

**TÍTULO: Diseño de rodamientos de la caja reductora de una bomba-varilla****1. RESUMEN**

A partir de los esfuerzos externos en los ejes de entrada y salida del tren de reducción de velocidades, se obtuvo la carga que soportan los rodamientos de los mismos y se determinó el uso de rodamientos NSK de número 6211 para el eje de entrada y 6012 y 16012 para el eje de salida.

Preparó		Revisó			Intervino calidad	Aprobó
F. Camussoni		J. C. Garcia	E. Ruiz Nicolini	L. Monteros	J. C. Garcia	F. Quintana

**REVISIONES**

Rev.	Fecha	Modificaciones
0	11/05/2020	

**FECHA DE VIGENCIA:**

DISTRIBUCIÓN	ESTADO DEL DOCUMENTO
Copia N°:  Distribuyó:  Una vez impreso este documento se considerará copia no controlada a menos que cuente con sello y firma original del responsable de Calidad de la GIN.	Fecha:  Firma:

**NOTA:** Este documento es propiedad de CNEA y se reserva todos los derechos legales sobre él. No está permitida la explotación, transferencia o liberación de ninguna información en el contenido, ni hacer reproducciones y entregarlas a terceros sin un acuerdo previo y escrito de CNEA.

## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>3</b>
<b>3. ALCANCE</b>	<b>3</b>
<b>4. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES</b>	<b>3</b>
4.1. Abreviaturas . . . . .	3
4.2. Definiciones . . . . .	3
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>4</b>
<b>6. RESPONSABILIDADES</b>	<b>4</b>
<b>7. DESARROLLO</b>	<b>4</b>
7.1. Introducción . . . . .	4
7.2. Datos de entrada . . . . .	4
7.3. Ejecución . . . . .	5
7.4. Resultados . . . . .	8
<b>8. CONCLUSIONES, OTROS ESTUDIOS Y RECOMENDACIONES</b>	<b>8</b>
8.1. Conclusiones . . . . .	8
8.2. Otros estudios y recomendaciones . . . . .	9
<b>9. REGISTROS</b>	<b>9</b>
<b>10. ANEXO</b>	<b>9</b>

## 2. OBJETIVO

Seleccionar los rodamientos para cada uno de los ejes que componen la caja reductora de una bomba de varilla.

## 3. ALCANCE

La presente memoria de cálculo será de aplicación para la asignatura Mecanismos correspondiente a la carrera Ingeniería Mecánica del Instituto Balseiro.

## 4. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

### 4.1. Abreviaturas

$T$  = torque.

$F$  = fuerza

$X^e$  = característica X del eje de entrada.

$X^s$  = característica X del eje de salida.

$X_1$  = característica X del primer rodamiento del eje.

$X_2$  = característica X del primer rodamiento del eje.

$R$  = carga sobre el rodamiento.

$C$  = carga básica.

$\phi$  = ángulo de presión.

$\omega_x$  = velocidad angular de giro de la rueda dentada x.

$W_t$  = fuerza tangencial sobre el diente de la rueda dentada.

$W_r$  = fuerza radial sobre el diente de la rueda dentada.

$N$  = número de ciclos.

$B$  = ancho de rodamiento.

$d$  = diámetro interno del rodamiento.

$D$  = diámetro externo del rodamiento.

$r$  = radio de las pistas del rodamiento.

$d_a$  = diámetro del hombro (máximo y mínimo) del rodamiento.

$r_a$  = radio máximo del encuentro del hombro del rodamiento.

### 4.2. Definiciones

No aplica

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]RT-M2020-GRL-001\_r0 - Análisis de posición, catedra Mecanismos, Mecánica, Instituto Balseiro.
- [2]CL-M2020-FCA-002\_r0 - Analisis cineático de una bomba-varilla, Francesco Camussoni, Instituto Balseiro.
- [3]CL-M2020-FCA-003-r0, Analisis dinámico de una bomba-varilla, Francesco Camussoni, Instituto Balseiro.
- [4]CL-M2020-FCA-004\_r0 - Diseño de la transmisión por correa, Francesco Camussoni, Instituto Balseiro.
- [5]CL-M2020-FCA-005\_r0 - Diseño del tren de engranajes reductor, Francesco Camussoni, Instituto Balseiro.
- [6]Rolling Bearings SP - NSK.

