

## ANEXO 1-1: LISTA DE EXIGENCIAS

LISTA DE EXIGENCIAS			1/2
PROYECTO		DISEÑO DE UN EQUIPO ESCALDADOR DE ALCACHOFAS CON CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE 180 kg/h	FECHA: 14/12/12
CLIENTE		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	ELABORADO: D.V.M
FECHA	DESEO O EXIGENCIA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
14/12/12	E	<b>FUNCIÓN PRINCIPAL</b> Escaldar alcachofas con una capacidad de 180 kg/h.	D.V.M
14/12/12	E	<b>PRODUCCIÓN</b> La velocidad de la máquina debe de garantizar la producción.	D.V.M
14/12/12	E	<b>CALIDAD</b> La calidad de las alcachofas no será afectada durante la operación del equipo.	D.V.M
14/12/12	E	<b>ALIMENTACIÓN Y RECOLECCIÓN</b> Serán fácilmente adaptables a la línea de producción.	D.V.M
14/12/12	E	<b>MATERIA PRIMA</b> Alcachofas u otras hortalizas con similares requerimientos.	D.V.M
14/12/12	E	<b>CONTROL</b> El diseño del equipo garantizará el efectivo control del tiempo y temperatura del proceso de escaldado.	D.V.M
14/12/12	D	<b>OPERACIÓN</b> La operación del equipo será sencilla de tal manera que no se requiera capacitación especial del operario.	D.V.M
14/12/12	E	<b>SEGURIDAD</b> El diseño del equipo garantizará la integridad física del operador.	D.V.M

LISTA DE EXIGENCIAS			2/2
PROYECTO		DISEÑO DE UN EQUIPO ESCALDADOR DE ALCACHOFAS CON CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE 180 kg/hr	FECHA: 14/12/12
CLIENTE		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	ELABORADO: D.V.M
FECHA	DESEO O EXIGENCIA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
14/12/12	E	<b>FABRICACIÓN</b> Durante el diseño del equipo se buscará seleccionar materiales existentes en el mercado local para garantizar la viabilidad de la fabricación.	D.V.M
14/12/12	D	<b>MONTAJE</b> El equipo será de fácil montaje e instalación.	D.V.M
14/12/12	D	<b>MANTENIMIENTO</b> El diseño del equipo contemplará el mantenimiento sencillo de tal manera que este pueda estar a cargo de una persona con instrucción básica.	D.V.M
14/12/12	D	<b>ERGONOMÍA</b> La posición de los dispositivos de control de la máquina permitirá el fácil alcance del operario.	D.V.M

## ANEXO 1-2: CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

## Solución 1

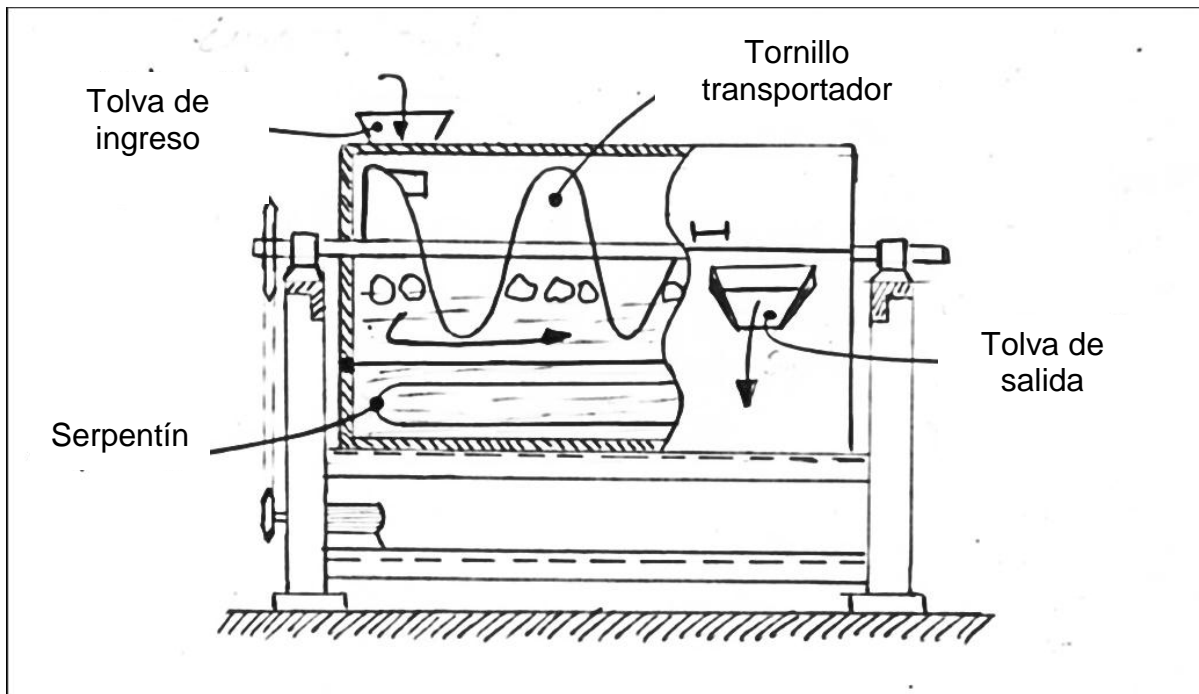
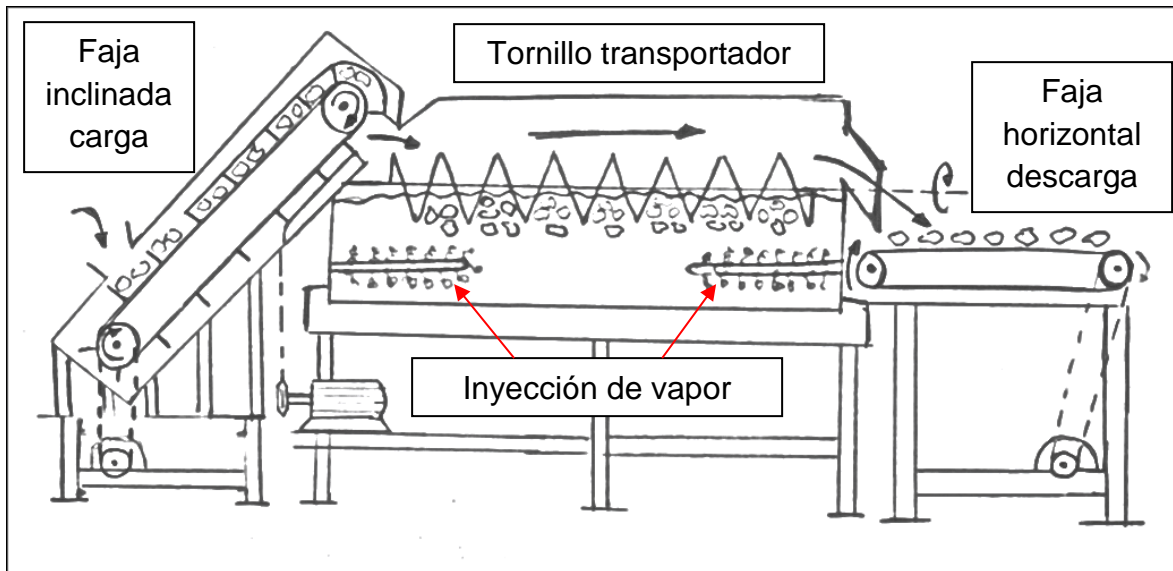


Figura A-2.1 Concepto de solución 1

En esta alternativa de solución, los productos ingresan al equipo por una tolva y son transportados a través del agua de escaldado por medio de un tornillo transportador. Este tornillo cuenta con una paleta de descarga que permite la salida de los productos por una segunda tolva. Este tornillo transportador es accionado por un motor eléctrico acoplado a un reductor y una transmisión por cadenas. El agua de escaldado es calentada por medio de un serpentín por el que circula vapor de agua.

Las ventajas de esta alternativa de solución son su autonomía, la capacidad de producción fluida y la posibilidad de recuperar el vapor de agua que circula por el serpentín.

## Solución 2



**Figura A-2.2** Concepto de solución 2

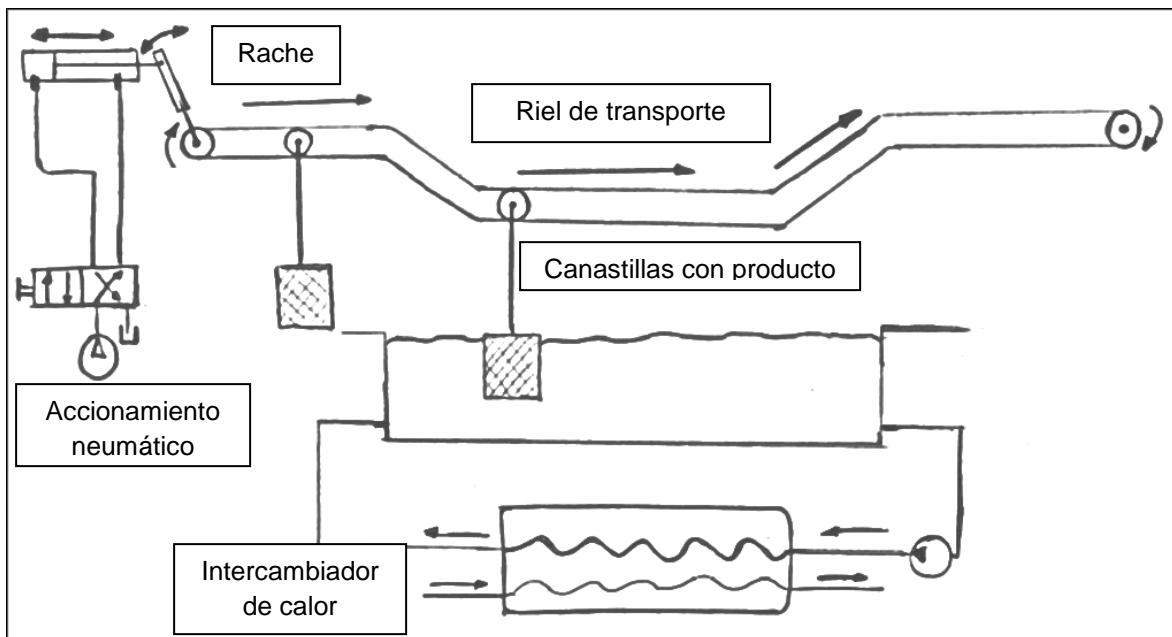
En esta solución, el producto ingresa al equipo mediante una faja inclinada. Ya adentro del equipo las alcachofas son transportadas a través del líquido de escaldado por medio de un tornillo transportador. Finalizado su recorrido, los productos salen del equipo por medio de una faja horizontal.

