina.

- Encendido: activar el motor de los rodillos y el del extractor.
- Alimentación: verter el cacao ya secado y tostado de forma continua evitando sobrecargas.
- Operación: el cacao pasa por el molino de rodillos comprimiéndose para separarse el nib de la cascara.
- Recolección: recoger el nib recipientes limpios y el la cascara en otro recipiente para compostaje.
- Apagado y limpieza: detener el motor y desconectar la fuente de energía.

Recomendaciones de seguridad

- No introducir manos ni objetos durante el funcionamiento.
- Usar gafas y guantes de protección.
- No operar la maquina bajo lluvia o con conexiones húmedas

Sugerencia de operación

- Mantener un flujo constante de operación para evitar cargas irregulares.

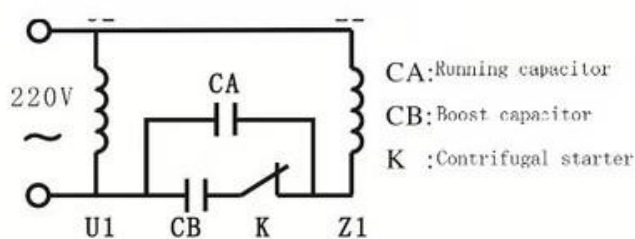
Apéndice I. Catalogo del Motor Seleccionado

Figura I1.

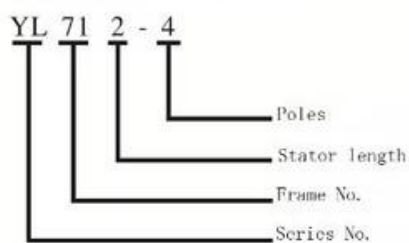
Catálogo de serie de motores YL.

Type	Power (KW)	Current (A)	Voltage (V)	Frequency (HZ)	RPM (r/min)	Efficiency (%)	Power factor	Tstart/Tn	Ist/In	Tmax/Tn
YL711-2	0.37	2.73	220	50	2800	67	0.92	1.8	16	1.8
YL712-2	0.55	3.9	220	50	2800	70	0.92	1.8	21	1.8
YL711-4	0.25	2.0	220	50	1400	62	0.92	1.8	12	1.8
YL712-4	0.37	2.8	220	50	1400	65	0.92	1.8	16	1.8
YL801-2	0.75	6.2	220	50	2800	72	0.92	1.8	29	1.8
YL802-2	1.1	7.2	220	50	2800	75	0.95	1.7	40	1.8
YL801-4	0.55	4.2	220	50	1400	68	0.92	1.7	21	1.8
YL802-4	0.75	5.8	220	50	1400	71	0.92	1.7	29	1.8
YL901-2	1.1	8.5	220	50	2800	75	0.58	1.7	40	1.8
YL901-4	0.75	7.2	220	50	1400	71	0.36	1.7	29	1.8
YL90S-2	1.5	9.44	220	50	2800	76	0.85	1.7	55	1.8
YL90S-4	1.1	7.2	220	50	1440	73	0.4	1.7	40	1.8
YL90S-6	0.75	7.2	220	50	960	72	0.9	1.7	29	1.8
YL90L-2	2.2	13.6	220	50	2800	77	0.75	1.7	80	1.8
YL90L-4	1.5	9.6	220	50	1400	75	0.5	1.7	55	1.8
YL90L-6	1.1	9.5	220	50	960	73	0.9	1.7	40	1.8
YL90L2-4	2.2	14.1	220	50	1400	76	0.43	1.7	80	1.8
YL100L-4	1.1	7.8	220	50	1400	73	0.45	1.7	40	1.8
YL100L1-4	1.5	12.4	220	50	1400	75	0.6	1.7	55	1.8
YL100L2-4	2.2	15	220	50	1400	76	0.9	1.7	80	1.8

YLseries schematic diagram:



YLModel No. Definition



Apéndice J. Sistema de succión seleccionado

Figura J1

Placa de características técnicas de la aspiradora Electrolux modelo ABS03.



Ficha Técnica

Especificaciones Técnicas

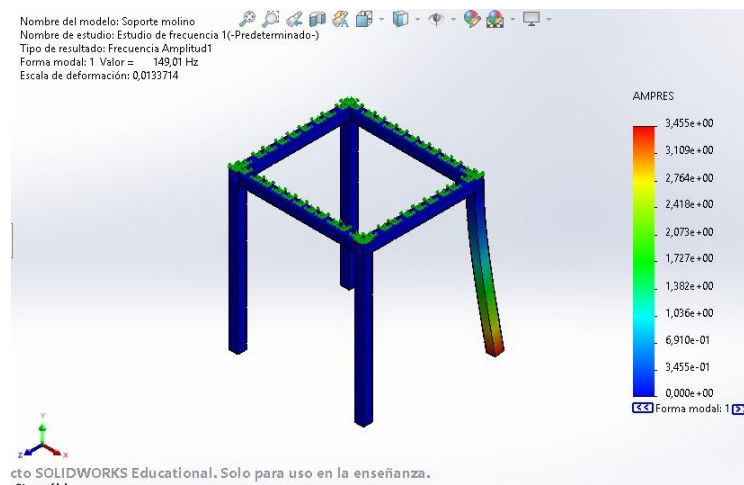
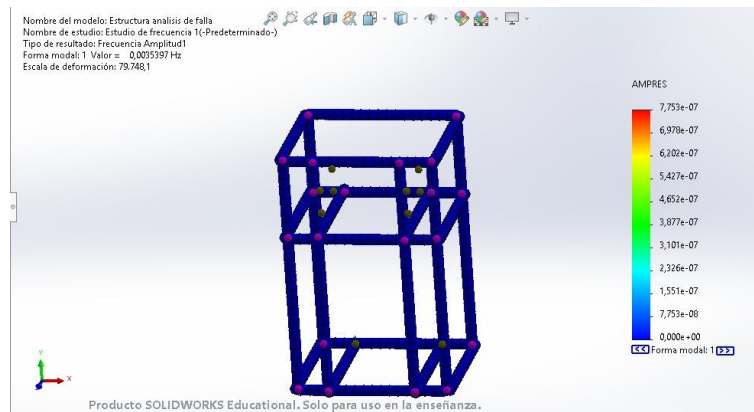
Alto (cm)	29,7
Ancho (cm)	24,6
Frecuencia	50-60Hz
Profundidad (cm)	35,1
Nivel de ruido (dB)	85 db
Velocidades	1
Filtro principal	HEPA
Peso Producto (Kg)	4,3
Tamaño manguera (m)	1,5
Modelo	3010CDG2404
Longitud cable (m)	3
Referencia	3010CDG2404
Radio de accion (m)	5,5
Capacidad (L)	1,5
Voltaje	127V
Potencia	1300W
Tipo de Aspiradora	Tanque
Tipo	Polvo
Control de Potencia	no
Recogedor de cable	Si
Tipo de Ruedas	Goma

Nota. Ficha técnica de la aspiradora Electrolux ABS03 1300 W (Electrolux, s.f.).

Apéndice K. Verificación del funcionamiento de la máquina por el director del proyecto de grado