## 6. RESPONSABILIDADES

El alumno Francesco Camussoni respondera todas las consultas sobre este documento.

El alumno Francesco Camussoni será responsable de actualizar el contenido d este documento durante su ciclo de vida.

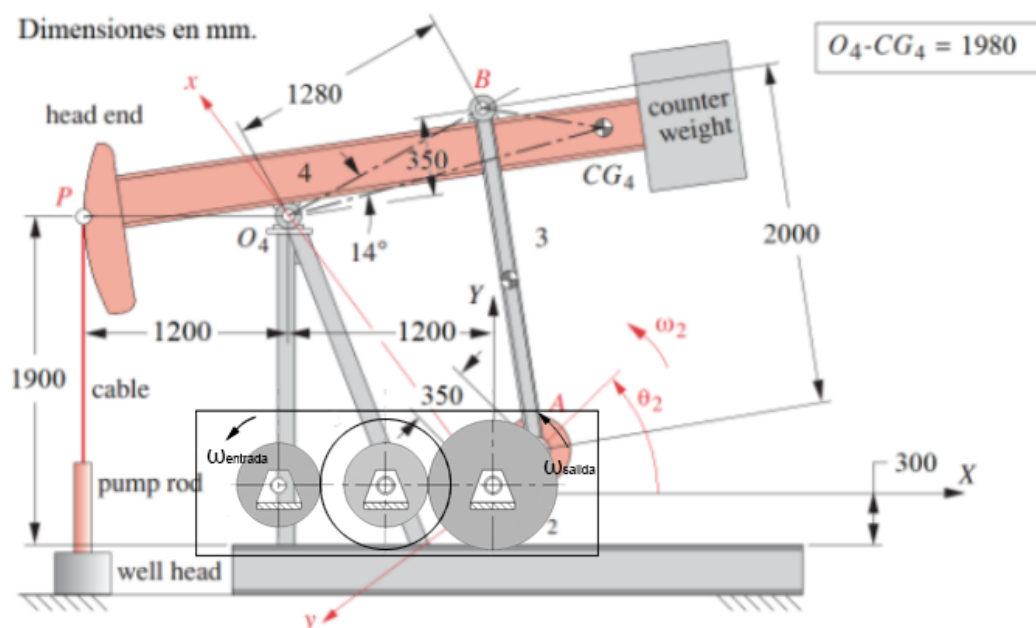
## 7. DESARROLLO

### 7.1. Introducción

No aplica.

### 7.2. Datos de entrada

Se presenta un diagrama de la bomba-varilla junto a su caja reductora en la **Figura 7.1** [1].



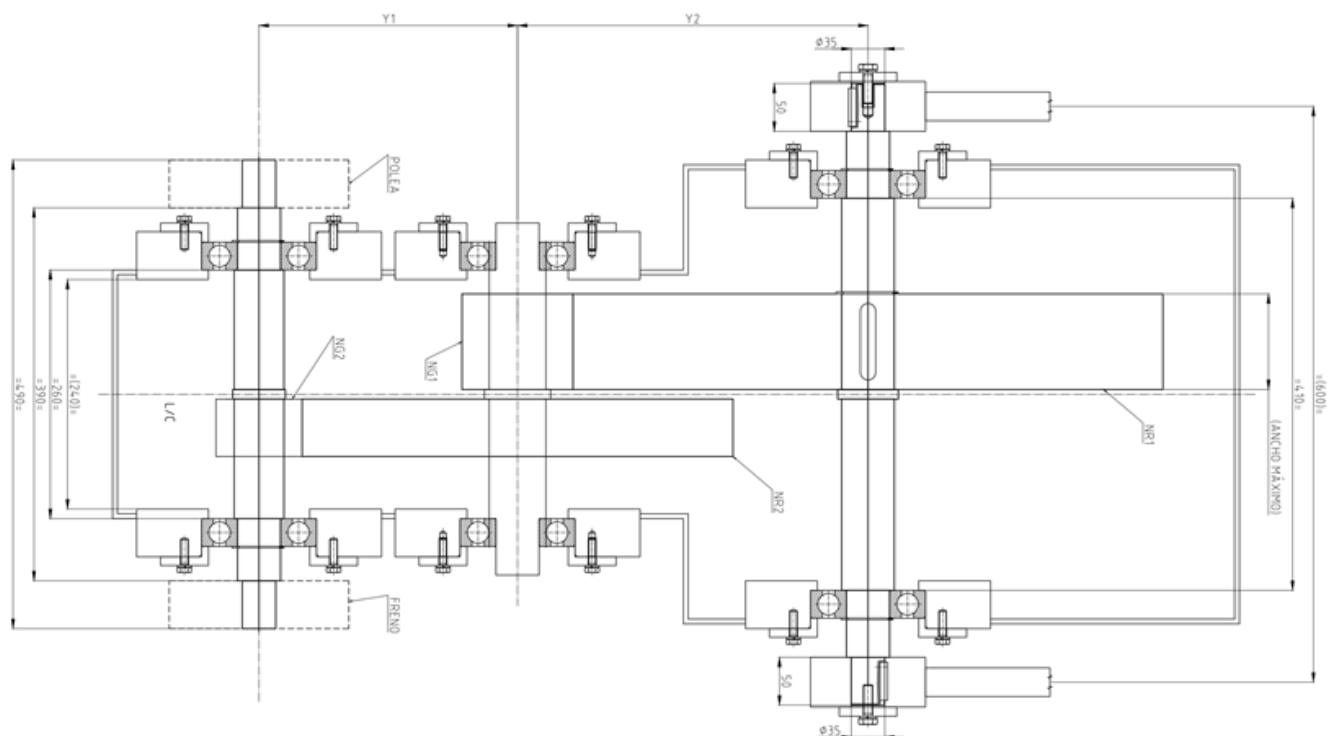
**Figura 7.1:** Esquema del mismo mecanismo de la bomba-varilla de un pozo petrolero.

