



## Rediseño y Puesta en Marcha de Molino de Laminación Experimental

Marlon Arboleda Tapia<sup>(1)</sup>, Andrea Avegno Zambrano<sup>(2)</sup>, Ignacio Wiesner Falconi<sup>(3)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)<sup>(1)(2)(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, [marboled@espol.edu.ec](mailto:marboled@espol.edu.ec)

<sup>(2)</sup> Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, [aavegno@espol.edu.ec](mailto:aavegno@espol.edu.ec)

<sup>(3)</sup> Ing. Mecánico, Profesor FIMCP-ESPOL, [iwiesner@espol.edu.ec](mailto:iwiesner@espol.edu.ec)

Guayaquil – Ecuador<sup>(1)(2)(3)</sup>

### Resumen

*El propósito de esta tesis es poner en marcha el funcionamiento del molino experimental de laminación de redondos para realizar laminación de varillas de materiales no ferrosos: aluminio, zinc y bronce cuyas aleaciones son las más usadas en los diferentes sectores de la industria.*

*Se tomaron datos del equipo existente y luego se realizaron planos de las piezas que se encuentran en el taller, luego se realizó un esquema de funcionamiento. Se hizo un rediseño para mejorar el funcionamiento del laminador experimental para disminuir riesgos de accidentes en el personal de operación. Se fabricarán cojinetes de deslizamientos, con materiales como el ASM 850 (Al-Sn) más grafito, y ampuestas para asegurar los rodillos de laminación, se realizó la cimentación con su respectiva estructura, se calcularon y seleccionaron los elementos mecánicos de transmisión de poder, para su montaje en el laminador. No se hicieron pruebas de laminación en aleación de Al en molino experimental de rodillos planos, porque está dañado, se trató repararlo, pero el laboratorio prefirió a contratar personas externas y aun no está operativo.*

**Palabras Claves:** molino de laminación, cojinetes de deslizamiento, transmisión de poder, ASM 850.

### Abstract

*The purpose of this thesis is to launch the operation of experimental rolling mill for rolling round rods of non-ferrous materials: aluminum, zinc and brass alloys which are the most used in the various sectors of industry.*

*Data were collected on existing equipment and then made drawings of the pieces are in the workshop, followed by an outline of operation performed. There was a redesign to improve the functioning of the experimental mill to reduce accident risks in the operations personnel. Bushings bearings will be manufactured with materials such as ASM 850 (Al-Sn) plus graphite to ensure ampuestas rolling rolls, the foundation was made with the respective structure, the mechanical power transmission were calculated and selected, for installation in the mill. No tests were made of Al alloy rolling in experimental roller mill plans, because it is damaged, it must to be repaired, but the lab chose to hire outsiders and is not yet operational.*

**Keywords:** rolling mill, bushings bearings, mechanical power transmission, ASM 850.

### 1. Introducción

La laminación es uno de los procesos de transformación mecánica de metales más empleados, porque proporciona una alta productividad y un buen mando dimensional del producto acabado, que además puede obtenerse con gran precisión. El objetivo de la laminación es convertir secciones grandes, generalmente de sección cuadrada, en otras más pequeñas de diferentes formas.

El laminador de varillas es una máquina de fabricación y sus elementos básicos necesarios son tres: el mecanismo ejecutante, el motor y la transmisión.

Para la laminación el material se somete a tensiones compresivas altas, resultantes de la acción del prensado de los rodillos y a tensiones cizallantes superficiales, resultantes del roce entre los rodillos y el material. La reducción o desbaste inicial de los lingotes son normalmente realizadas por la laminación en caliente.

En la actualidad, en Ecuador no existen muchas empresas que realizan laminación en caliente y menos en frío en su gran mayoría con materiales ferrosos, no hay empresa alguna que realice laminados redondos de materiales no ferrosos, para lo cual existe la oportunidad de implementar este nuevo producto dentro del mercado nacional ya que es de mucha importancia para distintas aplicaciones, como procesos mecánicos, industriales, civiles, eléctricos, aeronáutica y artesanales, haciendo este estudio de laminación crucial para satisfacer estas necesidades y mucho más aun si la materia prima utilizada es material de reciclaje.