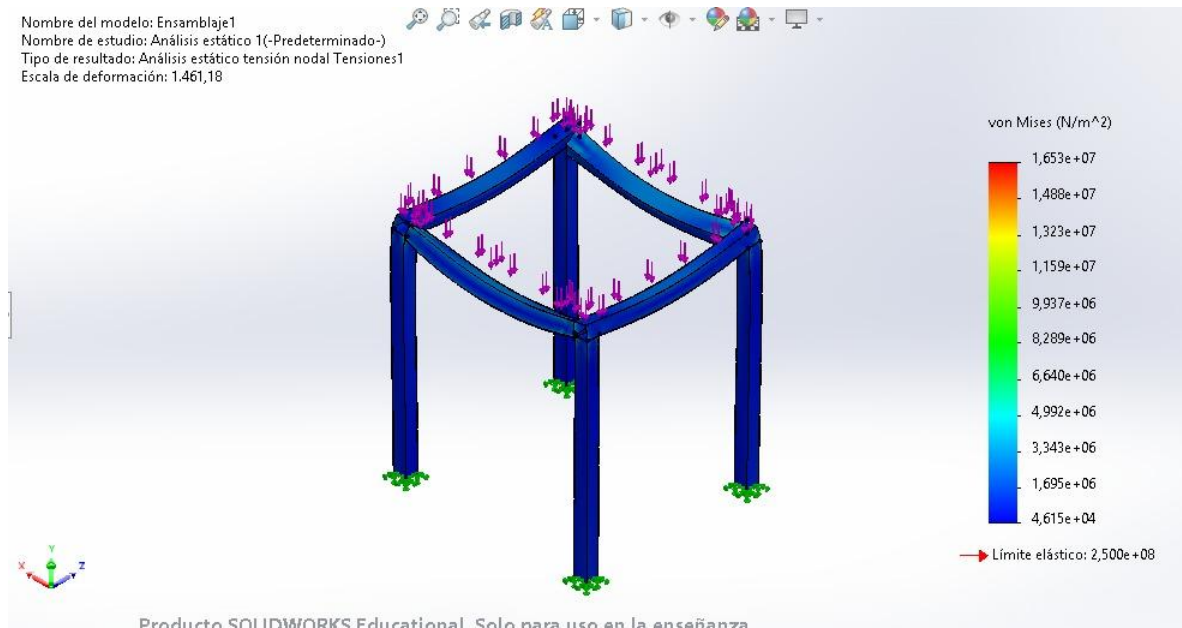


Apéndice L. Estudio de frecuencia natural

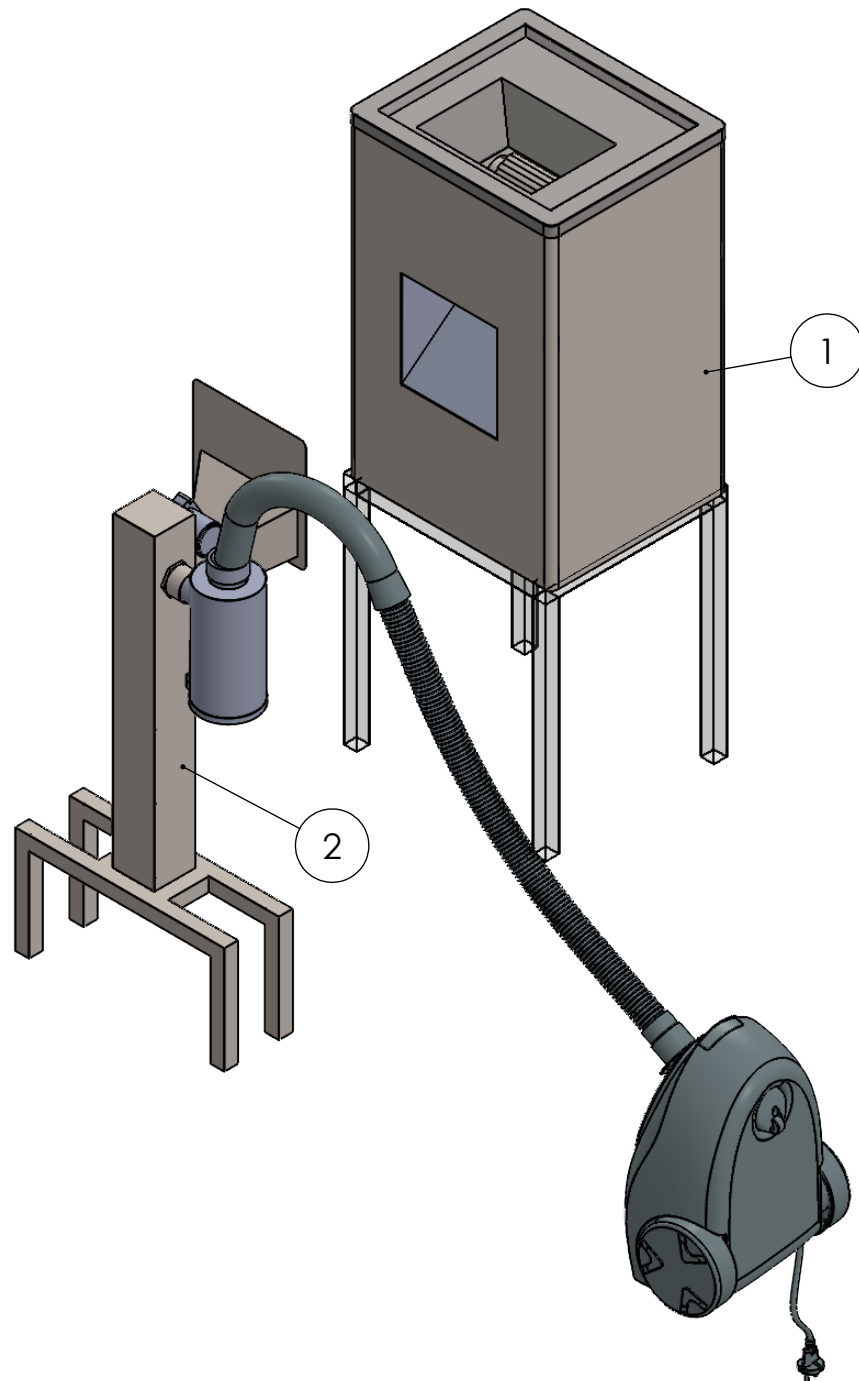


Análisis de frecuencia natural de la estructura interna del molino y soporte efectuado por CAD SolidWorks. El análisis muestra bajas resonancia entre las piezas, mayoritariamente.

Apéndice M. Análisis de soldadura



Análisis de soldadura de soporte efectuado por CAD SolidWorks. El análisis muestra bajas criticidad entre las uniones de las piezas.



SISTEMAS DE DESCASCARILLADORA

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 | SECCIÓN DE MOLIENDA |
| 2 | SECCIÓN DE SEPARACIÓN |

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Universidad
Industrial de
Santander

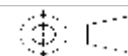


FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:10

UNIDADES: cm

A4

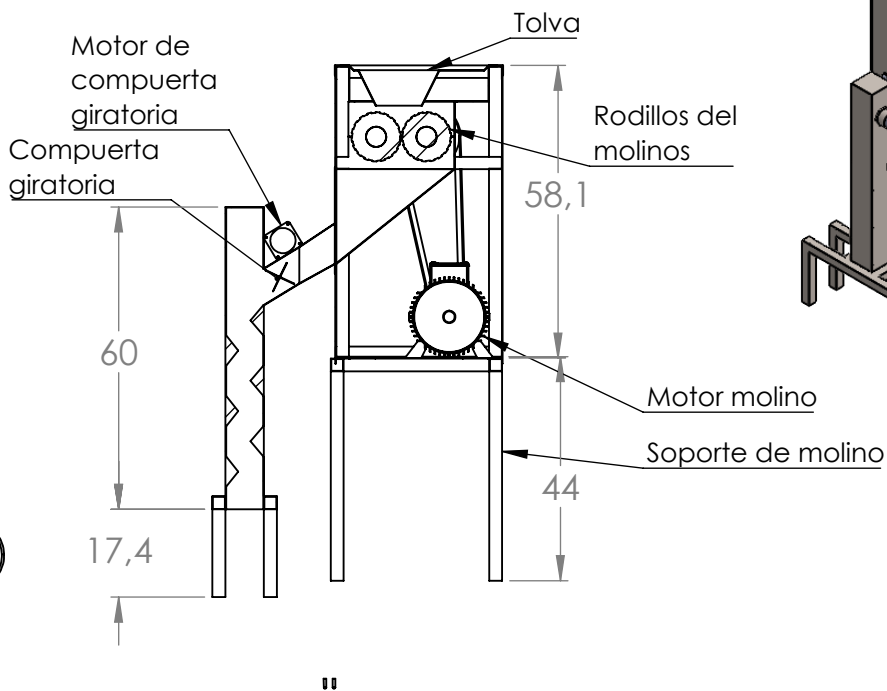
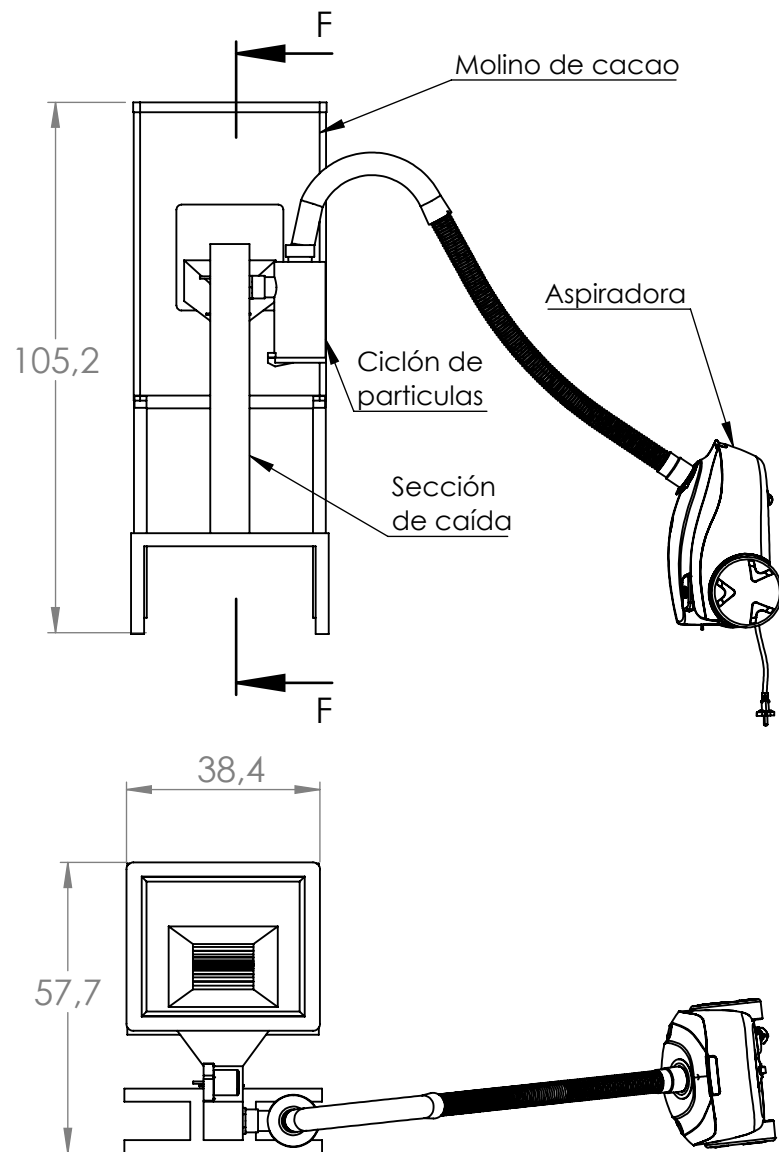


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
ENSAMBLE Y VISTA INTERNA

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 2/23



SECCIÓN F-F
ESCALA 1 : 15

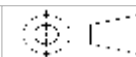


FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:10

UNIDADES: cm

A4



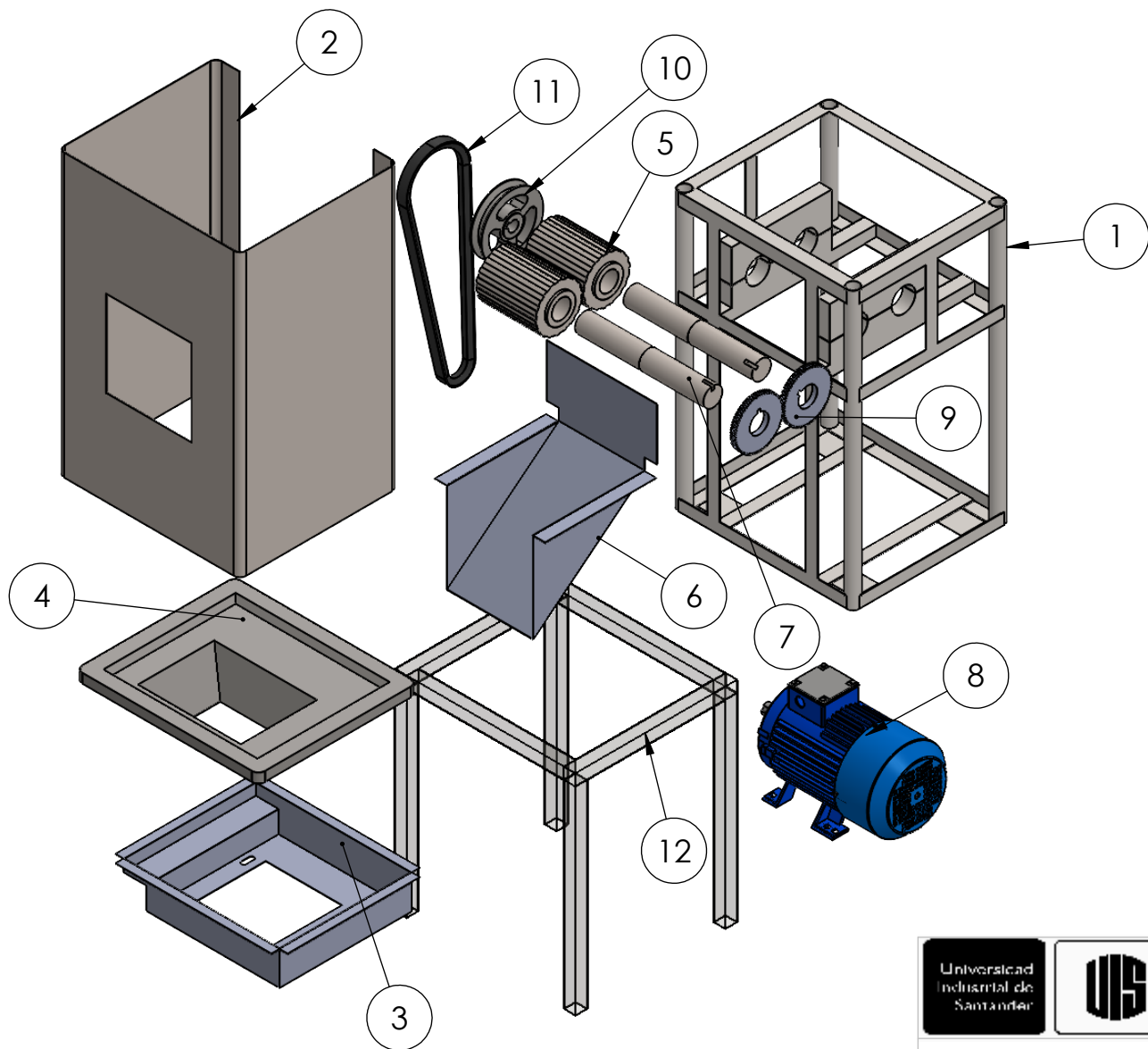
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

TÍTULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
ENSAMBLE Y VISTA INTERNA

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 3/23



No. PIEZA	
1	Armazón de acero
2	Caja de acero inoxidable
3	Placa de acero inoxidable
4	Tapa
5	Rodillos de molino
6	Rampa
7	Ejes
8	Motor
9	Engranajes helicoidales
10	Polea grande
11	Correa
12	Base del molino



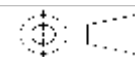
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:8

UNIDADES: cm

A4

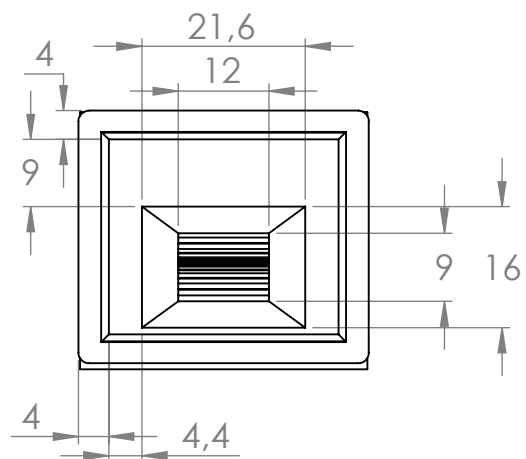
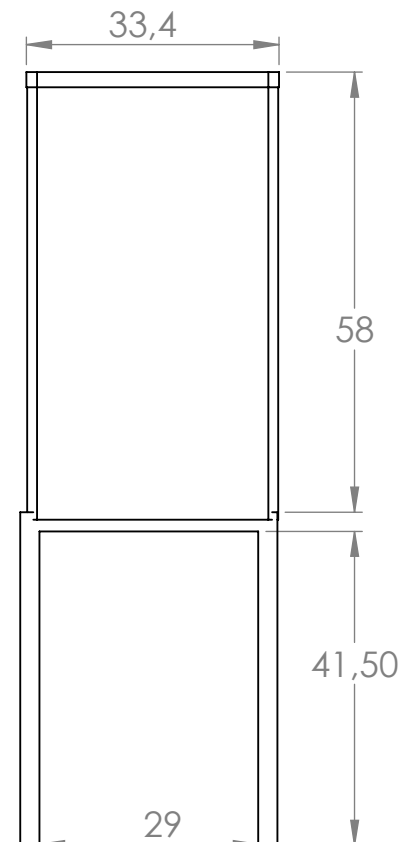
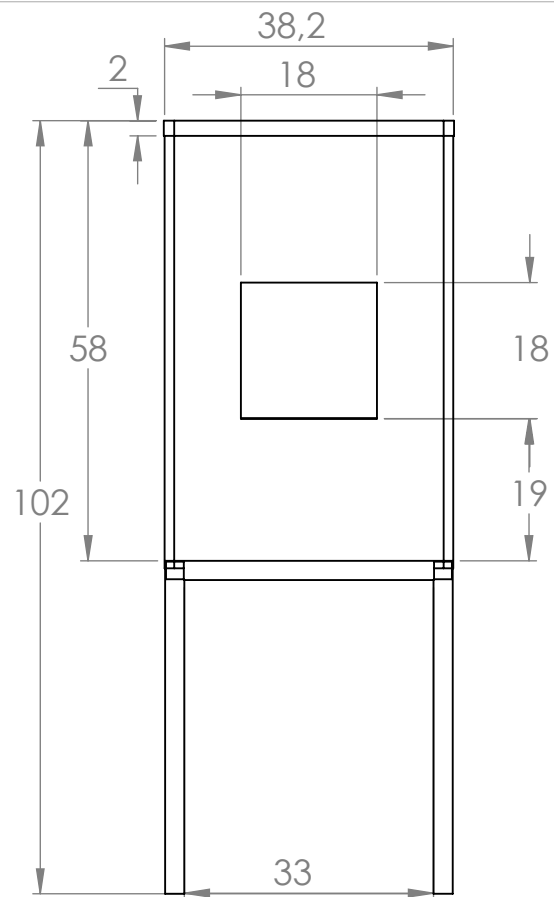


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
SISTEMA DE CAÍDA Y SEPARACIÓN

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 4/23



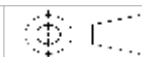
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:10

UNIDADES: cm

A4

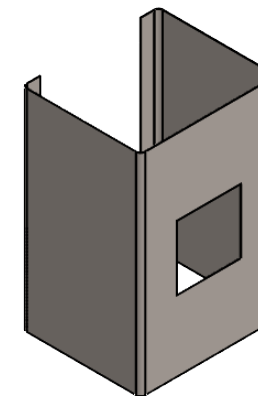
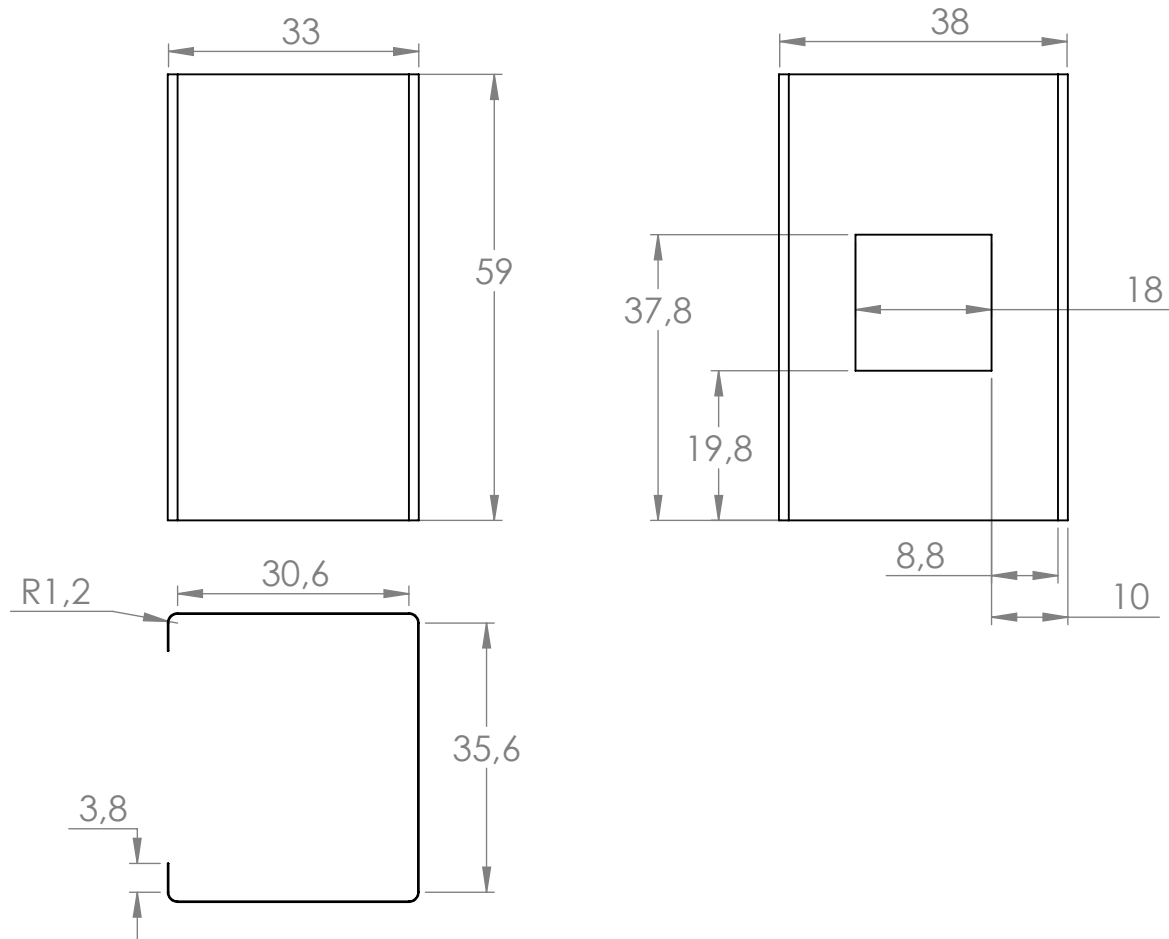