El mecanismo de la bomba varilla es de 4 eslabones. Todos los cuerpos que conforman a la bomba varilla se consideran cuerpos rígidos, es decir, que no pueden deformarse. Con estas suposiciones, y con la velocidad angular de la manivela impuesta en 4r.p.m [1], se realizó un análisis cinemático [2] y dinámico [3] de dicho mecanismo en donde se obtuvieron las fuerzas actuantes sobre los eslabones y los torques deseados para una vuelta completa de la manivela. En ellos se determinó que la potencia a entregar a la misma es de 1.748kW.

Luego, se dispone de un motor eléctrico de 750r.p.m, que mediante un sistema de transmisión por correas, alimenta al tren reductor de engranajes que actúa sobre la manivela del mecanismo. El sistema de transmisión reduce la velocidad a 151.04r.p.m. Los ejes de las poleas soportan una carga máxima  $F_p=2314.62\text{N}$  [4]. Finalmente, se diseñó el tren de engranajes reductor de velocidad obteniendo una velocidad de salida de 3.987r.p.m. Además se determinó una fuerza tangencial sobre el primer engranaje de 3804N y sobre el segundo engranaje de 12845N con  $\phi=25^\circ$  [5].

### 7.3. Ejecución

A partir de un plano tentativo del tren reductor, que se muestra en la **Figura 7.2**, se obtuvieron los diagramas de cuerpo libre del eje de entrada y de salida.



**Figura 7.2:** Plano esquemático del tren reductor de la bomba-varilla.

Los ejes presentan apoyos en los rodamientos, para los cuales se desea obtener la cargas que soportan a partir de las fuerzas externas actuantes, siendo estas, la fuerza provocada por la tensión de la correa, por el contacto en los engranajes y por los eslabones del mecanismo. En la **Figura 7.3** y en la **Figura 7.4** se presentan los diagramas de cuerpo libre correspondientes.

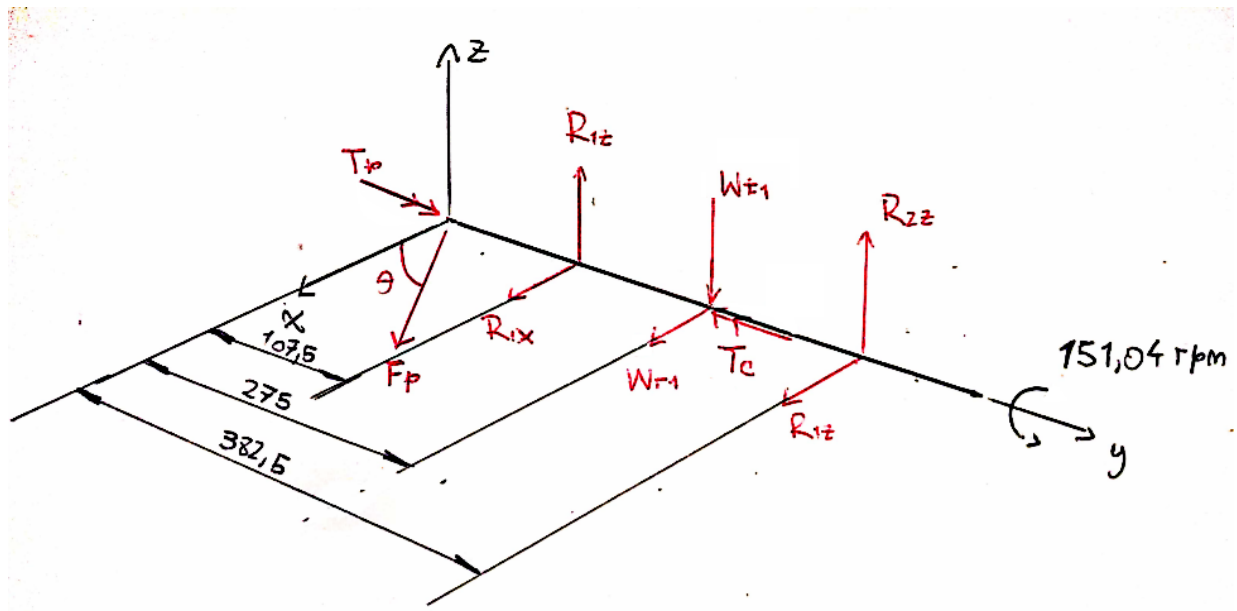


Figura 7.3: Diagrama de cuerpo libre del eje de entrada.