El objetivo principal de esta tesis es la puesta en marcha del molino de laminación experimental para la producción de redondos o varillas de materiales no ferrosos como la aleación de aluminio. Cabe resaltar en el fondo se busca crear pequeñas plantas de laminación para fomentar la producción de laminados de no ferrosos en país y ser competitivos en el mercado internacional.

Como objetivos específicos se tienen los siguientes: realizar el control calidad de las piezas a fundir requeridas para volver a ensamblar la máquina, es algo primordial en este proyecto, realizar un óptimo diseño y seleccionamiento del sistema de transmisión de potencia más adecuado para el molino de laminación.

### 2. Definición del problema

El molino de laminación experimental fue diseñado anteriormente por dos estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica (FIMCP) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) como tema de tesis de grado, dentro del marco del proyecto BID-ESPOL II donde se llevaba a cabo un programa de construcción de equipos; ambas tesis estaban enfocadas en el realizar laminados de redondos de acero en caliente (1200 °C) y mostraban el diseño de cada una de las partes que conforman el molino de laminación de redondos.

Lamentablemente el diseño establecido anteriormente desgastaba rápidamente los cojinetes de deslizamiento, además los cilindros de laminación presentaban fuga axial por lo cual el laminado era defectuoso.

Otro factor importante que no fue enfocado en el laminador, era la velocidad de rotación de los cilindros de laminación, estos giraban muy rápido y no existía un adecuado sistema de seguridad en la máquina; estos detalles fueron causa de accidentes de operarios.

Por esta razón se pensó en reconsiderar el proyecto, tomando en cuenta los factores antes mencionados y realizando una modificación en el material a laminar; en vez de acero, se consideró laminar metales no ferrosos y sus aleaciones.

#### 2.1. Estado inicial del molino

El molino ha estado fuera de servicio más de una década y al momento en que se decidió aceptar el proyecto se encontró la máquina desarmada, con algunas partes faltantes.



**Figura 1 – Estado inicial del molino de laminación**

Entre las partes encontradas tenemos un motor marca Weg de 100 hp y 1750 RPM, una polea de

aluminio con un diámetro  $\varnothing = 0,73$  m, la caja de piñones, tres árboles de transmisión, ampuestas incompletas, tres rodillos de laminación, dos carcasas o jaulas de fijación de los rodillos de laminación. Además se encontraron seguros contra giros de los cardanes o árboles de transmisión de movimiento, rigidizadores de la carcasa y varios pernos.

coeficiente de plasticidad  $[Kg/mm^2]$ ,  $\mu =$  coeficiente de rozamiento externo y  $v =$  velocidad de laminación  $[mm/s]$ .

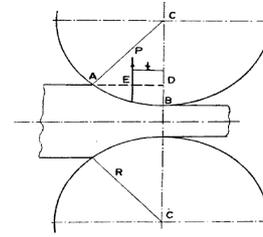
**Tabla 1 – Detalle de partes del laminador encontrados**

Cant.	Descripción	Estado
1	Motor WEG, 100 Hp	activo
1	Caja de piñones	activo
3	Rodillos de laminación	activo
3	Cardanes	activo
2	Parantes	activo
1	Polea	activo
2	Cojinetes de deslizamiento	falta
2	Tornillo regulador	activo
24	Vinchas de sujeción	activo
4	Resortes	falta
4	Barras de sist. Regulador de rodillos	activo
4	Cuñas	activo
6	Juntas de palma	incompl
3	Barras rigidizadoras	activo
2	Tornillo regulador de cuñas	activo
8	Ampuestas	activo

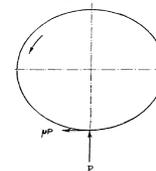
## 2.2. Reducción de la velocidad de rotación

Para la reducción de la velocidad de rotación  $\omega$  [RPM], primeramente encontramos la carga de laminación  $P$  [Kg] con el método de Ekelund para productos planos, para así poder realizar un sistema de transmisión adecuada para tener velocidad, torque y potencia necesaria.

