

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA EL DISEÑO DE  
CARCASAS SOLDADAS PARA CAJAS REDUCTORAS DE  
ENGRANAJES CILÍNDRICOS

**ANEXOS**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecánico**, que presenta el bachiller:

**Michael Anderson Blas Cajas**

**ASESOR: Dr. Rosendo Franco Rodríguez**

Lima, Mayo del 2016

**ANEXO 1. ESPEORES DE PLANCHAS COMERCIALES**

**INFORMACIÓN DE “ACEROS AREQUIPA”**

**PLANCHAS GRUESAS LAMINADAS EN CALIENTE**

# Planchas Gruesas LAC

## LAMINADOS EN CALIENTE

**DENOMINACIÓN:**  
PGLAC A36.

**DESCRIPCIÓN Y USO:**  
Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación, de espesores mayores que 4.75 mm, destinadas para la construcción de silos, plataformas, embarcaciones, equipamiento pesado, carrocerías, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTMA36

**DIMENSIONES NOMINALES:**

PGLAC A36 (mm)			
5.9 x 1200 x 2400	6.0 x 1500 x 6000	6.0 x 2400 x 6000	
6.0 x 1200 x 2400	8.0 x 1500 x 6000	8.0 x 2400 x 6000	8.0 x 3000 x 6000
8.0 x 1200 x 2400	9.0 x 1500 x 6000	9.0 x 2400 x 6000	9.0 x 3000 x 6000
9.0 x 1200 x 2400	12.0 x 1500 x 6000	12.0 x 2400 x 6000	12.0 x 3000 x 6000
12.0 x 1200 x 2400	16.0 x 1500 x 6000	16.0 x 2400 x 6000	16.0 x 3000 x 6000
	19.0 x 1500 x 6000	19.0 x 2400 x 6000	19.0 x 3000 x 6000
	25.0 x 1500 x 6000	25.0 x 2400 x 6000	25.0 x 3000 x 6000
	32.0 x 1500 x 6000	32.0 x 2400 x 6000	32.0 x 3000 x 6000
	38.0 x 1500 x 6000	38.0 x 2400 x 6000	38.0 x 3000 x 6000
	50.0 x 1500 x 6000	50.0 x 2400 x 6000	50.0 x 3000 x 6000

Previa consulta y a pedido también se suministra en otras longitudes.

**ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADA (%):**

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	%P MÁX.	%S MÁX.	%SI MÁX.
A36	0.25 máx	0.8 - 1.20 (e < 3/4")	0.040	0.050	0.40

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

CALIDAD	NORMA ASTM	LÍMITE DE FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO (%) en 50 mm	DOBLADO
Estructural	A36	2,530 min.	4,080-5,610	20 min.	a 180° (opcional) Diámetro Pin= 3e Sentido Laminación

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**  
Según JIS G3193 Simplificado

ESPESOR NOMINAL (mm)	TOLERANCIAS (mm)				
	ESPESOR	APLANADO	ANCHO	LONGITUD	CAMBER
5.9	± 0.50	14			
6	± 0.50	13			
8.0, 9.0	± 0.55	13	+15	+25	5mm/m
12.0	± 0.55	12	-0	-0	máx
16.0, 19.0	± 0.65	12			
25.0, 32.0, 38.0	± 0.70	9			
50.0	± 0.80	8			

LFD001DM / 05 / FEB 15

PLANCHAS DELGADAS LAMINADAS EN CALIENTE

# Planchas Delgadas LAC

## LAMINADOS EN CALIENTE

**DENOMINACIÓN:**  
PDLAC A36

**DESCRIPCIÓN Y USO:**

Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación, de espesores menores que 4.75 mm, destinadas para la construcción de silos, embarcaciones pesqueras, vagones, estructuras y usos en general.

**NORMAS TÉCNICAS:**

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTMA36

**DIMENSIONES NOMINALES:**

CALIDAD ESTRUCTURAL PDLAC A36 (mm)	
1.2 x 1200 x 2400 mm	2.8 x 1200 x 2400 mm
1.5 x 1200 x 2400 mm	2.9 x 1200 x 2400 mm
1.8 x 1200 x 2400 mm	3.0 x 1200 x 2400 mm
1.9 x 1200 x 2400 mm	4.0 x 1200 x 2400 mm
2.0 x 1200 x 2400 mm	4.4 x 1200 x 2400 mm
2.2 x 1200 x 2400 mm	4.5 x 1200 x 2400 mm
2.3 x 1200 x 2400 mm	3.0 x 1500 x 6000 mm
2.4 x 1200 x 2400 mm	4.0 x 1500 x 6000 mm
2.5 x 1200 x 2400 mm	4.5 x 1500 x 6000 mm

Previa consulta y a pedido también se suministra en otras longitudes.

**ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADA (%):**

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	%P MÁX.	%S MÁX.	%SI MÁX.
A36	0.25 máx	0.8 - 1.20 (e <sub>c</sub> 3/4")	0.040	0.050	0.40

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

CALIDAD	NORMA ASTM	LÍMITE DE FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO (%) en 50 mm	DOBLADO
Estructural	A36	2,550	4,080-5,610	20 mín.	a 180° (opcional) Diámetro Pin = 3e Sentido Laminación

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**

Según JIS G3193

ESPESOR NOMINAL e (mm)	TOLERANCIAS (MM)					ESPESOR	
	CAMBER	APLANADO	ANCHO		LONGITUD	ANCHO 1200	ANCHO 1500
1.8 - 1.9	10 mm/m máx	18 máx	+30 -0	+35 -0	+25 -0	± 0.19	± 0.23
2.0 - 2.4		18 máx				± 0.20	± 0.25
2.5 - 3.0		18 máx	± 0.22	± 0.29			
4.0 - 4.75		14 máx	± 0.45	± 0.55			

CFDM002DM / 05 / FEB 15

## INFORMACIÓN “TRADISA”

### PLANCHA ESTRUCTURAL RESISTENTE A LA CORROSIÓN

	<b>PLANCHA ESTRUCTURAL RESISTENTE A LA CORROSION ATMOSFERICA (TIPO CORTEN)</b>																														
<p><b>Descripción:</b> Plancha de Acero Estructural de Alta Resistencia Mecánica y cuyos elementos de aleación ayudan a formar una capa protectora contra la corrosión atmosférica.</p>																															
<p><b>Usos:</b> Fabricación de tanques, silos, puentes, estructuras navales, equipos mineros, celdas de flotación.</p>																															
<p><b>PROPIEDADES MECANICAS</b></p>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">NORMA TECNICA</th> <th>F</th> <th>R</th> <th>A</th> <th rowspan="2">NORMA EQUIVALENTE</th> </tr> <tr> <th>Kg/mm<sup>2</sup></th> <th>Kg/mm<sup>2</sup></th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASTM A-242</td> <td>35 min</td> <td>48 min</td> <td>16 min</td> <td>JIS G-3125</td> </tr> <tr> <td>ASTM A-588 GRADO A</td> <td>36 min</td> <td>49 min</td> <td>16 min</td> <td>JIS G-3114</td> </tr> </tbody> </table>	NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%	ASTM A-242	35 min	48 min	16 min	JIS G-3125	ASTM A-588 GRADO A	36 min	49 min	16 min	JIS G-3114													
NORMA TECNICA		F	R	A		NORMA EQUIVALENTE																									
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%																												
ASTM A-242	35 min	48 min	16 min	JIS G-3125																											
ASTM A-588 GRADO A	36 min	49 min	16 min	JIS G-3114																											
<p><b>COMPOCISION QUIMICA</b></p>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ELEMENTO</th> <th>A-242</th> <th>A-588</th> <th>ELEMENTO</th> <th>A-242</th> <th>A-588</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>0.15 max</td> <td>0.19 max</td> <td>S</td> <td>0.05 max</td> <td>0.05 max</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>----</td> <td>0.30/0.65</td> <td>Cu</td> <td>0.20 max</td> <td>0.25/0.40</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>1.00 max</td> <td>0.80/1.25</td> <td>Cr</td> <td>----</td> <td>0.40/0.65</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>0.15 max</td> <td>0.04 max</td> <td>Ni</td> <td>----</td> <td>0.40 max</td> </tr> </tbody> </table>	ELEMENTO	A-242	A-588	ELEMENTO	A-242	A-588	C	0.15 max	0.19 max	S	0.05 max	0.05 max	Si	----	0.30/0.65	Cu	0.20 max	0.25/0.40	Mn	1.00 max	0.80/1.25	Cr	----	0.40/0.65	P	0.15 max	0.04 max	Ni	----	0.40 max	
ELEMENTO	A-242	A-588	ELEMENTO	A-242	A-588																										
C	0.15 max	0.19 max	S	0.05 max	0.05 max																										
Si	----	0.30/0.65	Cu	0.20 max	0.25/0.40																										
Mn	1.00 max	0.80/1.25	Cr	----	0.40/0.65																										
P	0.15 max	0.04 max	Ni	----	0.40 max																										
<p><b>DIMENSIONES STANDARD Y PESOS</b></p>																															
<p><b>SISTEMA INGLES</b></p>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DIMENSIONES Pulgadas / Pies</th> <th>PESO TEORICO Kg / pl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>=3/16 x 5 x 10</td> <td>173.20</td> </tr> <tr> <td>=1/4 x 5 x 10</td> <td>231.55</td> </tr> <tr> <td>=5/16 x 5 x 10</td> <td>291.71</td> </tr> <tr> <td>=3/8 x 5 x 10</td> <td>346.41</td> </tr> <tr> <td>=1/2 x 5 x 10</td> <td>463.10</td> </tr> <tr> <td>=5/8 x 5 x 10</td> <td>578.87</td> </tr> <tr> <td>=3/4 x 5 x 10</td> <td>694.65</td> </tr> <tr> <td>=1 x 5 x 10</td> <td>926.20</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSIONES Pulgadas / Pies	PESO TEORICO Kg / pl	=3/16 x 5 x 10	173.20	=1/4 x 5 x 10	231.55	=5/16 x 5 x 10	291.71	=3/8 x 5 x 10	346.41	=1/2 x 5 x 10	463.10	=5/8 x 5 x 10	578.87	=3/4 x 5 x 10	694.65	=1 x 5 x 10	926.20													
DIMENSIONES Pulgadas / Pies	PESO TEORICO Kg / pl																														
=3/16 x 5 x 10	173.20																														
=1/4 x 5 x 10	231.55																														
=5/16 x 5 x 10	291.71																														
=3/8 x 5 x 10	346.41																														
=1/2 x 5 x 10	463.10																														
=5/8 x 5 x 10	578.87																														
=3/4 x 5 x 10	694.65																														
=1 x 5 x 10	926.20																														

## PLANCHA Y BOBINA LAMINADA EN CALIENTE CALIDAD ESTRUCTURAL

<b>FIERRO TRADI S.A.</b>		<b>PLANCHAS Y BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE CALIDAD ESTRUCTURAL</b>			
<p><b>Descripción:</b> Producto Plano que se obtiene por Laminación de Planchones de Acero Estructural que previamente se calientan hasta una temperatura de 1250°C.                      Espesores: Varían entre 3.0 y 100 mm.                      Anchos: Entre 1200 mm y 2400 mm; siendo el Ancho Standard 1500 mm.                      Largo: 6000 mm.</p> <p><b>Usos:</b> Vigas, puentes, estructuras metálicas, tanques de almacenamiento, autopartes, torres de alta tensión, equipos mecánicos, etc.</p>					
<b>PROPIEDADES MECANICAS</b>					
<b>Plancha Estructural de Acero al Carbono de Baja Resistencia Mecánica</b>					
NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE	
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%		
ASTM A-283 Grado C	21 min	39 min	23 min	JIS G-3101 - SS34	
<b>Plancha Estructural de Acero al Carbono de Mediana Resistencia Mecánica</b>					
NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE	
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%		
ASTM A-36	25.3 min	41/56	20 min	DIN 17100 St 37-2 / St 44-2	
ASTM A-1011 SS36* Tp2	25.3 min	41/56	16 min		
ASTM A-1018 SS36* Tp2	25.3 min	41/56	18 min		
*Reemplaza a la Norma ASTM A-570 Grado 36 En TPI (Tipo 1) ver cuadro pag. 145					
<b>Plancha Estructural de Alta Resistencia Mecánica</b>					
NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE	
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%		
ASTM A-572 Grado 50	35 min	46 min	16 min	DIN 17100 St 52-3	
<b>Plancha Estructural de muy Alta Resistencia Mecánica</b>					
NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE	
	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	%		
ASTM A-514	70 min	77/91	18 min	JFE - HITEN 780 LE* SUMITEN 780 S*	

**DIMENSIONES STANDARD Y PESOS**

SISTEMA METRICO (mms)	TOLERANCIA ESPESOR +/- en mms	PESO TEORICO kg/pl	SISTEMA INGLES Espesor Equiv. (pulg)
3.0 x 1500 x 6000	0.32/0.32	211.95	1/8"
4.5 x 1500 x 6000	0.50 / 0.50	317.93	3/16"
6.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	423.90	1/4"
8.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	565.20	5/16"
8.0 x 2400 x 6000	0.8 / 0.3	904.32	5/16"
9.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	635.85	3/8"
9.0 x 2400 x 6000	0.8 / 0.3	1,017.36	3/8"
12.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	847.80	1/2"
12.0 x 2400 x 6000	0.9 / 0.3	1,356.48	1/2"
16.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	1,130.40	5/8"
16.0 x 2400 x 6000	0.9 / 0.3	1,808.64	5/8"
20.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	1,413.00	3/4"
20.0 x 2400 x 6000	1.0 / 0.3	2,260.80	3/4"
25.0 x 1500 x 6000	1.0 / 0.3	1,766.25	1"
25.0 x 2400 x 6000	1.2 / 0.3	2,826.00	1"
32.0 x 1500 x 6000	1.3 / 0.3	2,260.80	1 1/4"
32.0 x 2400 x 6000	1.5 / 0.3	3,617.28	1 1/4"
38.0 x 1500 x 6000	1.5 / 0.3	2,684.70	1 1/2"
38.0 x 2400 x 6000	1.7 / 0.3	4,295.52	1 1/2"
50.0 x 1500 x 6000	1.8 / 0.3	3,532.50	2"
50.0 x 2400 x 6000	2.0 / 0.3	5,652.00	2"
63.0 x 1500 x 6000	2.3 / 0.3	4,450.95	2 1/2"
63.0 x 2400 x 6000	2.8 / 0.3	7,121.52	2 1/2"
75.0 x 1500 x 6000	2.5 / 0.3	5,298.75	3"
75.0 x 2400 x 6000	3.0 / 0.3	8,478.00	3"
100.0 x 1500 x 6000	3.3 / 0.3	7,065.00	4"
100.0 x 2400 x 6000	3.8 / 0.3	11,304.00	4"

## **ANEXO 2. ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES INTERNOS**

Para realizar el diseño de las cajas reductoras se tienen generalmente los datos de potencia, relación de transmisión, velocidad de entrada, o algún otro con el que se puedan obtener los primeros. Entonces, es necesario realizar cálculos tentativos para conocer las variables involucradas en el diseño de la carcasa soldada (geometría de los engranajes, geometría de los árboles, geometría de los rodamientos, cargas) a partir de los requerimientos de la caja reductora (potencia, velocidad de entrada, relación de transmisión), lo cual permitirá realizar los análisis presentados en el subcapítulo 2.3

La geometría de los engranajes son los principales parámetros a determinar, ya que estos se estiman a partir de los datos de diseño de una caja reductora, luego se diseñan los demás componentes a partir de su geometría y cargas.

### **1. Geometría de los engranajes**

Una vez que se determinen las relaciones parciales de cada etapa de transmisión, por medio de las ecuaciones 1.13 – 1.15 se puede empezar a calcular cada par de engranajes. El cálculo es iterativo.

- *Determinación del módulo:*

Se debe empezar asumiendo el diámetro y material del engranaje. Con esto se puede estimar el valor del módulo del par de engranajes a partir de la siguiente fórmula empírica

$$m \approx \sqrt{\frac{657.5 * P}{v * \sigma}}$$

- $P$ : Potencia ( $kW$ )  
 $v$ : Velocidad tangencial ( $m/s$ )  
 $\sigma$ : Resistencia del material ( $MPa$ )

El valor del diámetro puede estimarse a partir de valores de módulo y número de dientes típicos para engranajes de media y alta potencia. También, se puede buscar el valor del número de dientes del piñón con la consideración que el producto de este valor y la relación de transmisión de la etapa debe dar un valor aproximado entero del número de dientes de la corona.

Esta fórmula empírica nos da un valor aproximado, el cual debe ser normalizado según la norma DIN 780, luego se podrá proceder al cálculo por resistencia.

**Tabla A1.1:** Lista de módulos normalizados según DIN 780.

Módulos normalizados Serie 1 (mm)							
0.1	0.12	0.16	0.20	0.25	0.3	0.4	0.5
0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25	1.5	2
2.5	3	4	5	6	8	10	12
16	20	25	32	40	50	60	

- Ecuación de Lewis:

El método de Lewis fue base para la norma AGMA, la cual es la norma más empleada para el diseño de engranajes. No se sigue la norma AGMA debido a que esta considera un gran número de factores, pero estos no son tema de este trabajo. Para obviar estos factores se considerará un factor de seguridad mayor.

Esta ecuación se concluye de considerar al diente del engranaje como una viga en voladizo con la aplicación de la fuerza tangencial en el extremo del diente. La ecuación de Lewis nos entrega el valor de la fuerza tangencial máxima que puede transmitir el engranaje.

$$F_t = \sigma_{Adm} * B * Y * m$$

$F_t$ : Fuerza tangencial (N)

$\sigma_{Adm}$ : Esfuerzo admisible (MPa)

$B$ : Grosor de la cara de la rueda dentada (mm)

$m$ : Paso diametral (mm)

Y: Factor de forma de Lewis

Este valor debe ser mayor a la fuerza que se aplicará en los engranajes en su funcionamiento. Esta última fuerza se puede calcular a partir de la ecuación 1.6. El valor del esfuerzo admisible se tiene del material que se consideró al iniciar la iteración.

El factor de forma de Lewis se puede obtener de la siguiente tabla la cual muestra valores de Y, según el número de dientes para un ángulo de presión de  $20^\circ$ .

**Tabla A1.2:** Factor de forma de Lewis para ángulo de presión de  $20^\circ$  según número de dientes.

Z	Y	Z	Y	Z	Y
10	0.2	25	0.3	40	0.4
11	0.2	26	0.3	43	0.4
12	0.3	27	0.4	45	0.4
13	0.3	28	0.4	50	0.4
14	0.3	29	0.4	55	0.4
15	0.3	30	0.4	60	0.4
16	0.3	31	0.4	65	0.4
17	0.3	32	0.4	70	0.4
18	0.3	33	0.4	75	0.4
19	0.3	34	0.4	80	0.4
20	0.3	35	0.4	90	0.4
21	0.3	36	0.4	100	0.5
22	0.3	37	0.4	150	0.5
23	0.3	38	0.4	200	0.5
24	0.3	39	0.4	300	0.5

Con esto se puede estimar el ancho que debe tener el par de engranajes para poder transmitir la fuerza tangencial necesaria. El ancho debe estar entre un valor de 8 a 12 veces el módulo. Si el cálculo indica que el ancho tiene un valor mayor, entonces se procede a variar el diámetro de los engranajes y luego el material.