El tornillo transportador y las fajas serán accionados por motores eléctricos y el agua de escaldado será calentada mediante inyección de vapor de agua.

La ventaja de esta solución es que se pueden aprovechar las fajas de ingreso y salida para implementar etapas de pre-calentamiento y enfriamiento respectivamente. Además, presenta una alta capacidad de producción y autonomía.

Como desventajas, podemos encontrar la complejidad de la implementación, debido al gran número de componentes; el alto consumo de energía y que el vapor utilizado para el calentamiento del agua de escaldado se pierde y no es reutilizable.

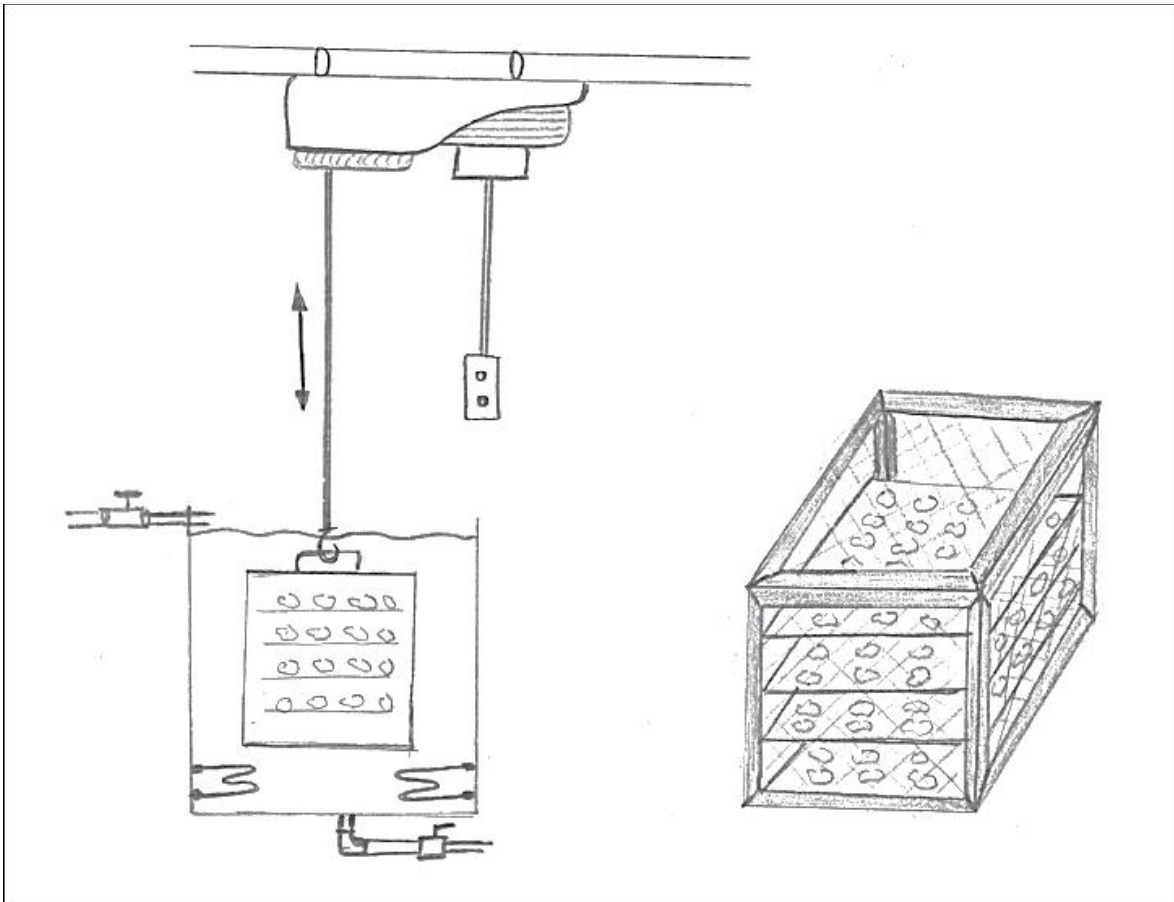
## Solución 3



**Figura A-2.3** Concepto de solución 3

En esta solución, los productos son dispuestos de forma manual en canastillas que cuelgan de un riel de transporte. Por medio de un rache, accionado por un pistón neumático, se consigue el movimiento discreto de las canastillas a lo largo del riel. Por la forma de este último, las canastillas son sumergidas en el líquido de escaldado, que es calentado por un intercambiador de calor externo al equipo.

La ventaja de esta solución es su simplicidad de funcionamiento. Por otro lado las desventajas, son su baja capacidad de producción y su bajo nivel de seguridad, pues involucra mayor intervención del operador.

**Solución 4****Figura A-2.4** Concepto de solución 4

En esta solución, los productos son dispuestos, de forma manual, en bandejas y estas son acomodadas en canastillas.

Con ayuda de un teclé eléctrico o manual se sumerge la canastilla en una cuba que contiene el agua de escaldado. Esta última es calentada mediante resistencias eléctricas.

La ventaja de este concepto de solución es su simplicidad y practicidad. Por otro lado, presenta como desventajas que no es un proceso continuo, requiere de alta energía eléctrica e involucra la participación continua del operador.



ANEXO 2: PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA ALCACHOFA

Tabla A2.1 Coeficientes para determinar las propiedades de los alimentos

Property	Component	Temperature function	Standard error	Standard % error
$k$ (W/m°C)	Protein	$k = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}T - 2.7178 \times 10^{-6}T^2$	0.012	5.91
	Fat	$k = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-3}T - 1.7749 \times 10^{-7}T^2$	0.0032	1.95
	Carbohydrate	$k = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}T - 4.3312 \times 10^{-6}T^2$	0.0134	5.42
	Fiber	$k = 1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}T - 3.1683 \times 10^{-6}T^2$	0.0127	5.55
	Ash	$k = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}T - 2.9069 \times 10^{-6}T^2$	0.0083	2.15
	Water	$k = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3}T - 6.7036 \times 10^{-6}T^2$	0.0028	0.45
	Ice	$k = 2.2196 - 6.2489 \times 10^{-3}T + 1.0154 \times 10^{-4}T^2$	0.0079	0.79
$\alpha$ (mm <sup>2</sup> /s)	Protein	$\alpha = 6.8714 \times 10^{-2} + 4.7578 \times 10^{-4}T - 1.4646 \times 10^{-6}T^2$	0.0038	4.50
	Fat	$\alpha = 9.8777 \times 10^{-2} - 1.2569 \times 10^{-4}T - 3.8286 \times 10^{-8}T^2$	0.0020	2.15
	Carbohydrate	$\alpha = 8.0842 \times 10^{-2} + 5.3052 \times 10^{-4}T - 2.3218 \times 10^{-6}T^2$	0.0058	5.84
	Fiber	$\alpha = 7.3976 \times 10^{-2} + 5.1902 \times 10^{-4}T - 2.2202 \times 10^{-6}T^2$	0.0026	3.14
	Ash	$\alpha = 1.2461 \times 10^{-1} + 3.7321 \times 10^{-4}T - 1.2244 \times 10^{-6}T^2$	0.0022	1.61
	Water	$\alpha = 1.3168 \times 10^{-1} + 6.2477 \times 10^{-4}T - 2.4022 \times 10^{-6}T^2$	$0.0022 \times 10^{-6}$	1.44
	Ice	$\alpha = 1.1756 - 6.0833 \times 10^{-3}T + 9.5037 \times 10^{-5}T^2$	$0.0044 \times 10^{-6}$	0.33
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Protein	$\rho = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1}T$	39.9501	3.07
	Fat	$\rho = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1}T$	4.2554	0.47
	Carbohydrate	$\rho = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}T$	93.1249	5.98
	Fiber	$\rho = 1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1}T$	8.2687	0.64
	Ash	$\rho = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}T$	2.2315	0.09
	Water	$\rho = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3}T - 3.7574 \times 10^{-3}T^2$	2.1044	0.22
	Ice	$\rho = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1}T$	0.5382	0.06
$c_p$ (kJ/kg°C)	Protein	$c_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}T - 1.3129 \times 10^{-6}T^2$	0.1147	5.57
	Fat	$c_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}T - 4.8008 \times 10^{-6}T^2$	0.0236	1.16
	Carbohydrate	$c_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}T - 5.9399 \times 10^{-6}T^2$	0.0986	5.96
	Fiber	$c_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3}T - 4.6509 \times 10^{-6}T^2$	0.0293	1.66
	Ash	$c_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}T - 3.6817 \times 10^{-6}T^2$	0.0296	2.47
	Water <sup>a</sup>	$c_p = 4.0817 - 5.3062 \times 10^{-3}T + 9.9516 \times 10^{-4}T^2$	0.0988	2.15
	Water <sup>b</sup>	$c_p = 4.1762 - 9.0864 \times 10^{-5}T + 5.4731 \times 10^{-6}T^2$	0.0159	0.38
	Ice	$c_p = 2.0623 + 6.0769 \times 10^{-3}T$	0.0014	0.07

<sup>a</sup> For the temperature range of -40 to 0°C.  
<sup>b</sup> For the temperature range of 0 to 150°C.