Siendo:  $b_m =$  ancho medio,  $K_p =$  resistencia a la deformación plana homogénea  $[Kg/mm^2]$ ,  $E' =$



**Figura 2 – Posición del brazo t, donde se supone que actúa la carga de laminación.**



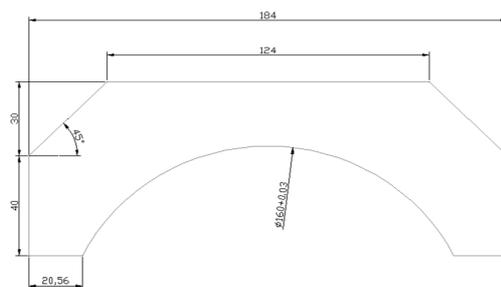
**Figura 3 – Fuerza generada por la fricción en los cuellos**

Luego para hallar el torque total absorbido por los cilindros T  $[Lb \times plg]$  será el torque de laminación más el rozamiento en los cuellos.

Entonces la potencia  $P_{ot}$  en [HP] es:

## 2.3. Rediseño de partes, cojinetes de deslizamiento para rodillos

Los cojinetes de deslizamiento a diferencia de los cojinetes de rodadura, que trabajan con fricción por rodadura, los cojinetes de contacto plano trabajan con fricción por deslizamiento. Por eso las pérdidas por fricción para los cojinetes de deslizamiento, que trabajan con frecuentes arranques y paradas, son mayores que las de los rodamientos.



**Figura 4 – Dimensiones del cojinete de deslizamiento**

Se decidió usar un cojinete de deslizamiento de sección pentagonal de la aleación de aluminio ASM 850 por su alta resistencia mecánica, buenas características para ser usada en cojinetes y menor costo de fabricación que el utilizar bronce que era el recomendado para este caso. A la aleación de aluminio se le añadió 0.25% de grafito para mejorar las propiedades antifricción.

### 2.3.1. Selección del sistema de lubricación

La lubricación se emplea, para reducir la fricción y el consumo de potencia relacionado con ella, para reducir el desgaste y evitar la corrosión en partes en movimiento y eliminar partículas abrasivas. En la lubricación con aceite se aprovechan las propiedades de: fluidez, viscosidad, adhesividad y capacidad calorífica. Cuando se emplea grasa se aprovecha su capacidad de lubricar sin fluir, es decir, tapar las superficies de fricción y también protegerlas de la corrosión y de la entrada de materias abrasivas. Así, la grasa se emplea mucho para superficies de fricción sin retenes o con un retén que no podría impedir el escape del aceite. La capacidad de la grasa de no fluir y permanecer por largo tiempo en el punto de fricción es también una considerable desventaja, puesto que no puede emplearse para eliminación del calor.

Con la siguiente ecuación podemos obtener la fricción del cojinete lubricado:

$$f = K_1 \frac{\mu n}{P}$$

Donde  $f$  el coeficiente de rozamiento en cojinetes lubricados y  $K_1$  una constante característica de cada cojinete; realizando una hoja de cálculo tenemos:

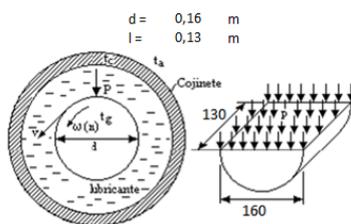


Figura 5 – Esquema de cojinetes

Coefficiente de fricción=	0,74	Aluminio-Hierro	
Peso	275 Kg	N=	40031,38 N
Carga Max	4084,84 Kg	F=	29623,22 N

S' = 0,03 m<sup>2</sup>  
 de = 0,000003 m  
 p = 1225229,3 Pa  
 K1 = 8772,98

Lubricante seleccionado	
μ = 3,38 Kg/m.s	μ = 4,50 Kg/m.s

Seleccionando

-

C.

Por lo tanto el coeficiente de fricción lubricado por grasa es  $f = 0,32$ .