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
ENSAMBLE Y VISTA INTERNA

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 5/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



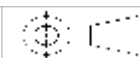
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:10

UNIDADES: CM

A4

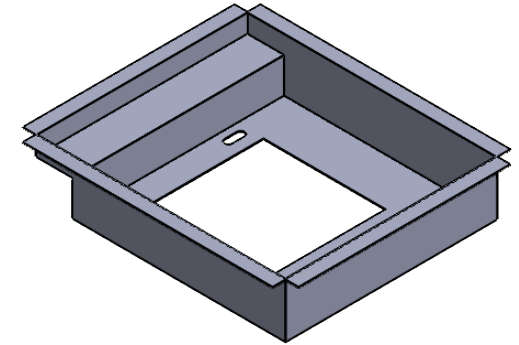
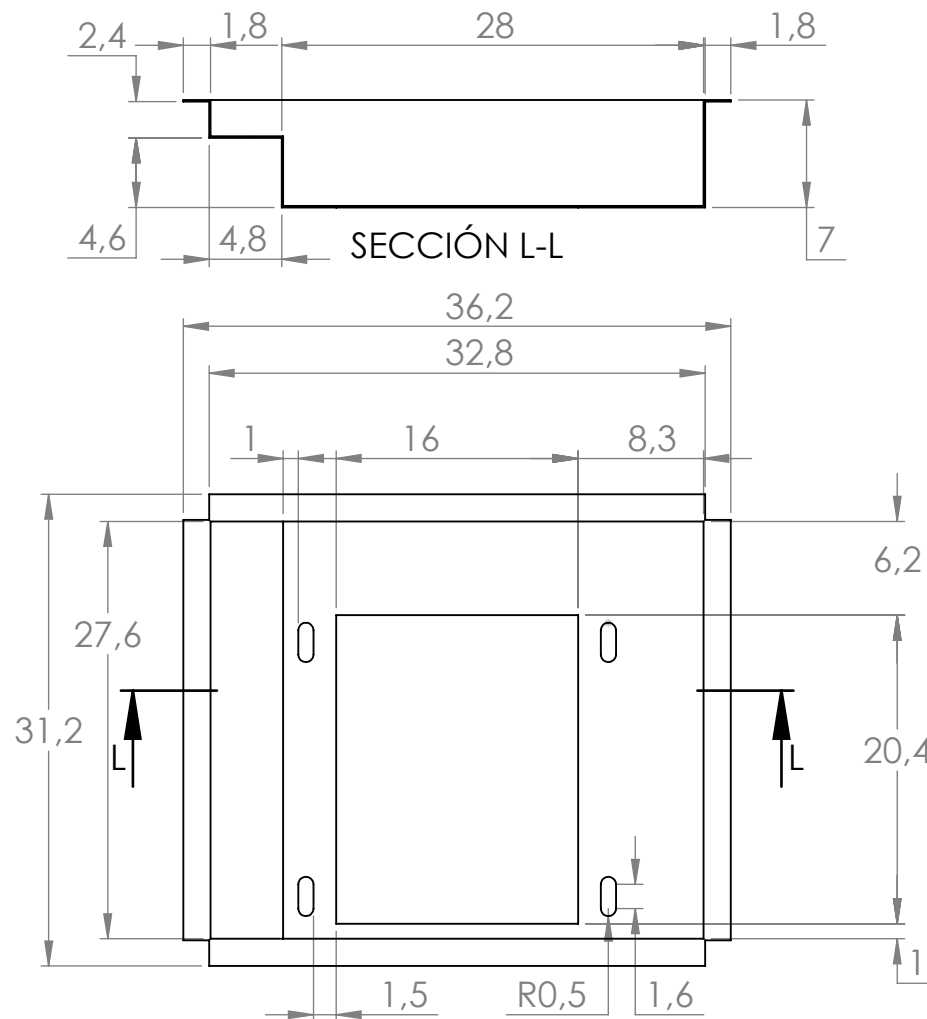


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO
SUBSISTEMA DE MOLIENDA
CAJA DE ACERO INOXIDABLE

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. INSARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 6/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Lamina de acero inoxidable 316 de 1 mm de grosor moldeada con dobladora de muelas



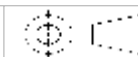
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:5

UNIDADES: cm

A4

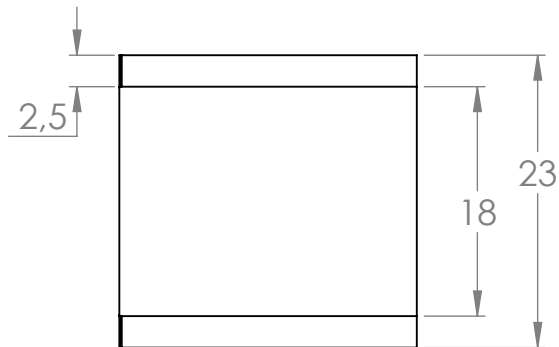
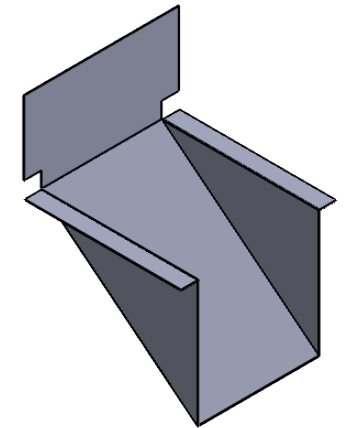
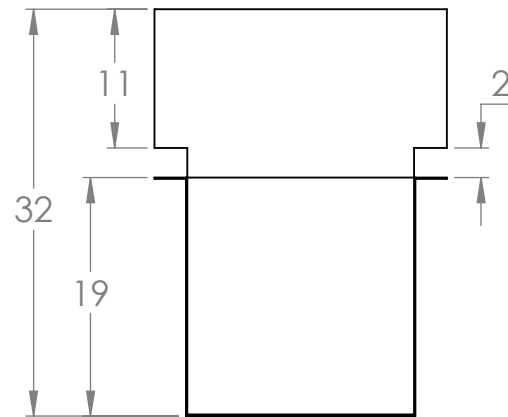
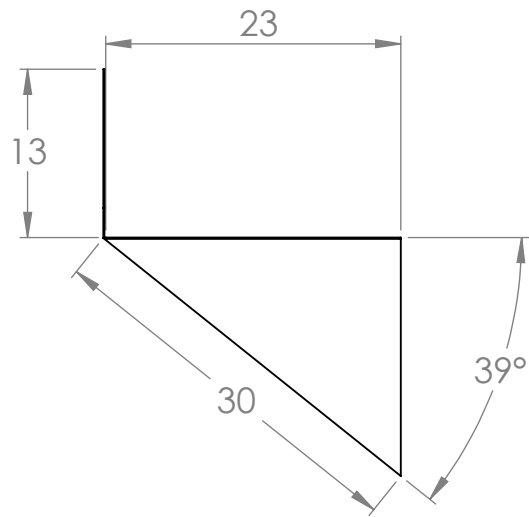


TÍTULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
PLACA AISLANTE

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 8/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Lamina de acero inoxidable 316 de 1 mm de grosor moldeada con dobladora de muelas



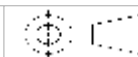
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:6

UNIDADES: CM

A4

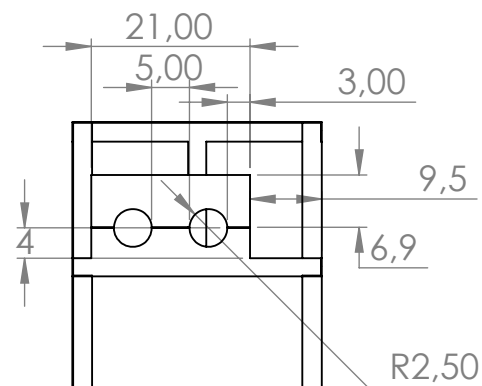
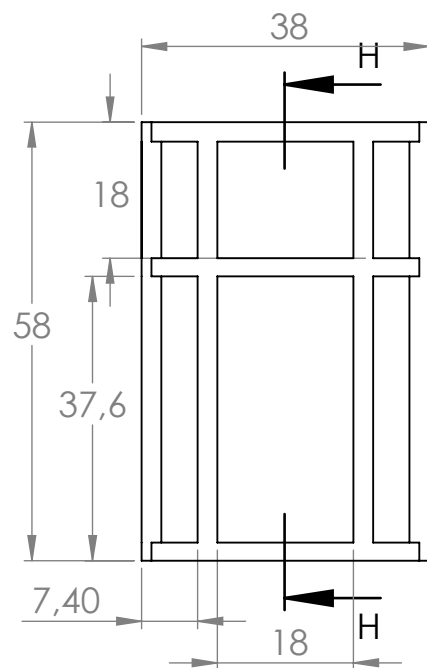


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO
SUBSISTEMA DE MOLIENDA
RAMPA DE ACERO INOXIDABLE

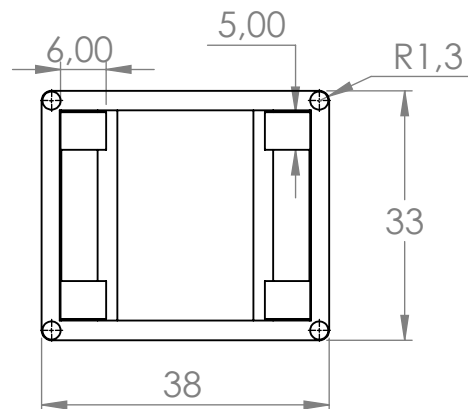
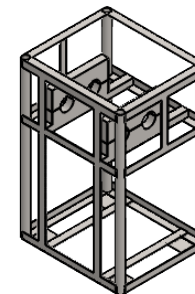
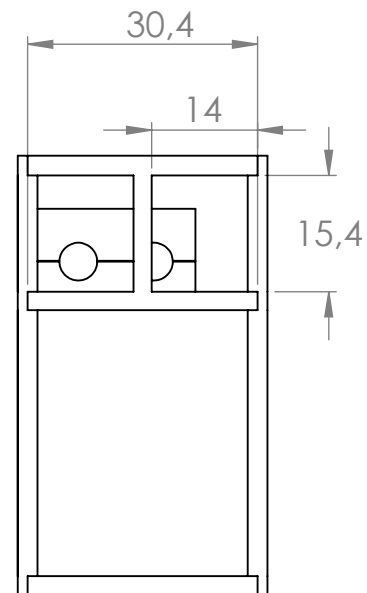
AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 9/23



SECCIÓN H-H



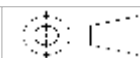
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:10

UNIDADES: cm

A4

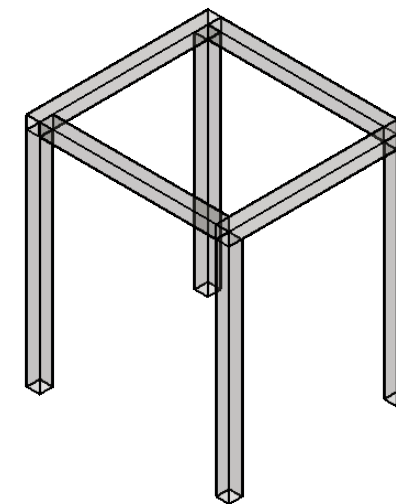
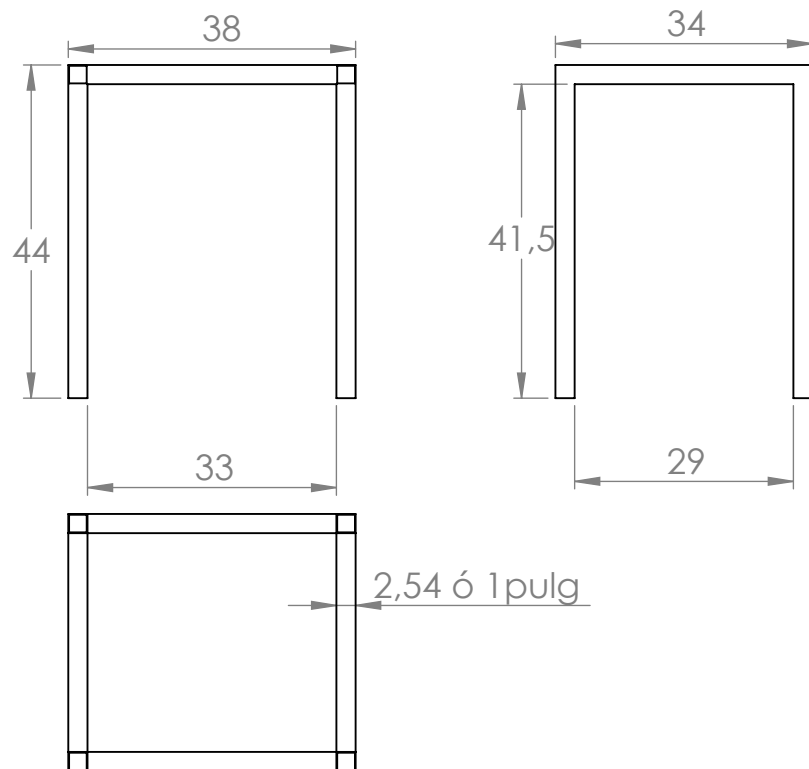


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
ENSAMBLE Y VISTA INTERNA

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 10/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Plataforma hecha en acero estructural de 1 pulgada unidas por soldadura



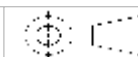
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:10

UNIDADES: cm

A4

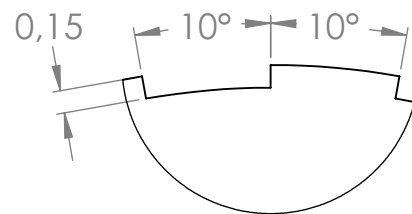


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
SOPORTE MOLINO

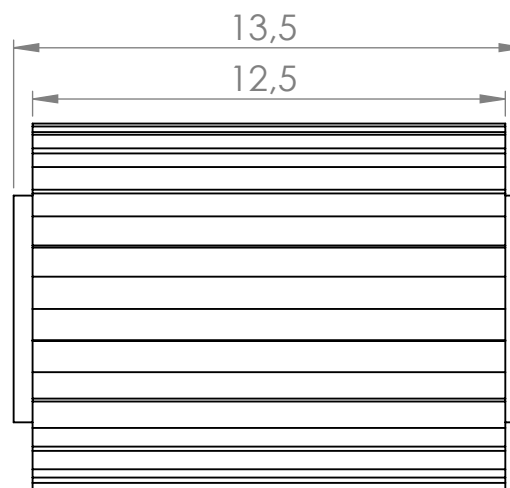
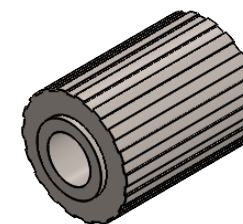
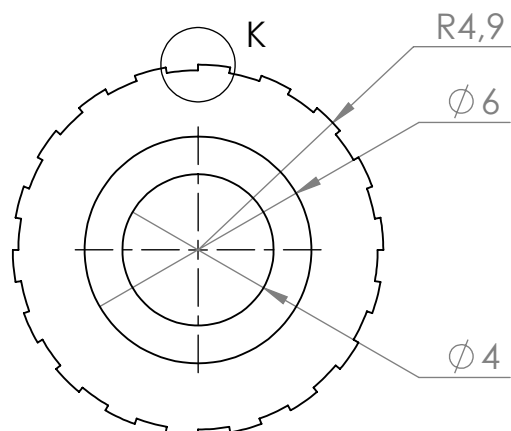
AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 11/23



DETALLE K
ESCALA 2 : 1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Cilindro de acero inoxidable con biselado para mayor fricción con los granos



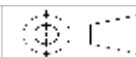
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:2

UNIDADES: cm

A4

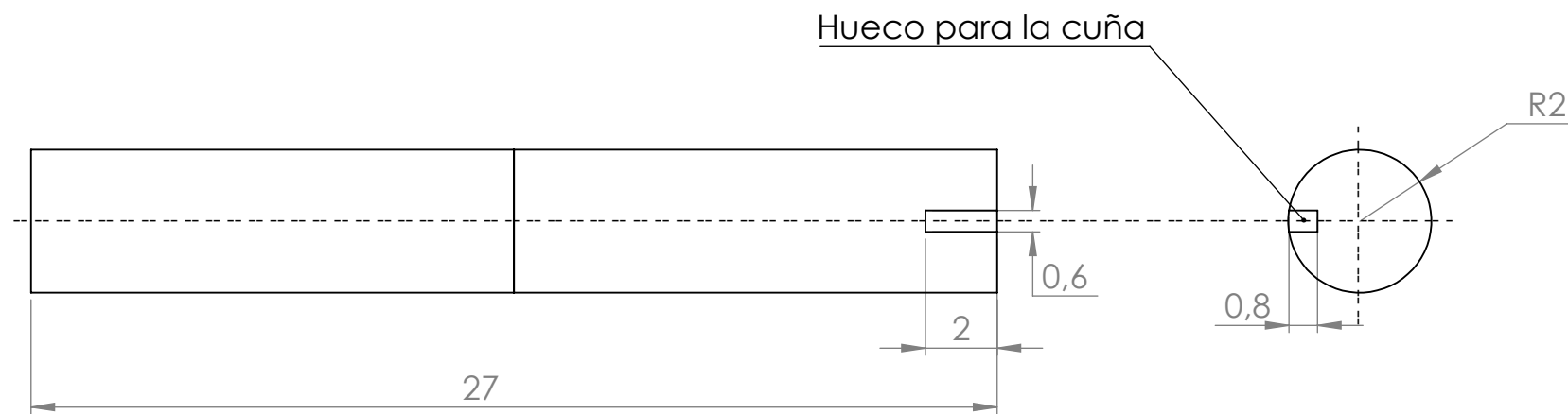
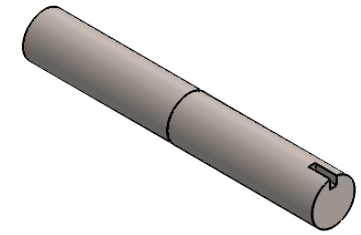


TÍTULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
RODILLOS

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 12/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Eje de acero AISI 316 mecanizado
Hueco para cuña mecanizado



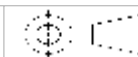
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:2

UNIDADES: cm

A4

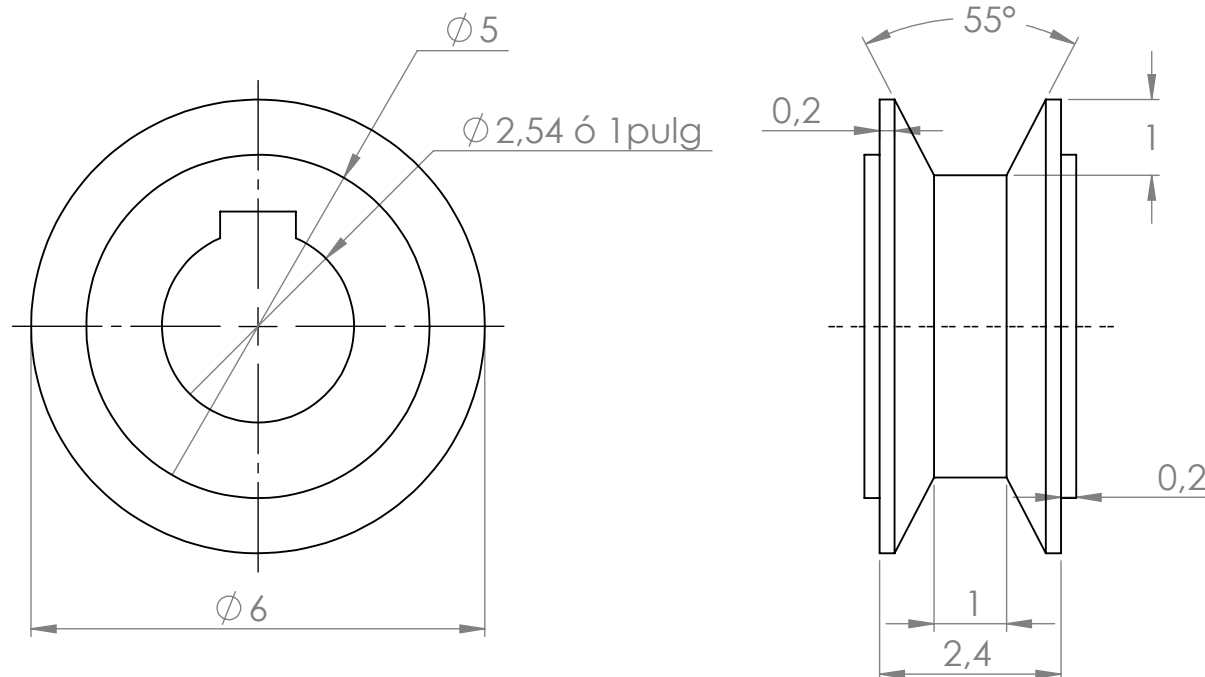
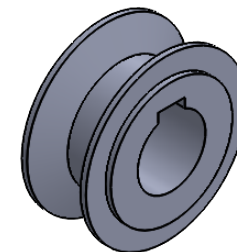


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
EJE RODILLOS

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÓ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 13/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Polea de V en hierro fundido A-130 X1 canal Hierro



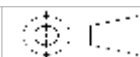
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:1

UNIDADES: cm

A4

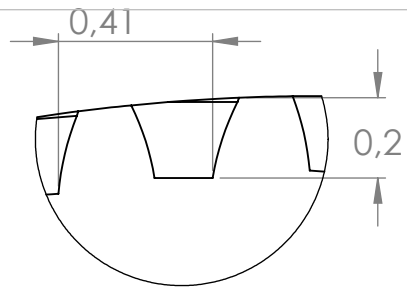


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
POLEA PEQUEÑA

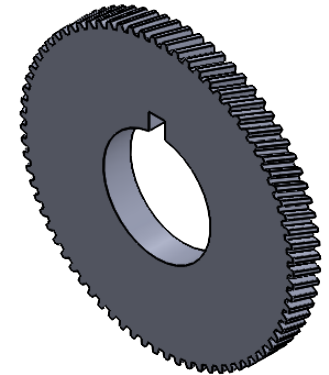
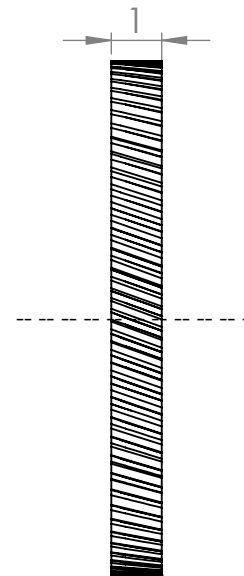
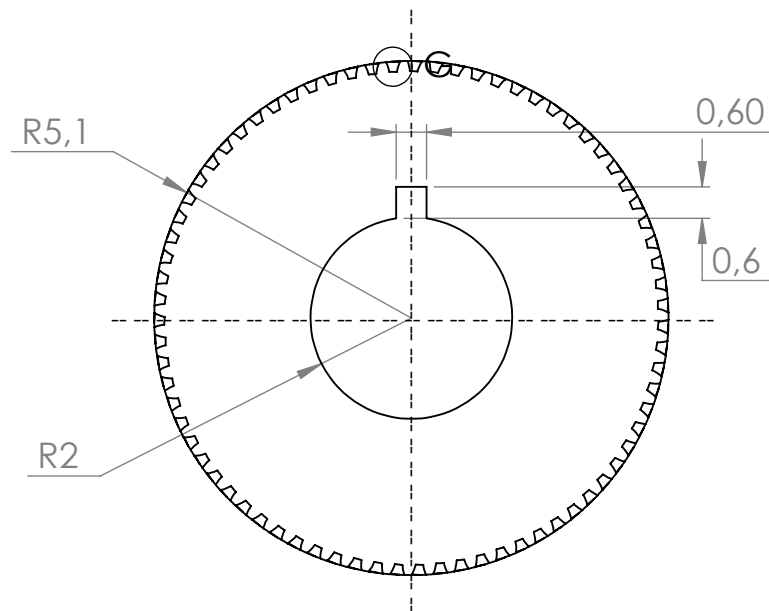
AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 14/23



DETALLE G
ESCALA 5 : 1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Engranaje helicoidal de nylon por moldeo mediante inyección



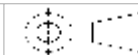
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:1,5

UNIDADES: cm

A4

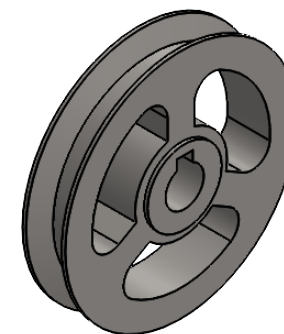
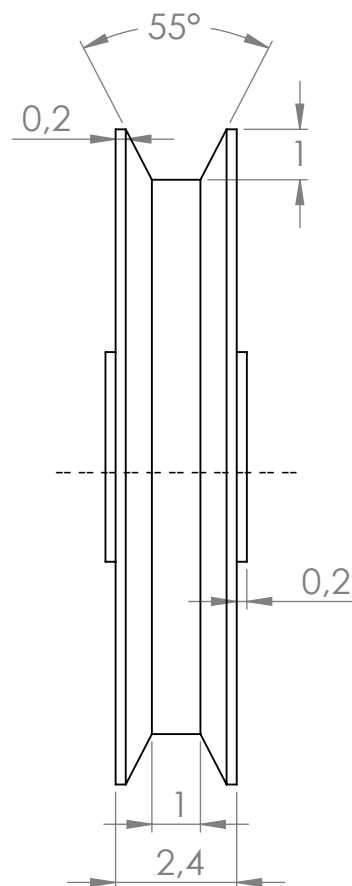
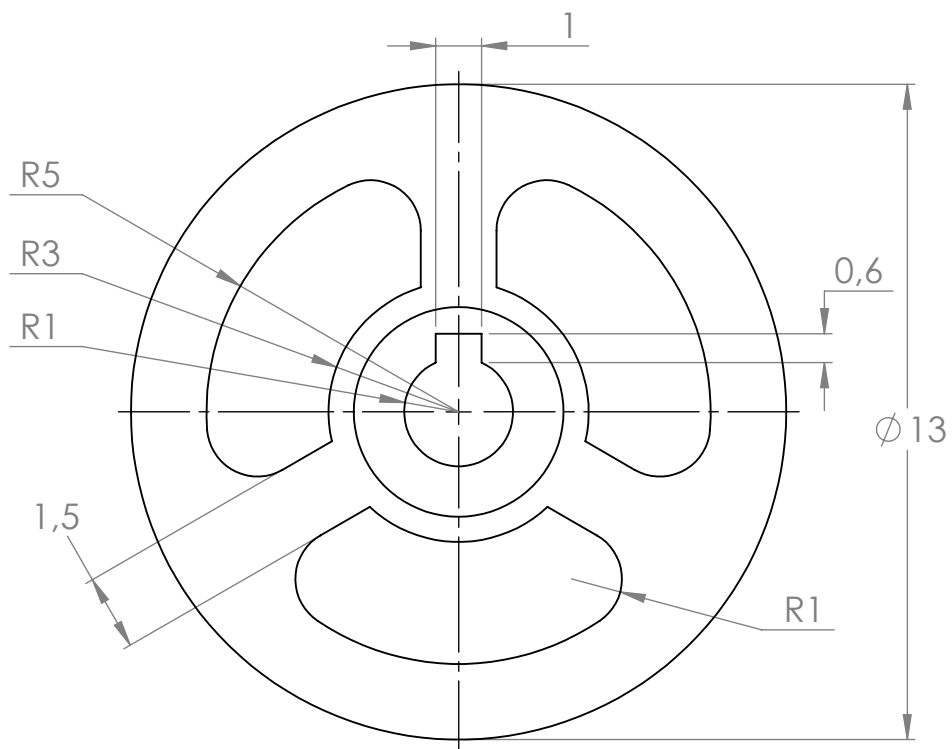