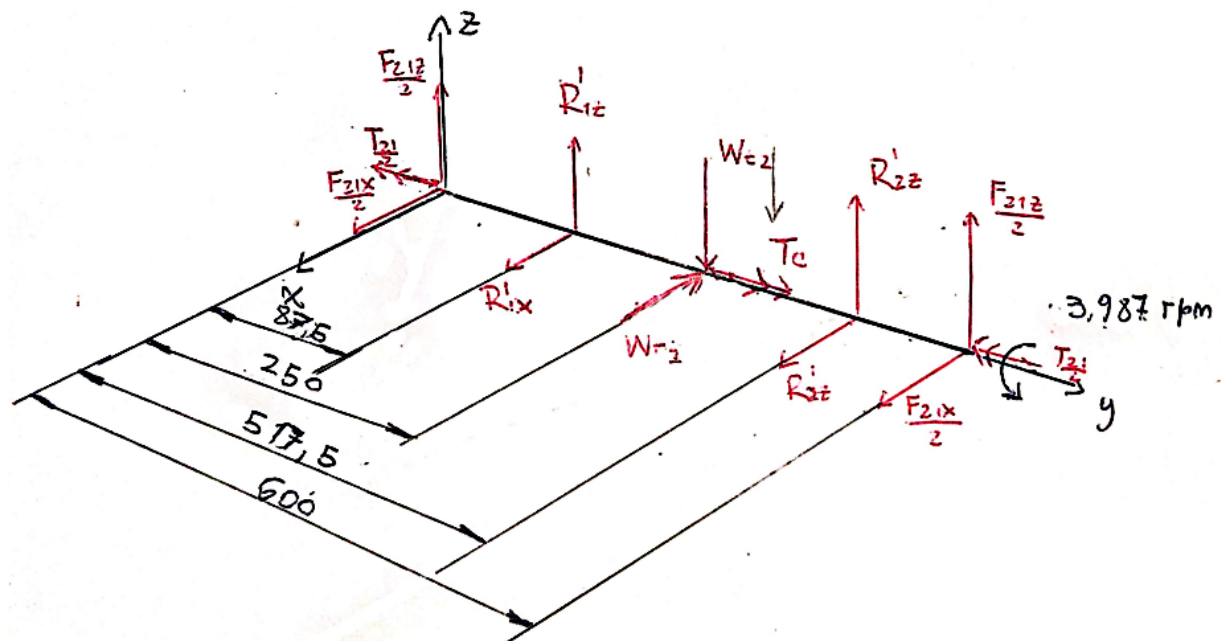


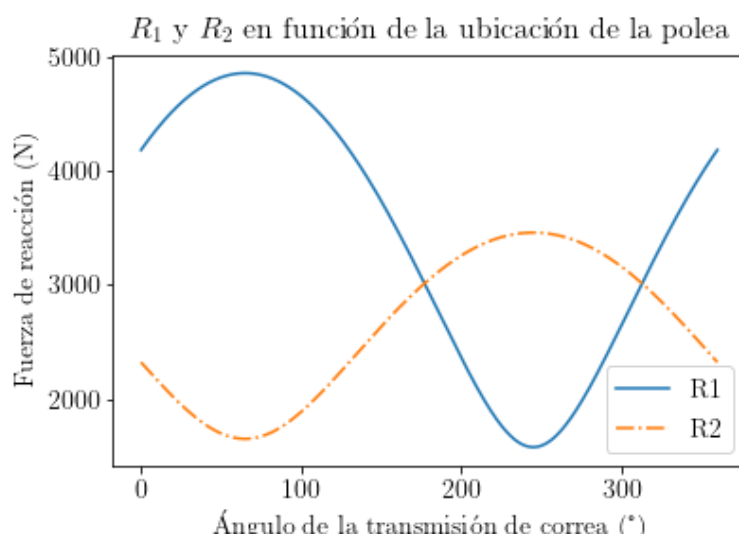
Figura 7.4: Diagrama de cuerpo libre del eje de salida.

Se supuso que las reacciones de los rodamientos, así como las cargas de la dentada y la polea, actúan en el centro de su espesor. Con esto, las **Ecuaciones 7.1** de equilibrio para el primer eje son:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= R_{1x} + W_r + R_{2x} + F_p \cos(\theta) = 0 \\ \sum F_z &= R_{1z} - W_t + R_{2z} - F_p \sin(\theta) = 0 \\ \sum M_x &= R_{1z} 107,5 - W_t 275 + R_{2z} 382,5 = 0 \\ \sum M_z &= R_{1x} 107,5 - W_r 275 - R_{2x} 382,5 = 0\end{aligned}\tag{7.1}$$

Con  $F_p=2314.62\text{N}$ , la fuerza tangencial en la rueda dentada de entrada  $W_t=-3804\text{N}$  y la radial  $w_r=1773.8\text{N}$ , en dirección de la **Figura 7.3**.

Dado que no se presenta ninguna restricción en cuanto a la posición del sistema de transmisión de correa, se dejó libre el ángulo de acción del mismo y se calculó la reacción en ambos engranajes en función de dicho ángulo. Esto es, por criterio, para minimizar en conjunto la reacción en ambos rodamientos, osea, el punto en el cual las cargas que deben soportar los mismos son iguales. Por buen criterio de diseño, se desea que la transmisión no esté muy por debajo de la caja reductora, por esto que se busca que el ángulo de acción no sea mayor a 45 por debajo de la horizontal. Los resultados se muestran en la **Figura 7.5**.



**Figura 7.5:** Cargas sufridas por los engranajes en función del ángulo de acción de la transmisión.

Se obtuvo que para  $\theta=-47.05^\circ$ , es decir, hacia arriba de la horizontal según la **Figura 7.1**, las reacciones en ambos rodamientos es la misma, minimizando dichas cargas en conjunto.

Luego, para el eje de salida se tienen las siguientes **Ecuaciones 7.2** de equilibrio:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_{21x} + R_{1x} - W_r + R_{2x} = 0 \\ \sum F_z &= F_{21z} + R_{1z} - W_t + R_{2z} = 0 \\ \sum M_x &= R_{1z}87,5 - W_t250 + R_{2z}517,5 + F_{21z}300 = 0 \\ \sum M_z &= R_{1x}87,5 + W_r250 - R_{2x}517,5 - F_{21x}300 = 0\end{aligned}\tag{7.2}$$

Se considero la posición en la cual la bomba-varilla requiere mas torque. Esto es para  $\theta_2=5.94^\circ$  [3], en donde las fuerza que experimentan los eslabones debido al eje de la manivela son  $F_{12}^x=-1558.77\text{N}$  y  $F_{12}^y=11977.45\text{N}$  en el sistema de coordenadas de la bomba-varilla. Entonces, las fuerzas que soporta el eje de salida, en el sistema de coordenadas según la **Figura 7.4** son  $F_{12}^x=-1558.77\text{N}$  y  $F_{12}^z=-11977.45\text{N}$ . Además la rueda dentada de salida presenta una carga  $W_t=12845\text{N}$  y  $W_r=5989.72\text{N}$  en la dirección de la **Figura 7.4**.

A continuación, para la elección de rodamientos según el catálogo de NSK [6], se considera un coeficiente de seguridad  $f_s=1.5$  debido a que la condición de trabajo es de cargas variables.

Para el eje de entrada, que gira a 151.04 r.p.m, se considera que los rodamientos del mismo están sujetos a cargas dinámicas. Considerando 10 años de trabajo, la cantidad de ciclos a los que está sometido dichos rodamientos es  $N=7.93e8$ . Se puede obtener la carga básica mediante la **Ecuación 7.3** [6].

$$L_{10} = 10^6 \left( \frac{C_0}{f_s R} \right)^3 \quad (7.3)$$

En donde  $L_{10}$  es la cantidad de ciclos a la cual va a estar sujeto el rodamiento con una confiabilidad del 90 %. Para el eje de entrada no se presenta ninguna restricción en cuanto al diámetro interno por lo que se eligió a criterio del diseñador.

Finalmente, el eje de salida gira a 3.98 r.p.m, por lo que se puede considerar que está sujeto a carga estática. Luego, según el fabricante, se obtiene la carga básica mediante la **Ecuación 7.4**. [6]

$$C_{0r} = 1,5R \quad (7.4)$$

Con la restricción de que el eje de salida tiene un diametro en su sección mas chica de 35mm, se seleccionó un rodamiento del catálogo de NSK [6].

## 7.4. Resultados

Para un ángulo de la transmisión de  $\theta=177.04^\circ$ , según la **Figura 7.3**, las reacciones en ambos rodamientos del eje de entrada resultaron  $R^e=3015.13\text{N}$  en módulo.

Para el eje de salida, a través de las **Ecuaciones 7.2**, se obtuvo  $R_1^s=14587.1\text{N}$  y  $R_2^s=11361.8\text{N}$ , también en módulo.

A partir de las cargas que soportan dichos rodamientos se obtuvo la carga básica de los mismos. Mediante la **Ecuación 7.3** se determinó  $C_0^e=41862\text{N}$  para los rodamientos de entrada. A través la **Ecuación 7.4** se obtuvo una carga basica para los rodamientos del eje de salida de  $C_{0r1}^s=21880\text{N}$  y  $C_{0r2}^s=17043\text{N}$ , para el primer y segundo rodamiento respectivamente.

Con esto, a partir del catálogo de NSK, se selecciono un número de rodamiento 6211 para los rodamientos del eje de entrada, 6012 para el primer rodamiento del eje de salida y 16012 para el segundo rodamiento del eje de salida.

## 8. CONCLUSIONES, OTROS ESTUDIOS Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Conclusiones

Se obtuvieron los siguientes rodamientos para los ejes de entrada y salida de la caja reductora de velocidad:

- Eje de entrada, único rodamiento 6211 NSK:

- $d=55\text{mm}$
- $D=100\text{mm}$
- $B=21\text{mm}$
- $r_{min}=1.5\text{mm}$
- $da_{min}=63\text{mm}$
- $da_{max}=66.5\text{mm}$
- $ra_{max}=1.5\text{mm}$

- Eje de salida:

- Primer rodamiento, 6012 NSK:



- $d=60\text{mm}$
- $D=95\text{mm}$
- $B=18\text{mm}$
- $r_{min}=1.1\text{mm}$
- $da_{min}=66.5\text{mm}$
- $da_{max}=69\text{mm}$
- $ra_{max}=1\text{mm}$
- Segundo rodamiento, 16012 NSK:
  - $d=60\text{mm}$
  - $D=95\text{mm}$
  - $B=11\text{mm}$
  - $r_{min}=0.6\text{mm}$
  - $da_{min}=64\text{mm}$
  - $da_{max}=66\text{mm}$
  - $ra_{max}=0.6\text{mm}$

Para las tolerancias de los ejes de entrada y salida es necesario contactar a la empresa NSK dado que no brinda información para la operación de trabajo requerida.

## 8.2. Otros estudios y recomendaciones

No aplica.

## 9. REGISTROS

No aplica.

## 10. ANEXO

No aplica.