El coeficiente de rozamiento  $f$  del cojinete y la carga  $P$  que actúa sobre el rodillo,  $R$  resulta:  $R = f.P$  donde  $P = p.l.d$ ; por lo tanto  $H = f.P.v \Rightarrow H = f.p.l.d.v$ ; dándonos como resultado:

P =	25484,77 N
R =	8255,11 N
H =	6639,15 Watts

Calor generado

El calor  $H$  disipado en la unidad de tiempo, puede obtenerse de la expresión:

$$H = h_i.A.(t_c - t_a)$$

**Tabla 2 – Conductancia interfaciales de algunos materiales a presiones moderadas**

Conductancias interfaciales de algunos materiales a presiones moderadas

Interface	$h_i \frac{W}{m^2.K}$
Cerámica - cerámica	500-3000
Cerámica - metal	1500-8500
Grafito metal	3000-6000
Acero inoxidable - acero inoxidable	1700-3700
Aluminio - aluminio	2200-12000
Acero inoxidable - aluminio	3000-4500
Cobre - cobre	10000-25000
Hierro - aluminio	4000-40000

Si se toma,  $H_i = 4000 \text{ W/m}^2.K$

$t_c = 350,80 \text{ K} =$	$77,80 \text{ }^\circ\text{C}$
$t_a = 300 \text{ K} =$	$27,00 \text{ }^\circ\text{C}$

Y luego,  $H_i = 40000 \text{ W/m}^2.K$

$t_c = 305,08 \text{ K} =$	$32,08 \text{ }^\circ\text{C}$
$t_a = 300 \text{ K} =$	$27,00 \text{ }^\circ\text{C}$

Entonces se puede asegurar que la temperatura del cojinete varía entre  $32,08 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $77,80 \text{ }^\circ\text{C}$ , valores que se encuentran dentro del rango de operación de la grasa; además de eso se fabricaron dos platinas de sujeción del rodillo superior de material bronce.

**Tabla 3 – Propiedades básicas de textolita, lignofol y bronce**

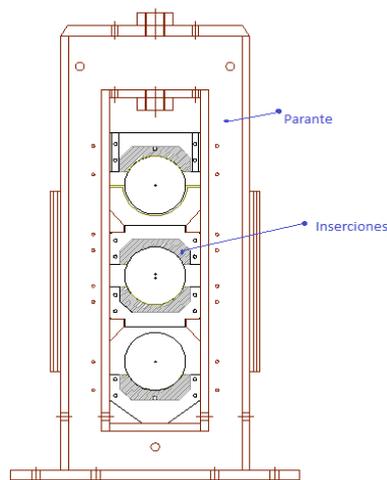
PROPIEDAD	Textolita		Lignofol		Lignoston	Bronce
	En capas	Fragmentos	Paralelo	Transversal		
Peso específico	1,3-1,4	1,25-1,45	1,35-1,45	1,35-1,45	1,2-1,25	8,8
Resistencia máxima a la compresión (Kg/mm <sup>2</sup> )						
a lo largo las fibras	13,0-13,5	> 19	15-20	13-15	10,0-12,0	45
transversalmente a las fibras	23,0-24,5	> 10-13	-	-	6,0-7,0	45
Módulo de elasticidad (kg/mm <sup>2</sup> )	500-1100	-	-	-	-	10000
Conductividad térmica (Kcal/m.h.°C)	0,2-0,3	-	-	-	-	55
Resistencia térmica (°C)	140-150	-	-	-	300	700



**Figura 6 – Platinas de Bronce**

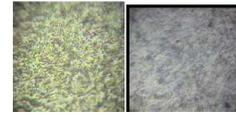
### 3. Construcción de partes y montaje

Una vez obtenido el modelo del cojinete, se realizo en sus bordes curvaturas para que pueda acoplarse con los rodillos de laminación y también reducir la concentración de esfuerzos, después de haber mecanizado el modelo y haber dejado sus dimensiones en un 15 % incrementadas debido a la compensación por contracción lineal y volumétrica que sufre el metal al momento de solidificarse, se fundieron 8 cojinetes de deslizamiento.



**Figura 7 – Disposición de cojinetes en molino de laminación**

Al fundir el lote de cojinete se aprovecha para obtener una muestra del material para realizar el control metalúrgico de la aleación



**Figura 8 – Micrografía de medallones**

Obteniendo una dureza de 45 HB, quedando los cojinetes como se muestra a continuación



**Figura 9 – Cojinetes**

Y montados con los rodillos de laminación



**Figura 10 – Montaje de los rodillos**

#### 3.1. Cálculos y planos de fabricación de partes para transmisión

Se elige a través de una matriz de decisión cual es el sistema de transmisión que cumpla con los siguientes factores:

- Seguridad
- Menor tiempo de construcción
- Menor espacio a ocupar
- Menor costo

Y los sistemas de transmisiones planteados son:

- **Sistema 1:** transmisión de potencia solamente bandas y poleas
- **Sistema 2:** transmisión de potencia primera parte con bandas y poleas y segunda parte con catalinas y cadenas

- **Sistema 3:** transmisión de potencia por medio de reductor sinfín-corona
- **Sistema 4:** transmisión de potencia a través del moto-reductor y catalinas y cadenas

**Tabla 4 – Matriz de decisión**

Calif.	Característica	Sist. 1	Sist. 2	Sist. 3	Sist. 4
3	Seguridad	3	3	3	3
3	Tiempo de Construcción	2	1	0	3
2	Menor espacio a ocupar	0	0	2	2
2	Menor Costo	1	1	0	2
10	Calif. Total	6	5	5	10

Y por medio de esta matriz se escoge el sistema 4.



**Figura 11 – Moto-Reductor**

Realizando una hoja de cálculo para ver cuanto potencia, torque y velocidad da el moto-reductor para así seleccionar el sistema de transmisión por catalinas y cadenas adecuada.

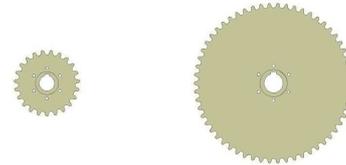
Potencia	51.5 Kw	69.06 Hp
velocidad angular de motor	1170 RPM	
# de dientes del piñon	30 dientes	
# de dientes del engrane	147 dientes	
Velocidad angular de salida reductor placa	240 RPM	
Diametro exterior piñon	108 mm	
potencia requerida para laminar	65.15 HP	
Torque Requerido para laminar	42755.30 Lb.Pulg	
Velocidad requerida para laminar	96 RPM	
ratio	4.9	
velocidad angular de salida del reductor	238.77551	239 RPM
Diametro aproximado de la corona	529.2 mm	
Potencia perdida	3.91 HP	
Potencia perdida en el reductor	1.56 HP	
Potencia perdida con catalinas y cadenas	2.35 HP	
Potencia de salida del reductor	67.50 HP	
Torque de salida del reductor	17792.33 Lb.pulg	
Potencia en el Laminador	65.15 HP	
Torque en el Laminador	42755.30 Lb.pulg	

Con estos datos se selecciona el sistema de transmisión por catalinas y cadenas, utilizando el manual Martin.

Valores seleccionados		
Potencia 2 (Hp)	67.50 HP	50.35 Kw
Ratio	2.5	
Velocidad angular $\omega_1$ (RPM)	239	
Velocidad angular $\omega_2$ (RPM)	95.6	
Numero de diente Z1	23	cadena #120

Según Martins			
Clasificación de servicio	Moderate shock load		
Factor de servicio	1.3		
Potencia de servicio 2 (Hp)	87.75	65.46 Kw	
Ratio	2.50	Valores ajustados a la tabla de combinaciones de catalinas	
Numero de diente Z2	58		
Velocidad angular $\omega_2$ (RPM)	95.60		
Paso	1.5	38.1 mm	Nº 120 (grafica)
Diam. De paso 1 (pulg)	11.02	279.81 mm	
Diam. Externo 1 (pulg)	11.814	300.08 mm	C 771.5885
Diam. De paso 2 (pulg)	27.71	703.76 mm	925.91
Diam. Externo 2 (pulg)	28.566	725.58 mm	
Distancia entre Centros Imp	27.00	pitches	
Longitud de la cadena (pitch)	95.37	pitches	143.05 pulg 3633.46 mm
Distancia entre Centros	27.00	pitches	40.50 pulg 1028.70 mm
Numero de cadenas	2	Por Gráfica Quick Selector Chart, pag E164	
Tipo de Lubricación	B	Lubricación por baño	
Ancho de diente de Catalina	22.71	mm	