Tomado de Singh (2009)

**Tabla A2.2** Propiedades térmicas de la alcachofa

Temperatura	22 °C					
<b>Compuestos</b>	<b>X<sub>i</sub></b>					
Proteínas	0.027					
M. Grasa	0.002					
Carbohidratos	0.025					
Fibra	0.055					
Minerales	0.051					
Agua	0.84					
<b>Propiedad</b>	<b>Forma del modelo</b>	<b>Componente</b>	<b>K<sub>i</sub></b>	<b>X<sub>v</sub></b>	<b>K [W/m°C]</b>	<b>Unidades</b>
k Conductividad	$\sum_{i=1}^n K_i X_v$	Proteínas	0.2038	0.02	0.57	W/m°C
		M. Grasa	0.1199	0.00		
		Carbohidratos	0.2298	0.02		
		Fibra	0.2093	0.04		
		Minerales	0.3590	0.02		
		Agua	0.6066	0.89		
<b>Propiedad</b>	<b>Forma del modelo</b>	<b>Componente</b>	<b>ρ<sub>i</sub></b>	<b>ρ</b>	<b>Unidades</b>	
ρ Densidad	$1 / \sum_{i=1}^n X_i / \rho_i$	Proteínas	1318.4952	1050	Kg/m <sup>3</sup>	
		M. Grasa	916.4035			
		Carbohidratos	1592.2699			
		Fibra	1303.4504			
		Minerales	2417.6261			
		Agua	995.4306			
<b>Propiedad</b>	<b>Forma del modelo</b>	<b>Componente</b>	<b>C<sub>pi</sub></b>	<b>C<sub>p</sub></b>	<b>Unidades</b>	
C <sub>p</sub> Calor específico	$\sum_{i=1}^n C_{pi} X_i$	Proteínas	2.0342	3.77	KJ/Kg°C	
		M. Grasa	2.0143			
		Carbohidratos	1.5891			
		Fibra	1.8839			
		Minerales	1.1324			
		Agua	4.1768			
<b>Propiedad</b>	<b>Forma del modelo</b>	<b>Componente</b>	<b>α<sub>i</sub></b>	<b>α</b>	<b>Unidades</b>	
α Difusividad térmica	$\sum_{i=1}^n \alpha_i X_i$	Proteínas	0.0785	0.14	mm <sup>2</sup> /s	
		M. Grasa	0.0960			
		Carbohidratos	0.0914			
		Fibra	0.0843			
		Minerales	0.1322			
		Agua	0.1443			



**ANEXO 3-1: CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL PRODUCTO**

Para hallar la densidad de un producto compuesto por agua y otro elemento en suspensión usamos la siguiente expresión:

$$\rho_{lodo} = \rho_{agua} \times X_V + \rho_{solido} \times X_{Vsolido} \quad (A3-1.1)$$

Donde,

$\rho_{lodo}$  : Densidad del lodo en  $Kg/m^3$

$\rho_{agua}$  : Densidad del agua, 1000  $Kg/m^3$

$X_V$  : Fracción volumétrica del agua, para este caso 0,5

$\rho_{solido}$  : Densidad de las alcachofas, de anexo 2, 1050  $Kg/m^3$

$X_{Vsolido}$  : Fracción volumétrica de las alcachofas, para este caso 0,5

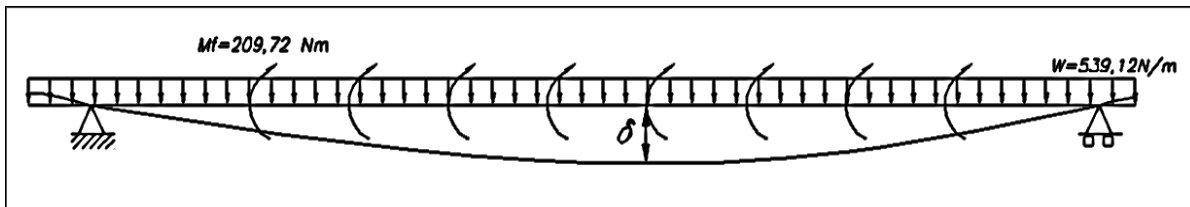
Reemplazando valores tenemos el siguiente resultado:

$$\rho_{lodo} = 1000 \times 0,6 + 1050 \times 0,4$$

$$\rho_{lodo} = 1020 \text{ Kg}/m^3$$

### ANEXO 3-2: VERIFICACIÓN DE LA DEFORMACIÓN TRANSVERSAL POR FLEXIÓN

Se verificará que la deflexión máxima del árbol esté dentro de los límites permisibles. Para esto se analizará el efecto que tienen la fuerza cortante distribuida y los momentos flectores que actúan sobre el árbol. En la *figura A3-2.1* podemos observar la curva elástica, con cierta exageración, que generan estas fuerzas y momentos sobre el árbol del transportador.



**Figura A3-2.1** Curva elástica de deflexión del árbol del transportador

Ahora se calculará la ecuación de la curva elástica para poder determinar el punto exacto de la deflexión máxima y el valor de esta. Para esto graficamos, como se muestra en la *figura A3-2.2*, los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

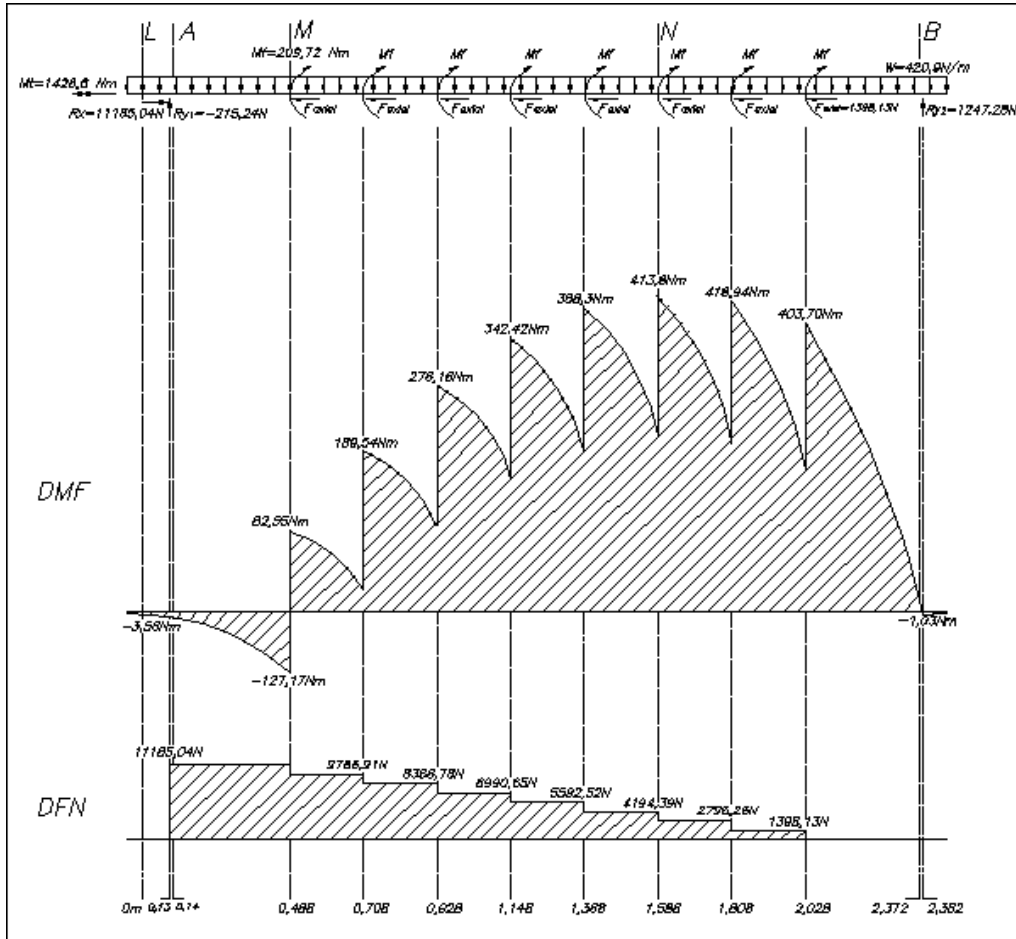


Figura A3-2.2 Diagramas de fuerza cortante y momento flector del árbol

Una vez obtenidos estos diagramas calculamos, por tramos, la ecuación de la curva del momento flector. Ya obtenidas estas ecuaciones podemos calcular la curva elástica y la pendiente de esta para cada tramo respectivo.

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_f \tag{3-2.1}$$

$$EI\varphi = \int M_f(d_x) \tag{3-2.2}$$

$$EIy = \iint M_f(d_x) \tag{3-2.3}$$

Entonces procedemos a calcular, considerando también la variación del momento de inercia, la ecuación de la curva del momento flector y luego aplicamos las ecuaciones (3-2.2) y (3-2.3) como sigue a continuación:

- i. Para  $x \in [0; 0,130]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 \quad (3-2.4a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 + C_{11} \quad (3-2.4b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 + C_{11}x + C_{12} \quad (3-2.4c)$$

ii. Para  $x \in [0,13;0,488]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 27,9 \quad (3-2.5a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 27,9x + C_{21} \quad (3-2.5b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{27,9}{2}x^2 + C_{21}x + C_{22} \quad (3-2.5c)$$

iii. Para  $x \in [0,488;0,708]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 237,7 \quad (3-2.6a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 237,7x + C_{31} \quad (3-2.6b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{237,7}{2}x^2 + C_{31}x + C_{32} \quad (3-2.6c)$$

iv. Para  $x \in [0,708;0,928]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 447,42 \quad (3-2.6a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 447,42x + C_{41} \quad (3-2.6b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{447,42}{2}x^2 + C_{41}x + C_{42} \quad (3-2.6c)$$

v. Para  $x \in [0,928;1,148]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 657,14 \quad (3-2.8a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 657,14x + C_{51} \quad (3-2.8b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{657,14}{2}x^2 + C_{51}x + C_{52} \quad (3-2.8c)$$

vi. Para  $x \in [1,148 ; 1,368]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 866,86 \quad (3-2.9a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 866,86x + C_{61} \quad (3-2.9b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{866,86}{2}x^2 + C_{61}x + C_{62} \quad (3-2.9c)$$

vii. Para  $x \in [1,368 ; 1,588]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 1076,58 \quad (3-2.10a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 1076,58x + C_{71} \quad (3-2.10b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{1076,58}{2}x^2 + C_{71}x + C_{72} \quad (3-2.10c)$$

viii. Para  $x \in [1,588 ; 1,808]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 1286,3 \quad (3-2.11a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 1286,3x + C_{81} \quad (3-2.11b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{1286,3}{2}x^2 + C_{81}x + C_{82} \quad (3-2.11c)$$

ix. Para  $x \in [1,808 ; 2,028]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 1496 \quad (3-2.12a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 1496x + C_{91} \quad (3-2.12b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{1496}{2}x^2 + C_{91}x + C_{92} \quad (3-2.12c)$$

x. Para  $x \in [2,028 ; 2,382]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 - 215,24x + 1705,24 \quad (3-2.13a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 - \frac{215,24}{2}x^2 + 1705,24x + C_{10-1} \quad (3-2.13b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 - \frac{215,24}{6}x^3 + \frac{1705,24}{2}x^2 + C_{10-1}x + C_{10-2} \quad (3-2.13c)$$

xi. Para  $x \in [2,382 ; 2,452]$ ,

$$M = -(210,45)x^2 + 1032,05x - 1065,28 \quad (3-2.14a)$$

$$EI'\varphi = -\frac{210,45}{3}x^3 + \frac{1032,05}{2}x^2 - 1265,28x + C_{11-1} \quad (3-2.14b)$$

$$EI'y = -\frac{210,45}{12}x^4 + \frac{1032,05}{6}x^3 - \frac{1265,28}{2}x^2 + C_{11-1}x + C_{11-2} \quad (3-2.14c)$$

Para poder resolver el sistema de ecuaciones y hallar el valor de las constantes  $c_i$  necesitamos de una solución además de las condiciones de borde. Por tal motivo hallamos el ángulo de deflexión del extremo izquierdo ( $x = 0$ ) mediante el *Teorema de Castigliano*. En la *figura A3-2.3* se puede observar la representación del ángulo de deflexión mencionado.