Si bien, el diámetro de los engranajes es la única variable de los engranajes que influye en el diseño de la carcasa, debemos determinar el ancho de los mismos, ya que este nos permite determinar el largo que debe tener el árbol de transmisión.

## 2. Geometría de árboles.

Para realizar el diseño de los árboles de transmisión se empieza con un cálculo tentativo para estimar la geometría que tendrá el árbol con la consideración de la geometría de los elementos que irán sobre el mismo

Ahora bien, para calcular el largo de los árboles se considera el ancho de los engranajes. Para una caja reductora se determinará el largo considerando el árbol con los engranajes más anchos. El árbol lleva sobre sí elementos como separadores, espacios libres para evitar el contacto de este con otros elementos, por lo que se considera un valor mayor al de los anchos de los engranajes. Los otros árboles tendrán la misma longitud que este árbol.

Con las medidas se puede realizar el DCL de los árboles lo cual nos permite conocer las cargas más altas mediante las ecuaciones de equilibrio para elementos espaciales, como se aprecia en la Figura 2.3.

Los esfuerzos bajo los que estará sometido el árbol son esfuerzo por flexión ( $\sigma_f$ ) y esfuerzo por torsión ( $\tau_t$ ). Estos se pueden determinar con las siguientes expresiones:

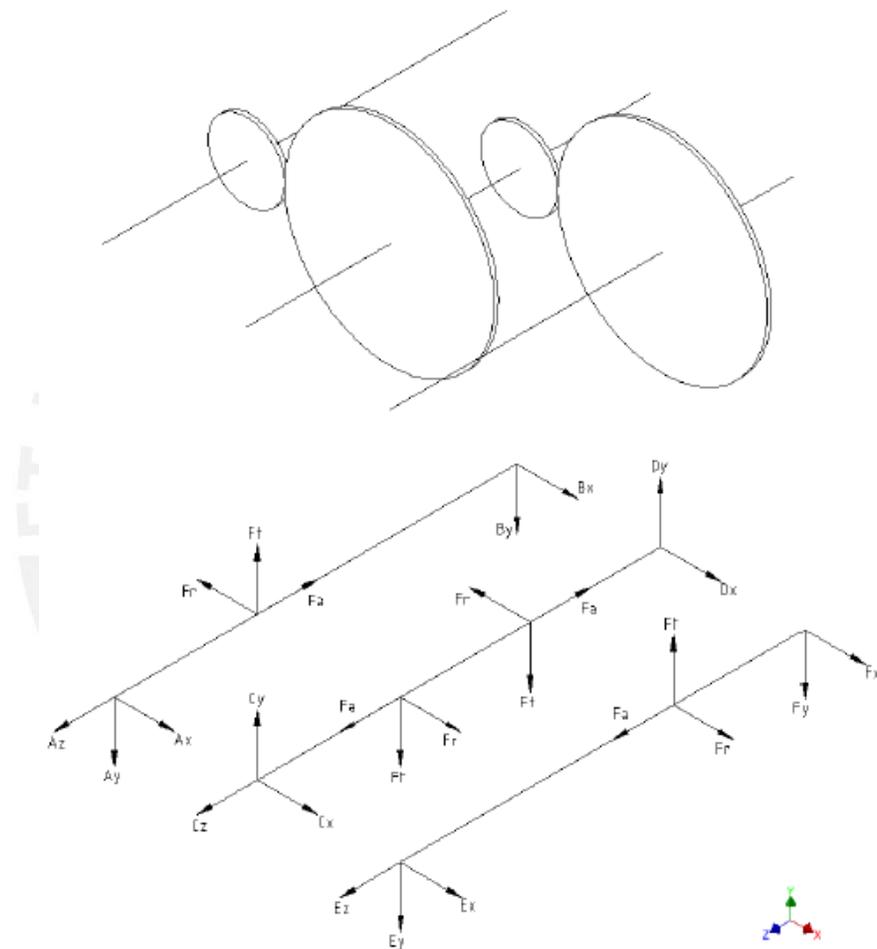
$$\sigma_f = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$

$$\tau_t = \frac{16 * M_t}{\pi * d^3}$$

Para esto se debe determinar la zona o sección sometida a mayor esfuerzo. Se deberá calcular el esfuerzo equivalente el cual deberá ser menor al esfuerzo de fluencia admisible ( $\sigma_{Fadm}$ ). Con esto se podrá determinar el diámetro mínimo que deberá tener dicha sección. La expresión del esfuerzo equivalente ( $\sigma_{eq}$ ) se puede simplificar [8]:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + \tau_t^2}$$

$$\sigma_{Fadm} = \frac{\sigma_{fluencia}}{FSr} \quad FSr = 3 \dots 5$$



**Fig. A1.1.** Diagrama de fuerzas de los árboles de un reductor de dos etapas.

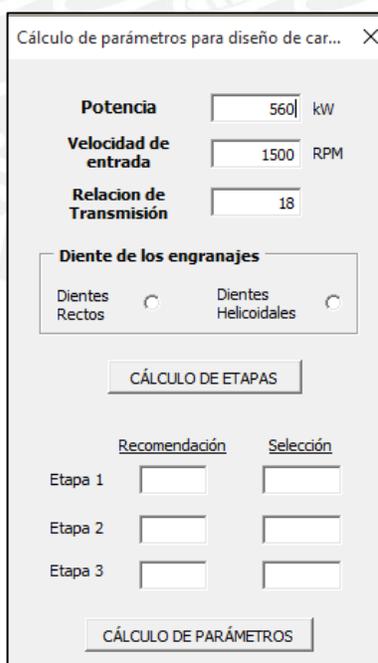
Se debe resaltar que este cálculo nos permite encontrar unas de las variables más importantes para el diseño de las carcasas: las reacciones en los alojamientos.

### 3. Selección de rodamientos

Con el valor del diámetro del árbol y las cargas en los rodamientos se puede seleccionar el rodamiento adecuado, lo cual nos brindará las medidas más importantes de los mismos como diámetros exterior y ancho. Para el cálculo de los rodamientos se sigue la guía de selección de rodamientos brindada por la empresa SKF.

### 4. Automatización de cálculos

Como se mencionó, se necesita obtener data para poder realizar un análisis de las carcasas, por esto se estimará la geometría de los componentes de varias cajas reductoras, la cual es empleada como parámetros de entrada en el algoritmo a desarrollar. Debido a que estos son cálculos extensos e iterativos se creó un algoritmo con las consideraciones mencionadas anteriormente y se implementó en el software *VBA for Applications* con el objetivo que realice estos cálculos de forma automática, lo cual permite disminuir el tiempo en la obtención de data de entrada para los análisis presentados en el capítulo 2.



The image shows a software window titled "Cálculo de parámetros para diseño de car...". It contains several input fields and a section for gear selection. The input fields are: "Potencia" (560 kW), "Velocidad de entrada" (1500 RPM), and "Relacion de Transmisión" (18). Below these is a section titled "Diente de los engranajes" with two radio buttons: "Dientes Rectos" and "Dientes Helicoidales". There are two buttons: "CÁLCULO DE ETAPAS" and "CÁLCULO DE PARÁMETROS". At the bottom, there is a table with two columns: "Recomendación" and "Selección", and three rows: "Etapa 1", "Etapa 2", and "Etapa 3". Each row has two empty input boxes.

	Recomendación	Selección
Etapa 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Etapa 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Etapa 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Fig. A2.2.** Módulo para la estimación de geometría de componentes internos.

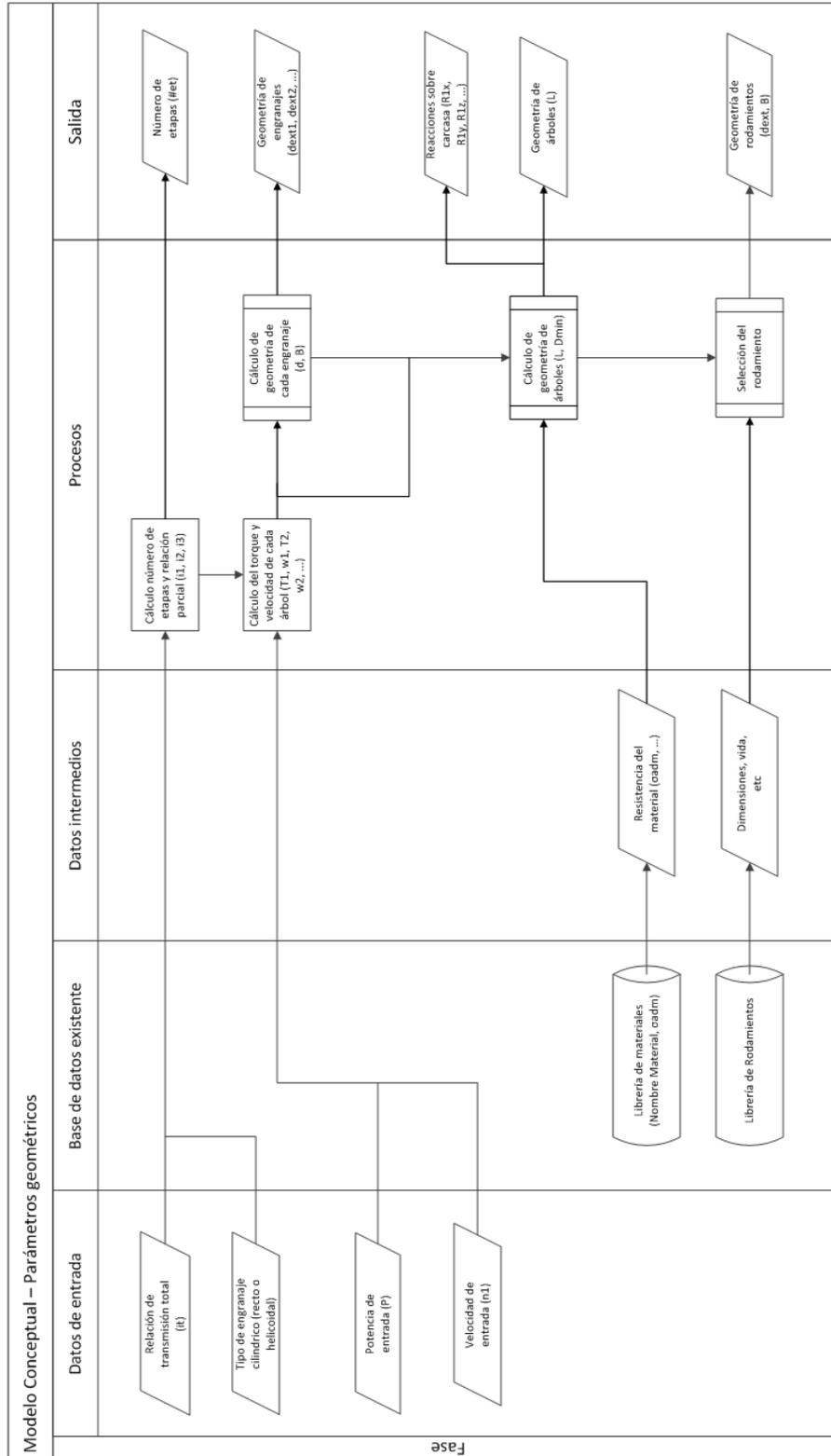


Fig. A2.3. Diagrama de flujo de la rutina “Estimación de las medidas de los componentes internos”.

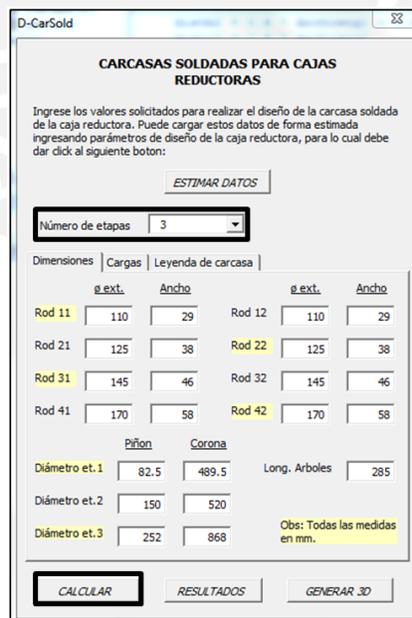
### ANEXO 3 EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL ALGORITMO DESARROLLADO

A continuación, se presenta una segunda aplicación del algoritmo que se ha desarrollado en el presente trabajo. Para esto se considera usar un reductor de media potencia de la empresa Tecnogroup. Los datos nominales de este reductor son:

**Tabla 4.1.** Datos de la caja reductora de un molino de bolas.

<b>Vel. de entrada</b> <i>rpm</i>	<b>Vel. de salida</b> <i>rpm</i>	<b>Potencia</b> <i>kW</i>
1450	18	119.3

Con esto se procede a calcular las relaciones de transmisión, engranajes, árboles entre otros elementos. Luego de esto se ingresa al módulo generado para proceder a diseñar la carcasa soldada. En este formulario se ingresará el número de etapas del reductor, en este ejemplo será 3. Luego, se procede a llenar los datos en las pestañas. Se debe indicar las dimensiones generales de los componentes internos y luego en la segunda pestaña se indicarán las cargas sobre cada uno de los apoyos. Esto se aprecia en la Figura A3.1.



**Dimensiones** | Cargas | Leyenda de carcasa

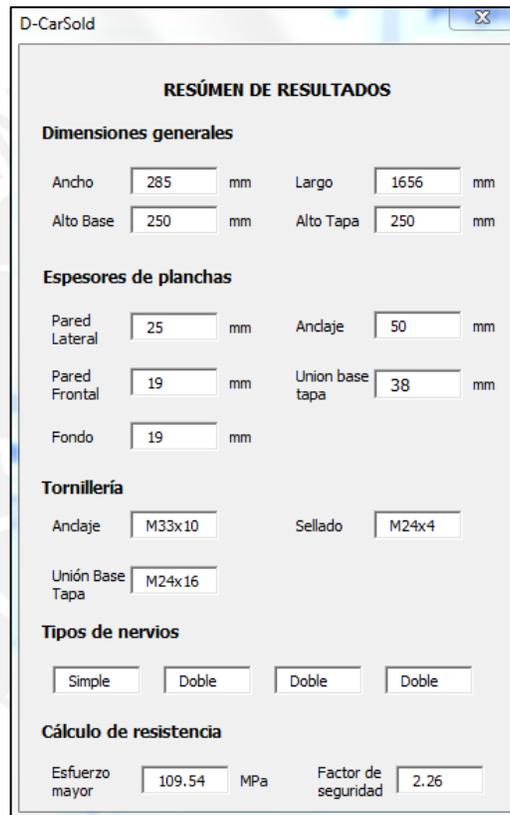
	e.ext.	Ancho		e.ext.	Ancho
Rod 11	110	29	Rod 12	110	29
Rod 21	125	38	Rod 22	125	38
Rod 31	145	46	Rod 32	145	46
Rod 41	170	58	Rod 42	170	58

Piñon: Diámetro et.1: 82.5, Corona: 489.5, Long. Arboles: 285  
 Diámetro et.2: 150, Corona: 520  
 Diámetro et.3: 252, Corona: 868

Obs: Todas las medidas en mm.

**Fig. A3.1.** Datos de los componentes internos ingresados.

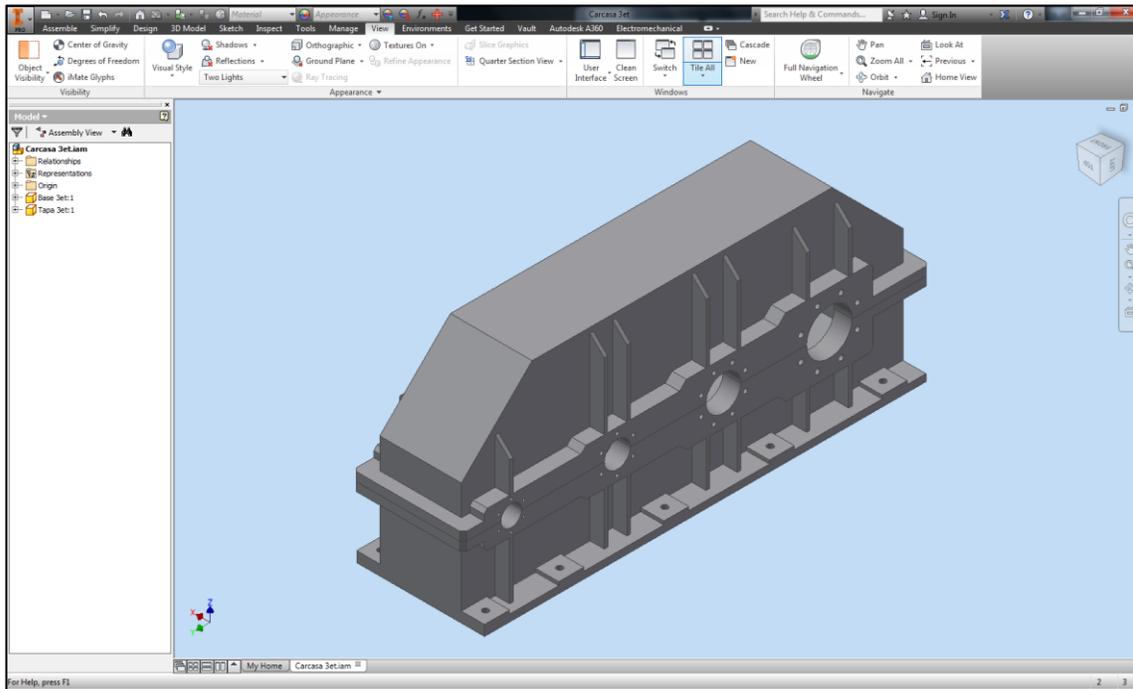
Para realizar el cálculo y diseño de la carcasa soldada, se realiza *click* en el botón CALCULAR, el cual ejecutará el código del algoritmo implementado. Para ver la hoja resumen de resultados se realiza *click* en el botón RESULTADOS. La hoja de resultados se aprecia la Figura A3.2. En esta es necesario observar que el procedimiento para calcular el esfuerzo es de 109.54 MPa, esto será comprobado al realizar un análisis por elementos finitos en *Ansys Mechanical*.



RESÚMEN DE RESULTADOS					
<b>Dimensiones generales</b>					
Ancho	285	mm	Largo	1656	mm
Alto Base	250	mm	Alto Tapa	250	mm
<b>Espesores de planchas</b>					
Pared Lateral	25	mm	Anclaje	50	mm
Pared Frontal	19	mm	Union base tapa	38	mm
Fondo	19	mm			
<b>Tornillería</b>					
Anclaje	M33x10		Sellado	M24x4	
Unión Base Tapa	M24x16				
<b>Tipos de nervios</b>					
<input type="checkbox"/> Simple	<input type="checkbox"/> Doble	<input type="checkbox"/> Doble	<input type="checkbox"/> Doble		
<b>Cálculo de resistencia</b>					
Esfuerzo mayor	109.54	MPa	Factor de seguridad	2.26	

**Fig. A3.2.** Hoja de resultados del ejemplo.

Para volver al formulario inicial simplemente se debe cerrar la hoja de resultados. Finalmente, para generar y poder visualizar el modelo 3D se debe ir al botón GENERAR 3D, el cual luego de realizar el dimensionamiento del modelo 3D, abrirá el ensamble en el programa *Autodesk Inventor*. Mediante este se puede visualizar todas las demás medidas de la carcasa soldada que se diseñó.



**Fig. A3.3.** Modelo 3D del ensamble base-tapa de la carcasa.