Con la cual se realiza un plano de las catalinas

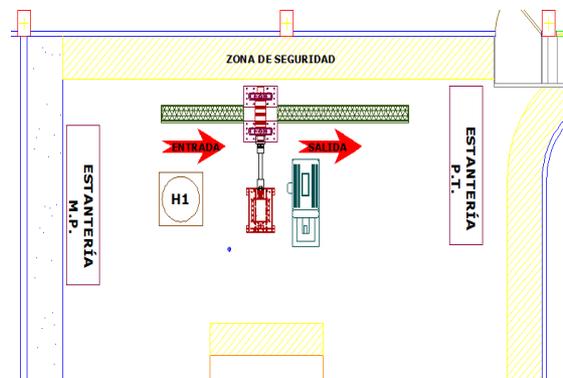


**Figura 12 – Catalinas**

Se consulta en el mercado nacional para realizar la compra de la catalina y cadena doble # 120 pero no lo habían, con lo cual se recurre a utilizar una catalina y cadena doble #140 de segunda mano y además de oportunidad de oferta con una relación de transmisión de 2.9, con la catalina impulsora de 12 dientes y la impulsada de 35 dientes, con el cual da una velocidad de laminación de 82.41 RPM.

### 3.2. Cálculo y construcción de cimentación para moto-reductor

Se realizó una distribución de planta quedando como se muestra



**Figura 13 – Distribución de planta**

Luego se realizó la marcación donde se iba a romper el concreto teniendo en cuenta el área proyectada de cada parte a montar, además siempre en una cimentación tiene que tener resistencia al asentamiento horizontal, asentamiento diferencial, cambios térmicos y protección anticorrosiva. Las cimentaciones deben ser diseñadas de tal forma que la maquinaria pueda ser colocada, nivelada, alineada y acoplada a su equipo auxiliar de la manera más exacta posible, para así evitar problemas en el momento de la operación de la maquinaria. El no tomar precauciones en el diseño podrían causar desalineamiento, vibraciones fuera de fase, roturas de arboles, falla en los acoples, etc.

Para verificar si la fundación es apropiada, se toma el peso de la máquina y se multiplica por 1.25. Este valor en Kg se divide por el área en  $\text{cm}^2$  de la fundación y debe dar máximo  $2.5 \text{ Kg/cm}^2$ , si es menor mucho mejor debido a que cada  $\text{cm}^2$  de la fundación esta a menor presión o esfuerzo de aplastamiento, el cual también me dice si esta cimentación se me va o no a hundir, si sale mayor a  $2.5 \text{ Kg/cm}^2$  hay que aumentar el área de esta cimentación, otro aspecto a tomar en cuenta es la vibración de la máquina para lo cual se toma un principio básico de análisis de vibraciones dándole mayor peso a la cimentación que el equipo a montar sobre ella. Con estos se calcula cual va a ser la altura de mi cimentación.

Peso m-r =	1000 Kg
% adicional=	25%
Peso ciment=	1250 Kg
Densidad concreto=	2400 $\text{Kg/m}^3$
Volumen ciment =	0,521 $\text{m}^3$
Area ciment=	1,48 $\text{m}^2$
Altura ciment=	0,35 m

Y a continuación se monta la máquina.



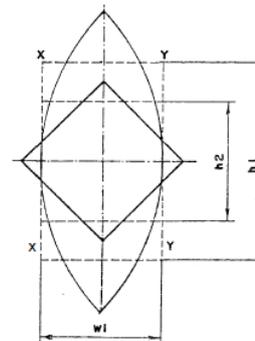
**Figura 14 – Montaje del moto-reductor**

## 4. Evaluación técnica y económica

### 4.1. Simulación de proceso de laminación en molino plano

El proceso de simulación se realiza en un molino de laminación plana para evaluar como varia la resistencia mecánica conforme se deforma el material. Las pruebas se realizan bajo los mismos parámetros de deformación que se usarían en el molino de laminación de redondos, algo que también ayuda a definir esta prueba es, si la laminación se debe realizar en frío o en caliente y como afecta la temperatura a la resistencia mecánica.

El método a utilizar para la simulación es el método del rectángulo equivalente.