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
ENGRANAJES HELICOIDALES

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIME

HOJA 15/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Polea de V en hierro fundido Sheave BK60



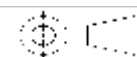
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:1,5

UNIDADES: cm

A4



TÍTULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
POLEA GRANDE

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 16/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Banda en V tipo A con descripción A48



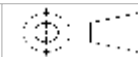
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:3

UNIDADES: cm

A4

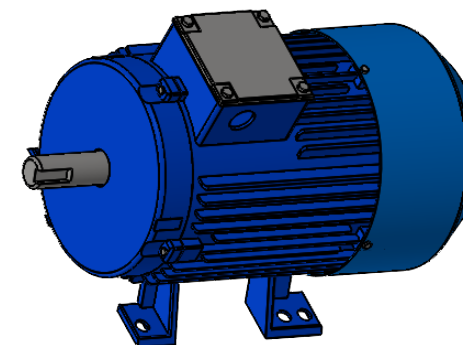
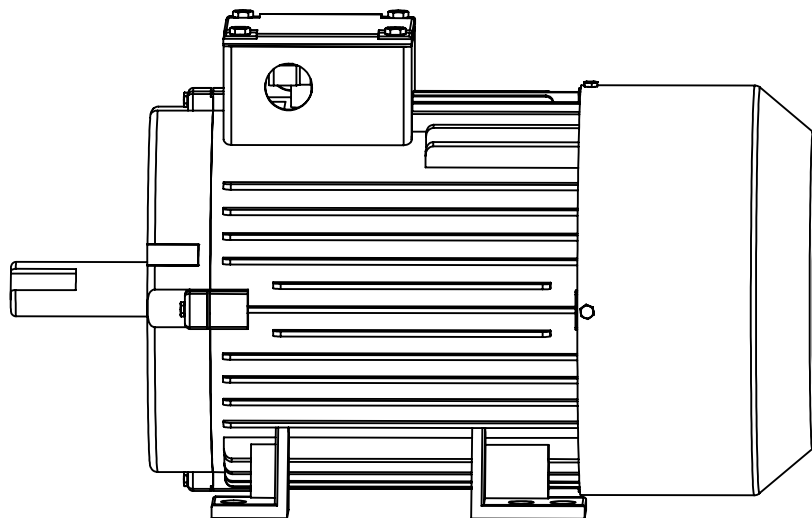


TÍTULO: DEDESCASCARILLADORA DE CACAO.
SISTEMA DE CAÍDA Y SEPARACIÓN

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISA: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 17/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Motor monofásico YL801-4



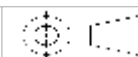
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:3

UNIDADES: CM

A4

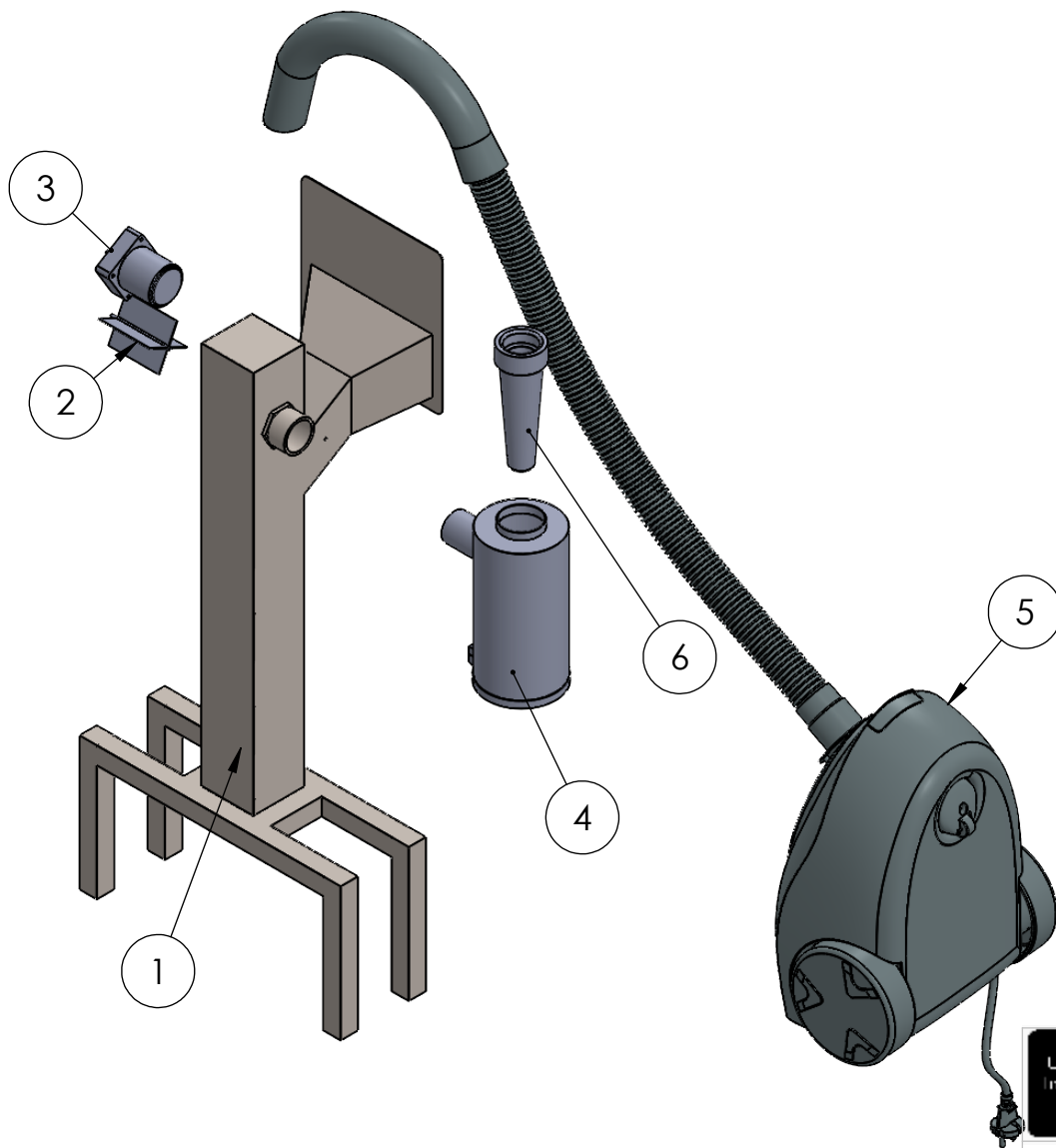


TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO
MOTOR DE MOLINO

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZALEZ JAIMES

HOJA 18/23



No. PIEZA	
1	Sección caída
2	Compuerta giratoria
3	Motor y poleas de compuerta
4	Ciclón de partículas
5	Aspiradora
6	Embudo entrada aspiradora



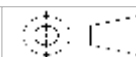
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:8

UNIDADES: cm

A4

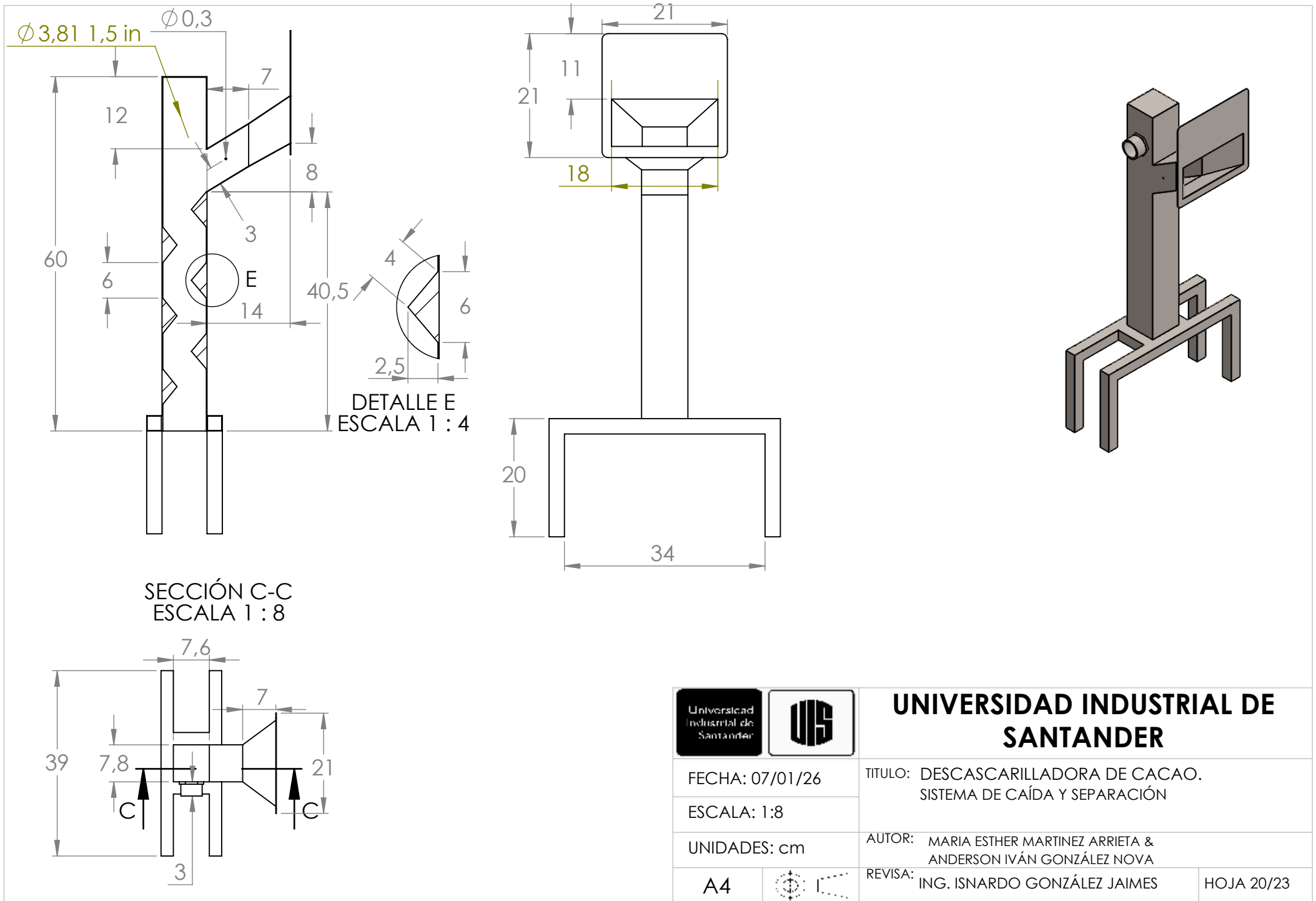


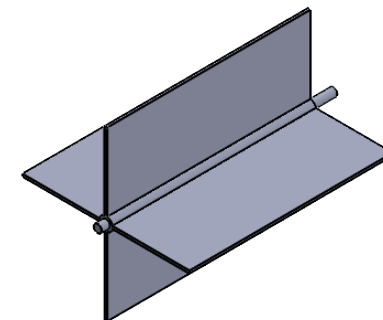
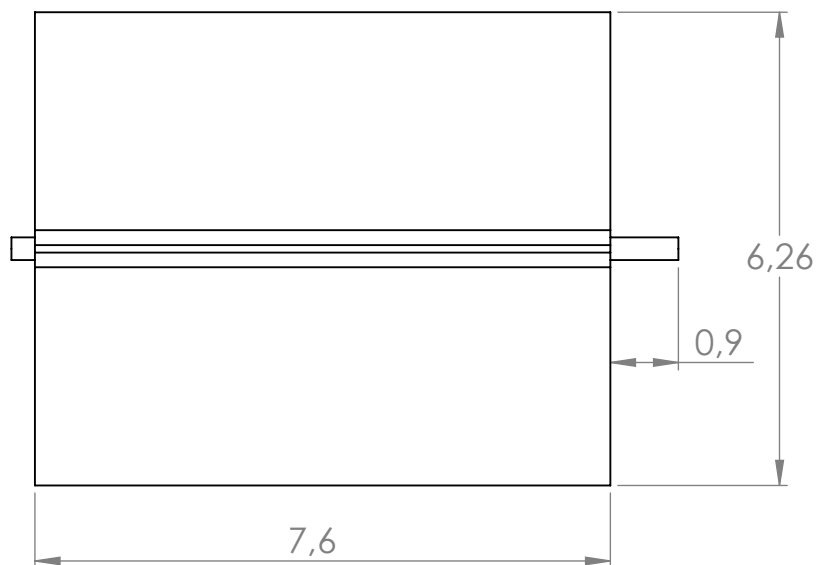
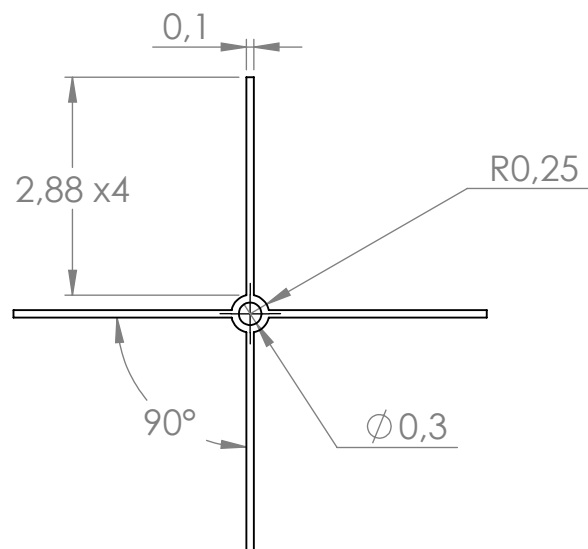
TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
SISTEMA DE CAÍDA Y SEPARACIÓN

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVIS: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 19/23





DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Compuerta de acero inoxidable de 4 aletas soldadas al eje



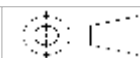
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:6

UNIDADES: cm

A4

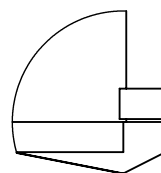
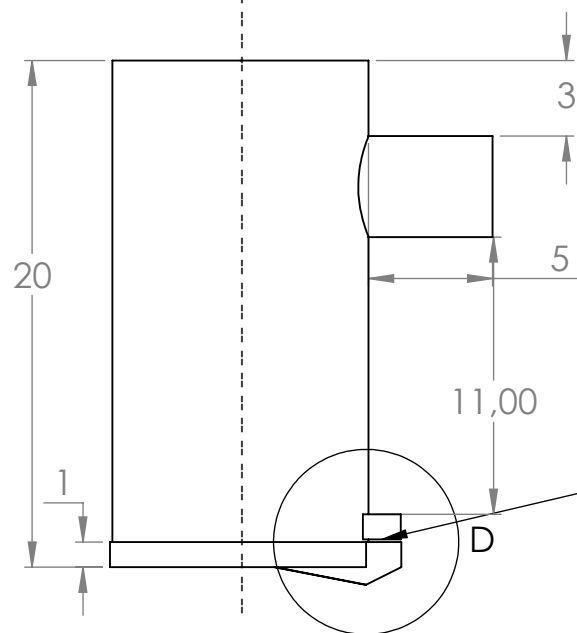
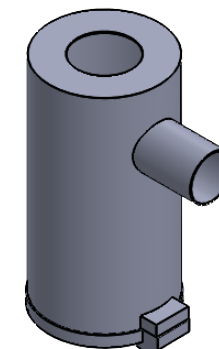
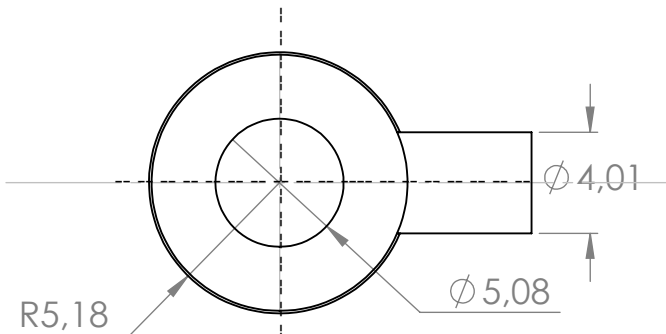


TÍTULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
COMPUERTA GIRATORIA

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 21/23



Compuerta circular
con visagra para
expulsión de cáscara
DETALLE D
ESCALA 2 : 5

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

XXXXXXXX



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:3

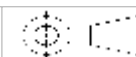
UNIDADES: cm

TITULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
CICLÓN DE PARTICULAS

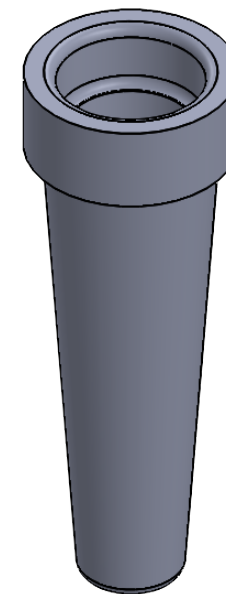
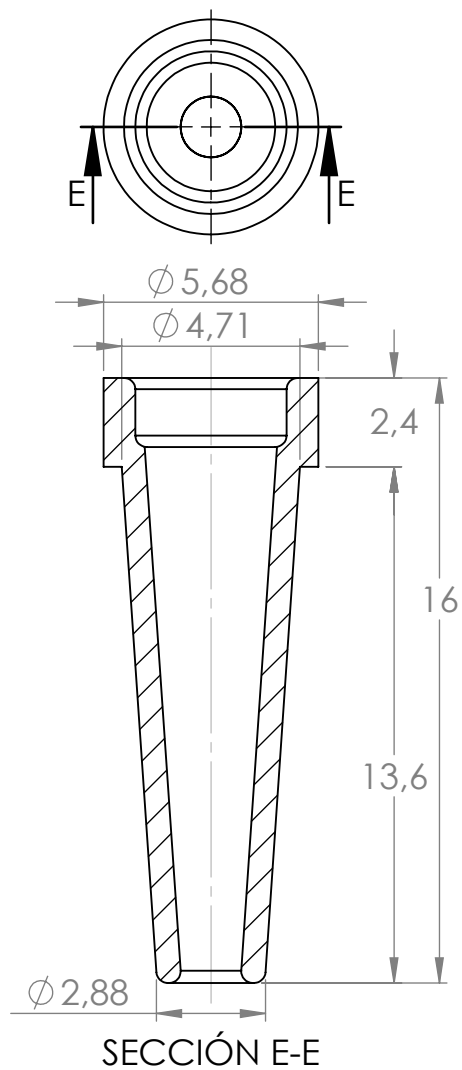
AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

A4



HOJA 22/23



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Cono plástico Dub186 Blower



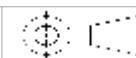
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 07/01/26

ESCALA: 1:2

UNIDADES: cm

A4



TÍTULO: DESCASCARILLADORA DE CACAO.
CONO

AUTOR: MARIA ESTHER MARTINEZ ARRIETA &
ANDERSON IVÁN GONZÁLEZ NOVA

REVISÁ: ING. ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES

HOJA 23/23