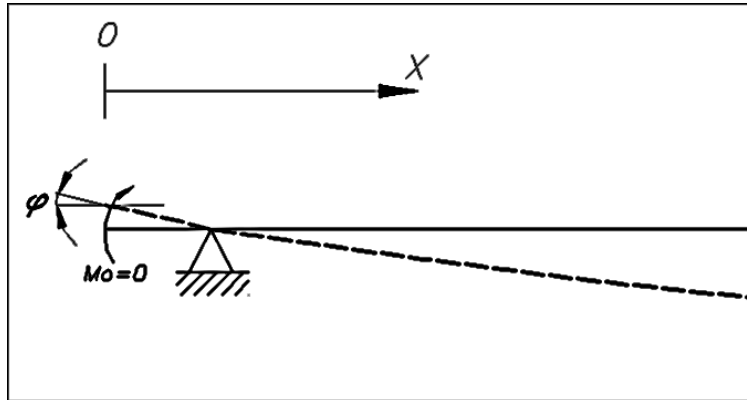


Figura A3-2.3 Ángulo de deflexión  $\varphi$  para  $x=0$ .

Como se puede observar en la *figura A3-2.3*, colocamos un momento flector de valor nulo en  $x=0$ . Luego hallamos la ecuación del momento flector para cada tramo del árbol en función de este momento nulo  $M_0$  y continuamos derivando dichas ecuaciones en función de este mismo momento como sigue a continuación:

Para  $0 < x < 0.13$ ,

$$M_x = -210,45x^2 + M_0 \quad (3-2.15a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = 1 \quad (3-2.15b)$$

Para  $0.13 < x < 0.488$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 27,9 + 1.06M_0 \quad (3-2.16a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.16b)$$

Para  $0.488 < x < 0.708$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 237,7 + 1.06M_0 \quad (3-2.17a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.17b)$$

Para  $0.708 < x < 0.928$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 447,42 + 1.06M_0 \quad (3-2.18a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.18b)$$

Para  $0.928 < x < 1.148$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 657,14 + 1.06M_0 \quad (3-2.19a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.19b)$$

Para  $1.148 < x < 1.368$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 866,86 + 1.06M_0 \quad (3-2.20a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.20b)$$

Para  $1.368 < x < 1.588$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 1076,58 + 1.06M_0 \quad (3-2.21a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.21b)$$

Para  $1.588 < x < 1.808$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 1286,3 + 1.06M_0 \quad (3-2.22a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.22b)$$

Para  $1.808 < x < 2.028$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 1496 + 1.06M_0 \quad (3-2.23a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.23b)$$

Para  $2.028 < x < 2.382$

$$M_x = -210,45x^2 - 215,24x - \frac{M_0}{2.232}x + 1705,74 + 1.06M_0 \quad (3-2.24a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = \frac{-x}{2.232} + 1.06 \quad (3-2.24b)$$

Para  $2.382 < x < 2.452$

$$M_x = -210,45x^2 + 1032,05x - 1265,28 \quad (3-2.25a)$$

$$\frac{\partial M}{\partial M_0} = 0 \quad (3-2.25b)$$

Si planteamos el *Teorema de Castigliano*, tenemos lo siguiente:

$$\phi = \int_0^L \frac{M}{EI} \left( \frac{\partial M}{\partial M_0} \right) dL \quad (3-2.26)$$

Donde, para nuestro caso:

E: Módulo de elasticidad del acero AISI 304, 193 Gpa

I: Momento de inercia de la sección transversal del árbol,  $6,36 \times 10^{-7} m^4$  y  $1,18 \times 10^{-6} m^4$  dependiendo del diámetro del árbol.

Entonces, si reemplazamos el valor de  $M_0$  en las ecuaciones del momento y aplicamos el *Teorema de Castigliano* (ecuación 3-2.26) para cada tramo, obtenemos que el ángulo de deflexión del árbol para  $x = 0$  es:

$$\phi = -(0,001)rad$$

El signo negativo del ángulo de deflexión se debe a que es en sentido horario y obedece a la convención de signos planteada en Hibbeler, R.C.

Con respecto a la curva elástica, ahora que ya conocemos el ángulo de deflexión para  $x = 0$ , planteamos las condiciones de borde siguientes:

- Para  $x = 0,140$ ,  $y = 0$
- Para  $x = 2,372$ ,  $y = 0$

Con estos tres valores aplicamos continuidad y resolvemos el sistema de ecuaciones de la curva elástica (ecuaciones 3-2.4 a 3-4.14). De esto, obtenemos que la curva elástica del árbol está determinada por las siguientes ecuaciones:

- Para  $0 < x < 0,13$ ,

$$y = \frac{1}{EI'} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - 59,25x + 7,71 \right) \quad (3-2.27a)$$

- Para  $0,13 < x < 0,488$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{27,9}{2} x^2 - 124,72x + 16,06 \right) \quad (3-2.27b)$$

- Para  $0,488 < x < 0,708$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{237,7}{2} x^2 - 227,1x + 41,04 \right) \quad (3-2.27c)$$

- Para  $0,708 < x < 0,928$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{447,42}{2} x^2 - 375,58x + 93,6 \right) \quad (3-2.27d)$$

- Para  $0,928 < x < 1,148$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{657,14}{2} x^2 - 570,2x + 183,9 \right) \quad (3-2.27e)$$

- Para  $1,148 < x < 1,368$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{866,86}{2} x^2 - 810,96x + 322,09 \right) \quad (3-2.27f)$$

- Para  $1,368 < x < 1,588$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{1076,58}{2} x^2 - 1097,85x + 518,32 \right) \quad (3-2.27g)$$

- Para  $1,588 < x < 1,808$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{1286,3}{2} x^2 - 1430,89x + 782,76 \right) \quad (3-2.27h)$$

- Para  $1,808 < x < 2,028$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{1496}{2} x^2 - 1810,03x + 1125,5 \right) \quad (3-2.27i)$$

- Para  $2,028 < x < 2,382$ ,

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{12} x^4 - \frac{215,24}{6} x^3 + \frac{1705,24}{2} x^2 - 2234,36x + 1555,76 \right) \quad (3-2.27j)$$

De la misma manera, las ecuaciones que determinan el ángulo de deflexión del árbol serán:

- Para  $0 < x < 0,13$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI'} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - 59,25 \right) \quad (3-2.28a)$$

- Para  $0,13 < x < 0,488$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 27,9x - 124,72 \right) \quad (3-2.28b)$$

- Para  $0,488 < x < 0,708$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 237,7x - 227,1 \right) \quad (3-2.28c)$$

- Para  $0,708 < x < 0,928$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 447,42x - 375,58 \right) \quad (3-2.28d)$$

- Para  $0,928 < x < 1,148$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 657,14x - 570,2 \right) \quad (3-2.28e)$$

- Para  $1,148 < x < 1,368$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 866,86x - 810,96 \right) \quad (3-2.28f)$$

- Para  $1,368 < x < 1,588$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 1076,58x - 1097,85 \right) \quad (3-2.28g)$$

- Para  $1,588 < x < 1,808$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 1286,3x - 1430,89 \right) \quad (3-2.28h)$$

- Para  $1,808 < x < 2,028$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 1496x - 1810,03 \right) \quad (3-2.28i)$$

- Para  $2,028 < x < 2,372$ ,

$$\emptyset = \frac{1}{EI} \left( \frac{-210,45}{3} x^3 - \frac{215,24}{2} x^2 + 1705,24x - 2234,36 \right) \quad (3-2.28j)$$

Ahora, ya estamos en condiciones de determinar la máxima deflexión del árbol pues para ese punto el ángulo de deflexión es nulo.

Por inspección podemos aproximar que el valor de  $x$  para el cual la deflexión es máxima se encuentra en el tramo  $x \in [1,368; 1,588]$ , entonces igualamos la ecuación del ángulo de deflexión (ecuación 3-4.28g) de este tramo a 0 y obtenemos:

$$x = -5,12 ; x = 1,38 ; x = 2,2$$

Como el valor de,  $x = 1,38$  pertenece  $[1,368 - 1,588]$  se puede concluir que para ese punto la deflexión del árbol será máxima.

Finalmente reemplazamos este valor ( $x = 1,38$ ) en la ecuación 3-2.27g para determinar la deflexión máxima. De esto tenemos lo siguiente:

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{-869,8}{6} (1,39)^3 + \frac{1644,4(1,39)^2}{2} - 1445,47(1,39) + 634,17 \right)$$

Donde, para este caso:

E: Módulo de elasticidad del acero AISI 304, 193 Gpa

I: Momento de inercia de la sección transversal del árbol,  $1,18 \times 10^{-6} m^4$

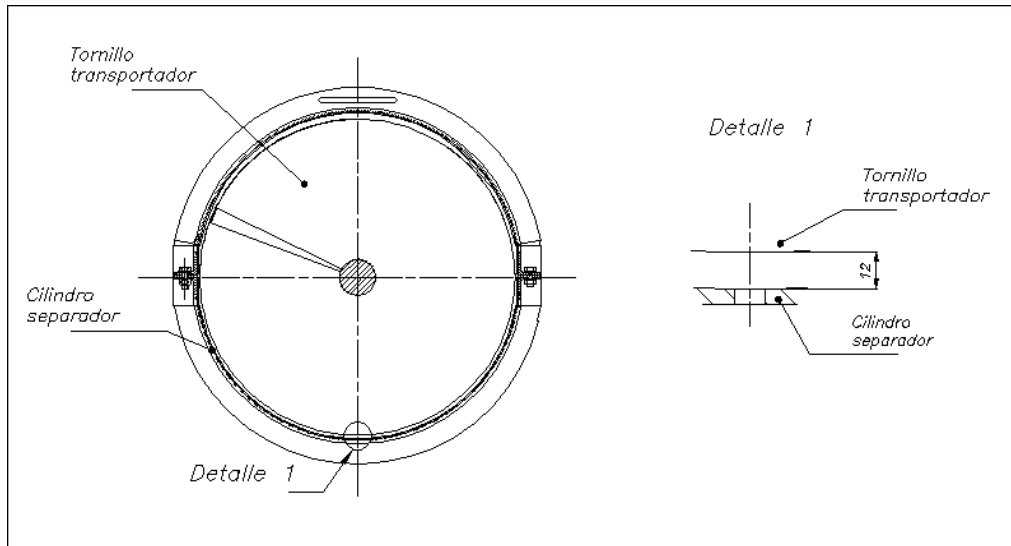
Si reemplazamos valores tenemos que la máxima deflexión será:

$$y = \frac{-129,47}{EI} = \frac{-129,47}{(193 \times 10^4) \left( \frac{\pi}{4} (0,03)^4 \right)} \times 1000 \frac{mm}{m} = -1,1 mm$$

Dado que ya conocemos el valor de la máxima deflexión del árbol, podemos verificar si este está dentro del rango permisible.

Como se explicará con mayor detalle más adelante, el tornillo transportador trabaja dentro de un cilindro separador. Por esto, y dado que este no es un árbol de transmisión común, la deflexión máxima estará determinada por la separación que existe entre el transportador y el cilindro separador. En la *figura 3-2.4* se puede observar el ensamble mencionado.





**Figura A3-2.4** Ensamble transportador de tornillo – cilindro separador

En la *figura 3-2.4* observamos que la separación o “luz” que existe entre el transportador de tornillo y el cilindro separador es de 12mm. Como el árbol del transportador se deflexa 1,1mm como máximo, la deflexión del árbol está dentro de los valores permisibles.

### ANEXO 3-3: SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

**Vida del rodamiento**

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho calculo.  
Véase la sección "Vida nominal SKF"

Seleccionar $\eta_c$	Rodamiento	7210 BECBJ
0.8 ▾	d [mm]	50
	D [mm]	90
	C [kN]	39
	$P_u$ [kN]	1.29
	P [kN]	6.45
	n [r/min]	6.5
	v [mm <sup>2</sup> /s]	79.2
		<input type="button" value="Calcular"/>
	$L_{10}$	220
	$L_{10h}$	566800

Figura A3-3.1 Cálculo de la vida útil de rodamiento 7210 BECBJ

**Vida del rodamiento**

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho calculo.  
Véase la sección "Vida nominal SKF"

Seleccionar $\eta_c$	Rodamiento	C 4910 V
0.8 ▾	d [mm]	50
	D [mm]	72
	C [kN]	86.5
	$P_u$ [kN]	13.7
	P [kN]	1.39
	n [r/min]	6.5
	v [mm <sup>2</sup> /s]	79.2
		<input type="button" value="Calcular"/>
	$L_{10}$	955000
	$L_{10h}$	> 1000000

Figura A3-3.2 Cálculo de la vida útil del rodamiento C4910V

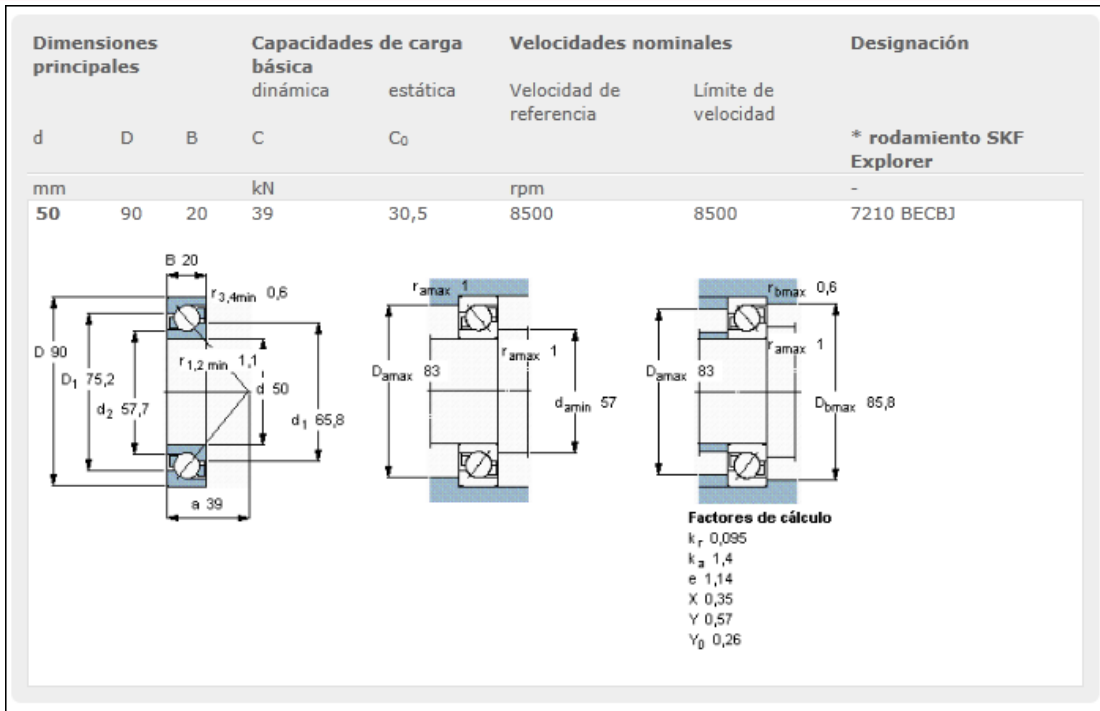


Figura A3-3.3 Ficha técnica del rodamiento 7210 BECBJ

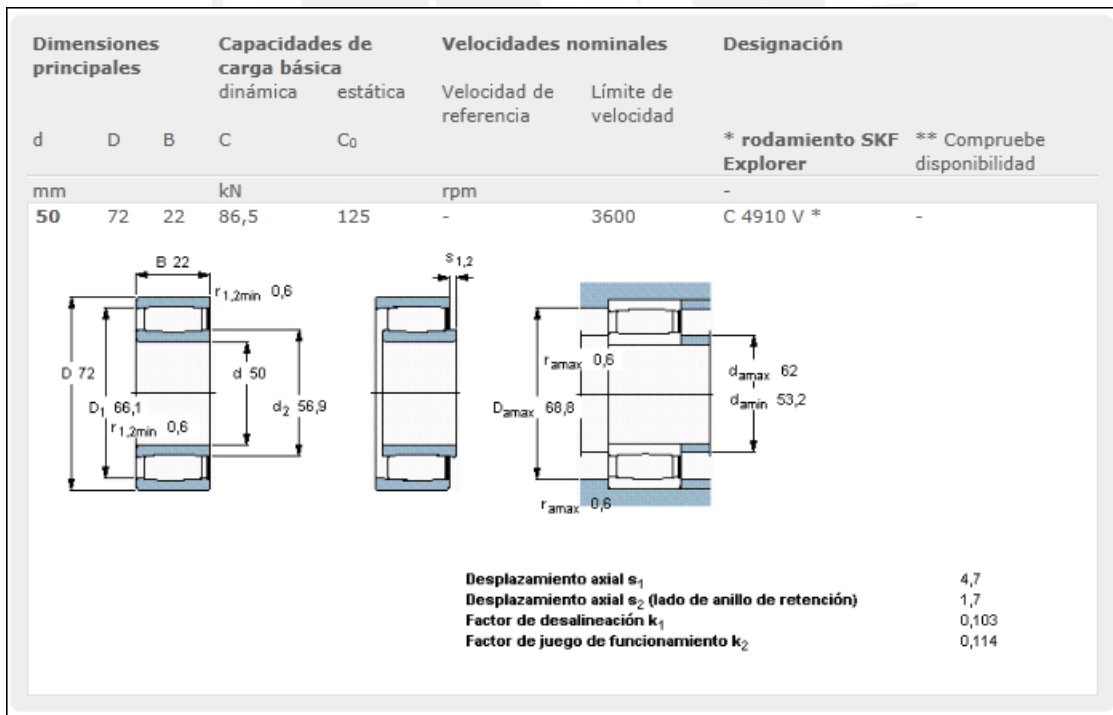


Figura A3-3.4 Ficha técnica del rodamiento C4910V

ANEXO 3-4: TABLA PARA SELECCIÓN DE CHAVETAS - DIN6885

Tabla A3-4.1 Chavetas de caras planas según DIN6885

Sección de la lengüeta de ajuste (acero para chavetas DIN 6880)		Anchura b		2		3		4		5		6		8		10		12		14		16		18		20		22		25			
Altura h		2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	6	8	6	8	6	9	7	10	7	11	8	12	9	14	9	14					
Para diámetro del eje d13)	más de	6	8	10	12		17		22		30		38		44		50		58		65		75		85		95						
	hasta	8	10	12	17		22		30		38		44		50		58		65		75		85		95		105						
Chavetero del eje	Anchura b 4)	asiento fijo P9	Máxima	1,991	2,991	3,988	4,988	5,988	7,985	9,985	11,982	13,982	15,982	17,982	19,978	21,978	24,978																
		Minima	1,966	2,966	3,958	4,958	5,958	7,949	9,989	11,939	13,939	15,939	17,939	19,926	21,925	24,925																	
	asiento ligero N9	Máxima	2	3	4	5	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000	18,000	20,000	22,000	25,000																	
		Minima	1,975	2,975	3,970	4,97	5,97	7,964	9,954	11,957	13,957	15,957	17,957	19,948	21,948	24,948																	
Profundidad t15)	con juego en el lomo o dif. adm.		1,1	1,7	2,4	1,9	2,9	2,5	3,5	3,1	4,1	3,7	4,7	3,9	4,9	4,0	5,5	4,7	6,2	4,8	6,8	5,4	7,4	6,0	8,5	6,2	8,7						
			+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	
Chavetero del cubo	Anchura b 4)	asiento fijo P9	Máxima	1,991	2,991	3,998	4,998	5,998	7,985	9,985	11,982	13,982	15,982	17,957	19,978	21,978	24,978																
		Minima	1,966	2,966	3,958	4,958	5,958	7,949	9,949	11,939	13,939	15,939	17,939	19,926	21,296	24,926																	
	asiento ligero N9	Máxima	2,012	3,012	4,015	5,015	6,015	8,018	10,018	12,021	14,021	16,021	18,021	20,026	22,026	25,026																	
		Minima	1,987	2,987	3,985	4,985	5,985	7,982	9,982	11,978	13,978	15,975	17,978	19,974	21,974	24,974																	
Profundidad t25)	con juego en el lomo o dif. adm.		0,9	1,3	1,6	1,1	2,1	1,6	2,5	1,9	2,9	2,3	3,3	2,1	3,1	2,0	3,5	2,3	3,8	2,2	4,2	2,6	4,6	3,0	5,5	2,8	5,3						
			+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	
con aprieto		0,7	1,1	1,4	0,9	1,9	1,2	2,2	14,5	2,5	1,9	2,9	1,7	2,7	1,6	3,3	1,9	3,4	1,8	3,7	2,2	4,1	2,5	5,0	2,4	4,8							
		-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
Redondeado del fondo del chavetero r		0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
		-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2		
longitud l15)6)	Dif. adm.	Peso para forma B kg/1000 piezas (calculado con 7,85 kg/dm3)																															
	Macho / Hembra																																
6	-0,2	+0,2	0,188																														
8			0,251 0,565																														
10			0,314 0,707 1,25																														
12			0,377 0,848 1,51 1,41 2,35																														
14			0,44 0,989 1,76 1,65 2,75																														
16			0,502 1,13 2,01 1,88 3,14 30,1 4,52																														
18			0,565 1,27 2,26 2,12 3,53 3,39 5,09																														
20			0,628 1,14 2,51 2,36 3,92 3,77 5,65 6,28 8,8																														
22			1,55 2,76 2,59 4,32 4,14 6,2 6,9 9,67																														
25			1,77 3,14 2,94 4,91 4,71 7,07 7,85 11,0 11,8 15,7																														
28			1,98 3,52 3,30 5,20 5,28 7,91 8,79 12,3 13,2 17,5																														
32			2,26 4,02 3,77 5,28 6,03 9,04 10,0 14,1 15,1 20,1 18,1 24,1																														
36			2,54 4,52 4,24 7,06 6,78 10,2 11,3 15,8 17,0 22,6 20,3 27,1																														
40			5,02 4,71 7,85 7,54 11,3 12,6 17,6 18,8 25,1 22,5 30,1 26,4 39,6																														
45			5,65 5,30 8,83 8,48 12,7 14,1 18,8 21,2 28,3 25,4 33,9 29,7 44,5 39,6 56,5																														
50			5,89 9,81 9,42 14,1 15,7 22,0 23,6 31,4 28,3 37,7 33,0 49,5 44,0 62,8 49,5 77,7																														
56			6,59 11,0 10,6 15,8 17,6 24,6 26,4 35,2 31,6 42,2 36,9 55,4 49,2 70,3 55,4 87,0 70,3 106																														
63			11,9 17,8 19,8 27,7 29,7 39,6 35,5 47,5 41,5 62,3 55,4 79,1 62,3 97,9 79,1 119 98 152																														
70			13,2 19,8 22,0 30,8 33,0 44,0 39,6 52,8 46,2 69,2 61,5 88,0 69,2 109 87,9 132 109 169 124 192																														
80			25,1 35,2 37,7 50,2 45,2 60,3 52,8 79,1 70,3 100 79,1 124 100 151 124 193 141 220																														
90			28,3 39,6 42,4 56,5 50,9 67,8 59,3 89,0 79,1 113 89,0 140 113 170 140 218 158 247																														
100			47,1 62,8 56,5 75,4 65,9 98,9 87,9 125 98,9 155 126 188 155 242 177 275																														
110			51,8 69,1 62,2 82,9 72,5 109 96,7 138 109 171 138 207 171 266 194 302																														
125			70,6 94,2 82,4 124 110 157 124 194 157 235 194 302 221 343																														
140			79,1 106 92,3 138 123 176 138 218 176 264 218 338 247 385																														
160			105 158 141 201 158 249 201 301 249 387 283 440																														
180			158 226 178 280 226 339 280 435 318 495																														
200			198 311 251 377 311 484 353 550																														
220			275 414 342 532 389 604																														
250			389 604 442 687																														
280			495 769																														
315																																	
355																																	
400																																	
Peso a deducir para forma A		0,013	0,045	0,108	0,126	0,211	0,243	0,364	0,539	0,755	1,01	1,35	1,46	1,94	1,98	2,97	3,02	4,31	3,82	6	5,39	8,09	7,34	11,4	9,5	14,7							
Ajuste para tornillos de retención y tornillos de presión	Agujero de los machos	d2	5,9																														
		d4	3,2																														
		c	2,5																														
		e	-																														
Profundidad del agujero taladrado		t3	8																														
Tornillo de retención 10)		d3 x12	M3 x8																														
			M4 x10																														
			M5 x10																														
			M6 x12																														
			M6 x12																														
			M6 x15																														
			M8 x15																														



## ANEXO 3-5: FICHA TÉCNICA DE MOTORREDUCTOR

3



Designaciones de modelo y tipos de versión  
Designaciones de modelo de reductores y opciones

### 3 Designaciones de modelo y tipos de versión

#### 3.1 Designaciones de modelo de reductores y opciones

##### **Reductor de engranajes cilíndricos**

<i>RX..</i>	Versión de una etapa con patas
<i>RXF..</i>	Versión de una etapa con brida B5
<i>R..</i>	Versión con patas
<i>R..F</i>	Versión con patas y brida B5
<i>RF..</i>	Versión con brida B5
<i>RZ..</i>	Versión con brida B14
<i>RM..</i>	Versión con brida B5 y moyú prolongado

##### **Reductor de ejes paralelos**

<i>F..</i>	Versión con patas
<i>FA..B</i>	Versión con patas y eje hueco
<i>FH..B</i>	Versión con patas y eje hueco con anillo de contracción
<i>FV..B</i>	Versión con patas y eje hueco con acanalado según DIN 5480
<i>FF..</i>	Versión con brida B5
<i>FAF..</i>	Versión con brida B5 y eje hueco
<i>FHF..</i>	Versión con brida B5 y eje hueco con anillo de contracción
<i>FVF..</i>	Versión con brida B5 y eje hueco con acanalado según DIN 5480
<i>FA..</i>	Eje hueco
<i>FH..</i>	Eje hueco con anillo de contracción
<i>FT..</i>	Eje hueco con sistema de fijación TorqLOC®
<i>FV..</i>	Eje hueco con acanalado según DIN 5480
<i>FAZ..</i>	Versión con brida B14 y eje hueco
<i>FHZ..</i>	Versión con brida B14 y eje hueco con anillo de contracción
<i>FVZ..</i>	Versión con brida B14 y eje hueco con acanalado según DIN 5480

##### **Reductor de grupo cónico**

<i>K..</i>	Versión con patas
<i>KA..B</i>	Versión con patas y eje hueco
<i>KH..B</i>	Versión con patas y eje hueco con anillo de contracción
<i>KV..B</i>	Versión con patas y eje hueco con acanalado según DIN 5480
<i>KF..</i>	Versión con brida B5
<i>KAF..</i>	Versión con brida B5 y eje hueco
<i>KHF..</i>	Versión con brida B5 y eje hueco con anillo de contracción
<i>KVF..</i>	Versión con brida B5 y eje hueco con acanalado según DIN 5480
<i>KA..</i>	Eje hueco
<i>KH..</i>	Eje hueco con anillo de contracción
<i>KT..</i>	Eje hueco con sistema de fijación TorqLOC®

**Motorreductor AC****R77R37DRE80M4**

Velocidad nominal del motor	[1/min] : 1740
Velocidad de salida	[1/min] : 6.7
Índice de reducción total	: 260.00
Par de salida	[Nm] : 980
Factor de servicio SEW-FB	: 0.85
Posición de montaje / IM	: M1
Posición de la caja de bornas	[°] : 270
Entrada de cable/ Posición del conector	: 1
Eje de salida	[mm] : 40x80
Salida permitida con carga radial n=1400	[N] : 5560
Potencia del motor	[kW] : 0.75
Factor de duración	: S1-100%
Clase eficiente	: IE2
Eficiencia (50/75/100% Pn)	[%] : 80.8 / 83.3 / 83.5
Marcado CE	: Si
Tensión del motor	[V] : 220/380
Esquema de conexionado	: R13
Frecuencia	[Hz] : 60
Corriente nominal	[A] : 3 / 1.74
Cos Phi	: 0.78
Aislamiento térmico	: 130(B)
Tipo protección del motor	: IP54
Requisito del diseño	: IEC
Peso neto	[Kg] : 55



ANEXO 3-6: TABLAS PARA EL CÁLCULO DE CADENAS

Tabla A3-6.1 Reducciones usando piñones estándar

No. of Teeth Driven Sprocket Z2	No. of Teeth Drive Sprocket Z1					
	15	17	19	21	23	25
25	-	-	-	-	-	1.00
38	2.53	2.23	2.00	1.80	1.65	1.52
57	3.80	3.35	3.00	2.71	2.48	2.28
76	5.07	4.47	4.00	3.62	3.30	3.04
95	6.33	5.59	5.00	4.52	4.13	3.80
114	7.60	6.70	6.00	5.43	4.96	4.56

Tabla A3-6.2 Factor de aplicación  $f_1$

DRIVEN MACHINE CHARACTERISTICS		CHARACTERISTICS OF DRIVER		
		SMOOTH RUNNING Electric Motors, Steam and Gas Turbines, Internal Combustion Engines with Hydraulic coupling	SLIGHT SHOCKS Internal Combustion Engines with 6 cyls or more with mechanical Coupling, Electric Motors with frequent starts	MODERATE SHOCKS Internal Combustion Engines with less than 6 cyls, with mechanical coupling
SMOOTH RUNNING	Centrifugal Pumps and Compressors, Printing Machines, Paper Colanders, Uniformly Loaded Conveyors, Escalators, Liquid Agitators and Mixers, Rotary Driers, Fans	1	1.1	1.3
MODERATE SHOCKS	Pumps and Compressors (3+ cyls), Concrete Mixing Machines, Non uniformly Loaded Conveyors, Solid Agitators and Mixers	1.4	1.5	1.7
HEAVY SHOCKS	Planers, Excavators, Roll and Ball Mills, Rubber Processing Machines, Presses and Shears 1 & 2 Cyl Pumps and Compressors, Oil Drilling Rigs	1.8	1.9	2.1

Tabla A3-6.3 Factor de diente  $f_2$

f2 factors for standard sprocket sizes	
Z1	f2
15	1.27
17	1.12
19	1.00
21	0.91
23	0.83
25	0.76

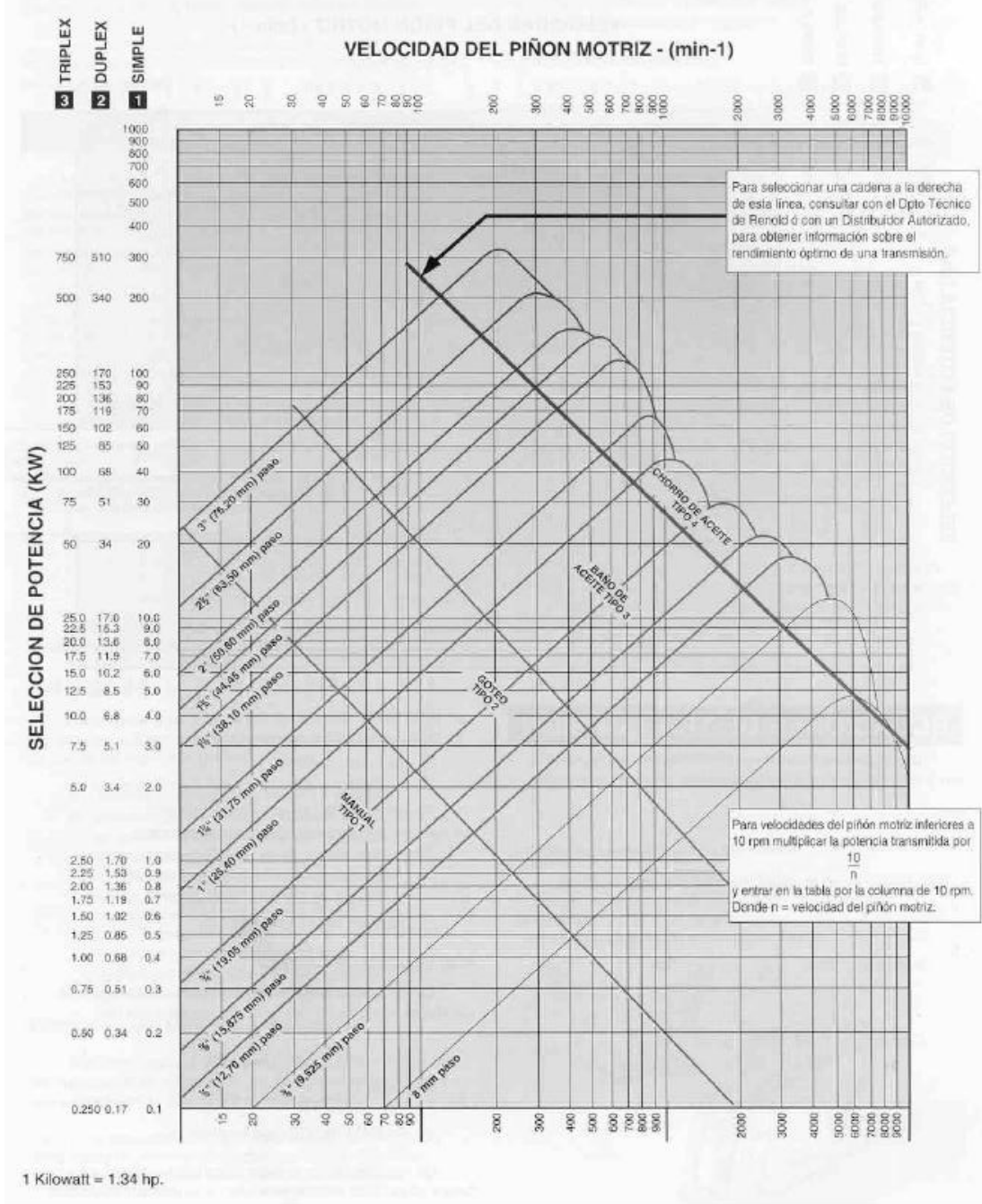


Figura A3-6.1 Grafico de selección ISO 606

Fuente: "Guía del diseñador" RENOLD (2013)

### ANEXO 3-7: VARIADOR DE VELOCIDAD DE CONTROL VECTORIAL

La siguiente información referente al control vectorial fue tomada del libro “*Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*” de Manuel Álvarez (2000)

#### Control vectorial

El control vectorial regula, de una manera independiente, la corriente del flujo magnético y la corriente del par.

Este control permite una velocidad suave y gran par, a la vez que se obtiene una gran precisión de velocidad y par aunque la velocidad del motor sea excesivamente baja. Asimismo, se obtiene una respuesta inmediata de velocidad al variar la carga.

Existen varios modos de funcionamiento con control vectorial:

- Control vectorial sin sensor de realimentación, pudiéndose conseguir el 150% del par desde 1,5 Hz.
- Control vectorial con sensor de realimentación, consiguiéndose el 150% del par desde velocidad cero (0 Hz) (fig. 48).
- Control tensión/frecuencia con sensor de realimentación y tarjeta opcional electrónica, diseñada específicamente para esta aplicación, acoplada en el interior del convertidor; con este sistema se obtiene una respuesta muy precisa en el control de la velocidad (fig. 49).

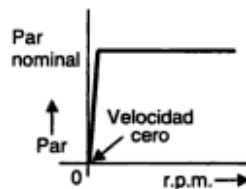
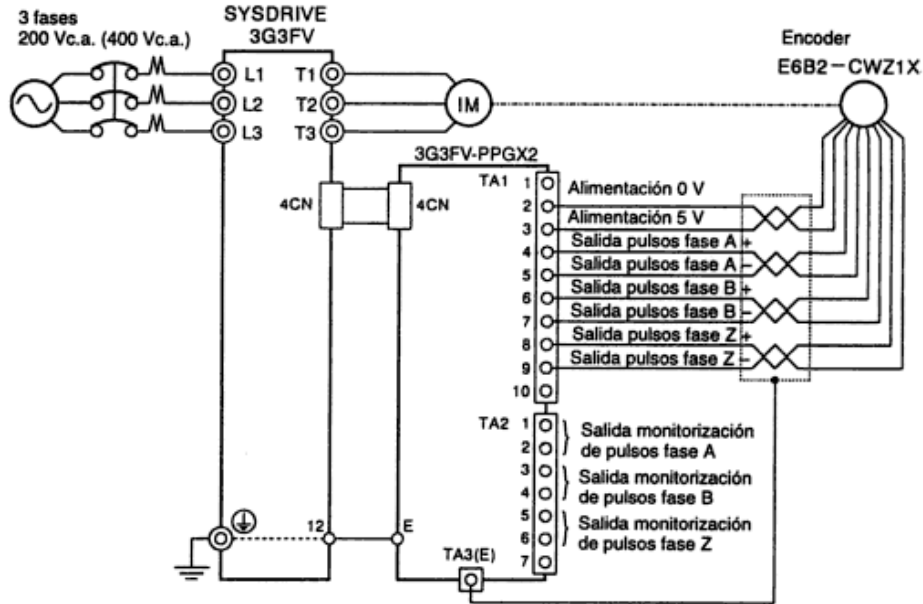


Figura 48. Curva de control vectorial utilizando un sensor de realimentación.



**Figura 49.** Conexiones de convertidor de frecuencia con control vectorial con realimentación por encoder, utilizando tarjeta de control de velocidad. (Cortesía Omron Electronics.)



**ANEXO 3-8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL EQUIPO**

En las tablas a continuación son un extracto del informe que arroja el programa *Autodesk Inventor Professional 2011* después del análisis de esfuerzos realizado a la estructura del equipo escaldado

**Tabla 3-8.1 Reacciones: Fuerzas y momentos**

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	1827.52 N	-171.913 N	953.397 N m	-950 N m
		1076.44 N		50.5847 N m
		-1466.83 N		-62.5112 N m
Fixed Constraint:2	2261.51 N	1454.44 N	971.813 N m	-956.706 N m
		889.67 N		-49.0259 N m
		-1485.77 N		-163.493 N m
Fixed Constraint:3	2207.93 N	0 N	991.096 N m	-971.494 N m
		834.506 N		-195.838 N m
		-2044.16 N		-10.8214 N m
Fixed Constraint:4	3180.24 N	0 N	964.175 N m	-948.182 N m
		948.825 N		174.843 N m
		-3035.41 N		-3.93406 N m
Fixed Constraint:5	1660.11 N	-48.4685 N	959.03 N m	-954.701 N m
		-743.087 N		-91.0012 N m
		-1483.73 N		1.80371 N m
Fixed Constraint:6	1659 N	47.6757 N	955.442 N m	-950.979 N m
		-737.67 N		92.2461 N m
		-1485.21 N		0 N m

Tabla 3-8.2 Resumen de resultados

Name	Minimum	Maximum
Volume	19111100 mm <sup>3</sup>	
Mass	150.221 kg	
Von Mises Stress	0.00163787 MPa	188.243 MPa
1st Principal Stress	-31.059 MPa	190.301 MPa
3rd Principal Stress	-183.796 MPa	26.3544 MPa
Displacement	0 mm	3.42985 mm
Safety Factor	1.29964 ul	15 ul
Stress XX	-129.172 MPa	82.5674 MPa
Stress XY	-61.4597 MPa	61.58 MPa
Stress XZ	-74.0348 MPa	67.0808 MPa
Stress YY	-140.929 MPa	116.696 MPa
Stress YZ	-72.5371 MPa	77.1696 MPa
Stress ZZ	-129.857 MPa	180.504 MPa
X Displacement	-0.307385 mm	0.288818 mm
Y Displacement	-0.536049 mm	0.528916 mm
Z Displacement	-0.0646367 mm	3.39326 mm
Equivalent Strain	0.00000000773027 ul	0.000746156 ul
1st Principal Strain	-0.0000186104 ul	0.0008312 ul
3rd Principal Strain	-0.000803163 ul	0.0000181059 ul
Strain XX	-0.000458139 ul	0.000305776 ul
Strain XY	-0.000356187 ul	0.000356884 ul
Strain XZ	-0.000429065 ul	0.000388764 ul
Strain YY	-0.000477788 ul	0.000472521 ul
Strain YZ	-0.000420386 ul	0.000447233 ul
Strain ZZ	-0.00059237 ul	0.000821638 ul
Contact Pressure	0 MPa	2402.25 MPa
Contact Pressure X	-1796.42 MPa	1931.83 MPa
Contact Pressure Y	-1395.21 MPa	1139.31 MPa
Contact Pressure Z	-489.828 MPa	2111.42 MPa

## ANEXO 4-1: ITERACIONES DEL CÁLCULO DEL SERPENTÍN

Tabla 4-1.1 Iteraciones con  $Q_{serpentín} = 4.89 \text{ KW}$ 

iteración	Q [Kw]	Twi asumido [°C]	$\alpha_i$ [Kw/m <sup>2</sup> °c]	Lprel. [m]	$\alpha_{ext}$ [Kw/m <sup>2</sup> °c]	Twi verif [°C]	Lfinal [m]
1	4.89	100	8.31	0.36	0.182	118.8	--
2	4.89	118	14.45	1.87	0.0793	119.8	--
3	4.89	119	16.79	2.94	0.0632	119.9	--
4	4.89	120	26.02	10.94	0.0736	120.02	10.94

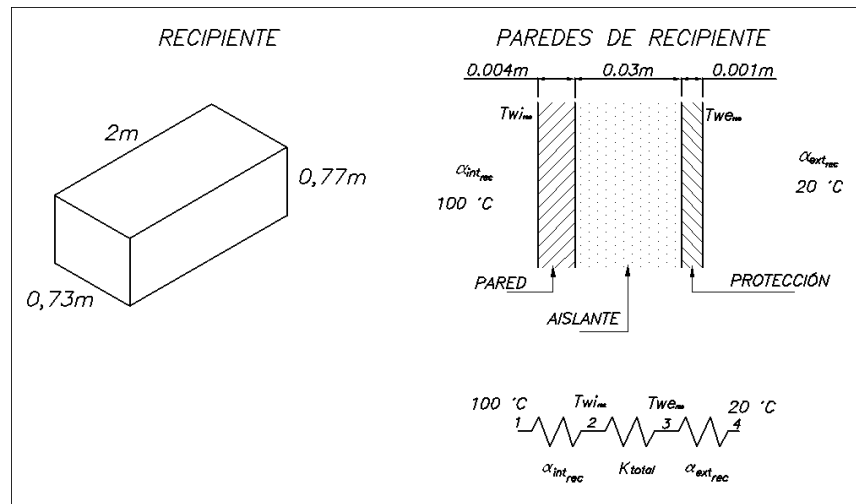
Tabla 4-1.1 Iteraciones con  $Q_{serpentín} = 5.6 \text{ KW}$ 

iteración	Q [Kw]	Twi asumido [°C]	$\alpha_i$ [Kw/m <sup>2</sup> °c]	Lprel. [m]	$\alpha_{ext}$ [Kw/m <sup>2</sup> °c]	Twi verif [°C]	Lfinal [m]
1	5.6	100	8.31	0.41	0.17	118.9	--
2	5.6	119	16.79	3.37	0.0591	119.9	--
3	5.6	120	26.02	12.53	0.0788	120.01	--
4	5.6	120.01	26.34	13	0.0801	120.009	13



### ANEXO 4-2: CÁLCULO DEL FACTOR DE FORMA

Las características de la pared del recipiente se muestran en la *figura 4-2.1*.



**Figura 4-2.1** Características del recipiente de agua

El factor de forma de las paredes del recipiente, del aislante y de la chapa de protección es calculado como sigue a continuación:

Pared plana :  $S = \frac{A}{e}$

Aristas :  $S = 0.54L$

Vértices :  $S = 0.15e$

Donde,

S: Factor de forma

A: Área de la pared

L: Longitud de la arista

e: Espesor de pared

Ahora, hallamos el factor de forma total de las paredes del recipiente, del aislante y de la chapa de protección como sigue a continuación:

Para la pared del recipiente:

Las dimensiones internas se pueden observar en la *figura 4-2.1*.

$$S_{pared} = \# paredes \times \frac{A}{e} = \frac{2}{0,004} (2 \times 0,73 + 2 \times 0,77 + 0,73 \times 0,77)$$

$$S_{pared} = 1781,05m$$

$$S_{aristas} = \#aristas \times (0,54 \times L) = 4 \times 0,54(2 + 0,73 + 0,77)$$

$$S_{aristas} = 7,56m$$

$$S_{vertice} = \#esquinas(0,15 \times e) = 8 \times 0,15(0,004)$$

$$S_{Total} = 1788,6m$$

### Para el aislante

Dimensiones:

$$2 + 2e_{pared} = 2,008m$$

$$0,77 + 2e_{pared} = 0,778m$$

$$0,73 + 2e_{pared} = 0,738m$$

$$S_{Total} = 152,38m$$

### Para la chapa de protección:

Dimensiones:

$$2,008 + 2e_{aislante} = 2,068m$$

$$0,778 + 2e_{aislante} = 0,838m$$

$$0,738 + 2e_{aislante} = 0,798m$$

$$S_{Total} = 8111,95m$$

Las medidas exteriores serán las siguientes:

$$2,068 + 2e_{protección} = 2,07m$$

$$0,838 + 2e_{protección} = 0,84m$$

$$0,798 + 2e_{protección} = 0,8m$$

El área interior y exterior, serán las siguientes:

$$A_{int} = 7,12m^2$$

$$A_{ext} = 8,13m^2$$

## ANEXO 5: RESUMEN DE COMPONENTES

Para finalizar el presente capítulo, se presentan las especificaciones técnicas de los componentes del equipo escalador.

### Sistema de transporte

- **Transportador de tornillo sin fin**

Tipo de hélice	:	Derecha
$D_{ext}/D_{int}$	:	510mm/70mm
Espesor de hélice	:	4mm
Longitud	:	2,4m
Longitud efectiva	:	2m

- **Rodamientos**

Marca	:	SKF
Tipo/modelo	:	Contacto angular/ 7210 BECBJ, CARB/ C4912V

- **Chumaceras**

Marca / Modelo	:	SKF / SNL 210
Accesorios	:	Obturación TSN 210G y anillos de fijación FRB 9/90

- **Cilindro separador**

$D_{int}/espesor$	:	522mm/3mm
Volumen	:	424 L

### Sistema de transmisión de potencia

- **Motorreductor**

Marca/ Modelo	:	SEW EURODRIVE / R77 R37 DRE80M4
Relación de transmisión	:	260
Torque máximo	:	980 Nm.
Potencia nominal	:	0,75 Kw
Revoluciones nominales	:	1740 RPM

- **Rueda dentada conducida**

Marca /Modelo : RENOLD / T16B1/76T  
# dientes / paso : 76 / 25,4mm

- **Rueda dentada motriz**

Marca/ Modelo : RENOLD / T16B1/19T  
# dientes / paso : 19 / 25,4mm

- **Cadena escaudado**

Marca / Tipo : RENOLD / SIMPLEX ISO 606 16B-1  
Paso / longitud : 25,4mm / 124 eslabones

- **Cadena calentamiento**

Marca / Tipo : RENOLD / SIMPLEX ISO 606 16B-1  
Paso / longitud : 25,4mm / 94 eslabones

- **Tensor de cadena**

Marca : ROSTA  
# dientes / paso : 13 / 25,4mm

- **Variador de frecuencia**

Marca : WEG  
Modelo : CFW080027T3848, alimentación trifásica  
Potencia nominal : 0.75 KW  
Corriente nominal : 2,8 A

- **Chaveta plana DIN6885**

Medidas : 14x9x56mm

### Recipiente de agua

- **Cuba de agua**

Volumen de recipientes : 415L

- **Caucho Butílico**

Dimensiones : 1 ½" x 1/8"

- **Visor de nivel**

Marca/modelo : Franko / acorazado

Temperatura máxima : 150°C

Max. Altura de medición : 35cm

### Sistema de calentamiento de agua

- **Serpentín condensador**

Flujo másico de vapor : 10.8 Kg/h

Potencia : 5.6 Kw

Material : Cobre/ tuberías tipo L

Diámetro nominal/longitud: 1 in/ 13m

- **Válvula de bola**

Marca/Modelo : Spirax sarco / MV10

Diámetro nominal : 2 in

Presión máxima de trabajo: 70 bares

- **Válvula de globo**

Marca/Modelo : Spirax sarco / RP31

Diámetro nominal : 1 ½ in

- **Válvula de corte**

Tipo : Válvula de esfera, rosca NPT  
Marca/Modelo : Spirax sarco / MV10  
Diámetro nominal : 1 in

- **Filtro**

Marca : Spirax sarco  
Diámetro nominal : 1 in  
Tamiz de acero inoxidable, perforaciones de 0.8 mm

- **Manómetro**

Marca : Spirax sarco  
Diámetro nominal : 1 in, conexión roscada NPT  
Rango de presión : 0-10 bar

- **Válvula reguladora de presión/temperatura**

Marca/modelo : Spirax sarco / DP27T  
Diámetro nominal : 1 in, conexión roscada NPT  
Sensor de temperatura con rango de trabajo de 71 a 104°C

- **Válvula de seguridad**

Marca/modelo : Spirax sarco / SV60  
Configuración : Cabezal cerrado / con palanca  
Tamaño : DN20 x DN32  
Presión máxima : 29 bar  
Tipo de junta : Bridada PN40

- **Trampa de vapor**

Marca/modelo : Spirax sarco / FT14 (L-R)  
Tamaño : 1 in, junta roscada NPT

- **Válvula antirretorno**

Marca/modelo : Spirax sarco / DCV41  
Tamaño : 1 in, junta roscada NPT