**Figura 15 – Método del rectángulo equivalente**

Luego se emplean las formulas de Ekelund, que ha dado resultados aceptables:

La incógnita  $w_2$  se puede encontrar rápidamente por tanteo, donde:  $\mu$  = Coeficiente de fricción entre barra y rodillos,  $R$  = (Radio del barril + Espacio entre rodillos -  $h_2$ ) / 2

### 4.2. Costo del proyecto y costo del producto

El molino de laminación de redondos esta avaluado en \$15000, mostrado en la tabla 5

**Tabla 5 – Listado de partes del laminador con su precio**

Descripción	Cantidad	Costo uni.	Costo total
Moto-reductor	1	3500,00	3500,00
Catalinas conductoras	2	300,00	600,00
Catalina conducida	2	600,00	1200,00
Cadena N° 140	1	630,00	630,00
Parante	2	600,00	1200,00
Ampuesa	8	76,00	608,00
Cojinetes de deslizamiento	8	50,00	400,00
Rodillos de laminación	3	900,00	2700,00
Tornillo regulador	2	25,00	50,00
Resortes	4	22,00	88,00
Pernos	50	35,00	1750,00
Pintura anticorrosiva	2	160,00	320,00
Cardanes	3	300,00	900,00
Cimentación	2	120,00	480,00
		\$	14426,00

Las dimensiones de la varilla cobre (ASM C17500) laminada serán: D= 10 mm, L=3 m, utilizando 2 operarios, trabajando la máquina 3 días a la semana, 8 horas diarias, el gasto total al año es:

Egresos	
Materia prima	154763.14
Consumo energético	4209.41
Mano de obra	5760
Costo del Equipo	15000
\$	179732.55
más 20% utilidad	35946.51
\$	215679.06

**Costo de producción**

**Valor total anual,**  
valor que debo recibir para que sea rentable

Si 23846.4 Kg la venderé en \$ 215679.06 / año, en cuanto podré vender 1 Kg:

Si la varilla pesa 2.07 Kg, el costo de la varilla será: \$ 18.71, precio accesible en el mercado ecuatoriano. En el primer año de operación de la máquina se puede recuperar la inversión debido a que se van a tener 11520 varillas por los \$ 18.71 que vale cada varilla dando un total al año de \$ 215571.45

## 5. Conclusiones

Luego de haber desarrollado este proyecto en un 90 % de lo esperado y que no fue culminado por circunstancias fuera del alcance de las personas a cargo del proyecto, se tienen las siguientes conclusiones:

Se cumplió con el objetivo de rediseñar el sistema de transmisión de potencia, se concluye que el conjunto moto-reductor y cadenas es el más apropiado, porque tiene costo accesible y hubo la facilidad de encontrarlas en el mercado.

El uso de la aleación de aluminio ASM 850 (Al-Sn) con grafito para los cojinetes fue una solución económica y fácil de llevar a cabo en las instalaciones de Intramet y será considerado como material de estudio, es un compuesto en matriz metálica, una imitación del hierro gris, que es considerado un material compuesto natural.

Antes de Obtener el Moto-Reductor, se encontró cual iba a ser la potencia, el torque y velocidad requerida para laminar Cobre y Aluminio las condiciones más críticas encontradas son: 65.15 HP de potencia, 42755.30 Lb.pulg y 96 RPM de velocidad, siempre y cuando se realice laminación en caliente, 350 °C para el cobre y 450 °C para el aluminio.

El costo de la varilla laminada que se obtuvo es accesible en el mercado y permite que este negocio sea rentable para las pequeñas industrias.

## Referencias

- [1] Tselikov A. I. y Sminov V. V., 1965, “Trenes de Laminación”, Ediciones Urmo, Portugal.
- [2] Trinks W., “Fundamentos de Laminación”, Graficas Osca S.A., España.
- [3] Joseph Shigley, 2003, “Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw Hill, Sexta Edición, University of Michigan.
- [4] Vargas Zúñiga A., “Montaje de Maquinaria Industrial”, 1989, Editorial Series VZ, Guayaquil.
- [5] Baumeister y Marks, “Manual del Ingeniero Mecánico”, 1980.
- [6] Darle W. Dudley, “Gear Handbook”, Mc Graw Hill, Primera Edición.
- [7] Martin, *Catalogo 1090*.
- [8] Robert I. Mabic, “Diseño de máquinas, 1986, Mc Graw Hill, Tercera Edición.
- [9] Casillas A. L., “Calculo de Taller”, Ediciones Maquinas.
- [10] Ríos Jara L., “Construcción de Rodillos para Molino de Laminación”, 1989, Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral.