

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO - CHILE



DIEGO IGNACIO ARÁNGUIZ GUTIÉRREZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

“ESTUDIO DE VIDA ÚTIL DE TRANSMISIONES ABIERTAS PIÑÓN–CORONA DE GRAN TAMAÑO USADAS EN ACCIONAMIENTOS DE MOLINOS DE BOLAS, DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE SERVICIO”

PROFESOR GUIA : ING. FERNANDO ROJAS G.

PROFESOR CORREFERENTE : MAG. GUILLERMO GONZALEZ B.

AGOSTO - 2020

Estructura de la Presentación



1. Introducción
 2. Propuesta
 3. Antecedentes Generales
 4. Método para la Capacidad de Carga
 5. Método para la Capacidad de Carga Modificada
 6. Método para el Calculo del Factor de Seguridad
 7. Caso de Estudio
 8. Arreglo de Medición
 9. Pruebas Realizadas en Terreno
 10. Resultados de Mediciones
 11. Evaluación de la transmisión
 12. Conclusiones
 13. Recomendaciones y Proyecciones
- Fin de la presentación.
- Consultas.

Molienda



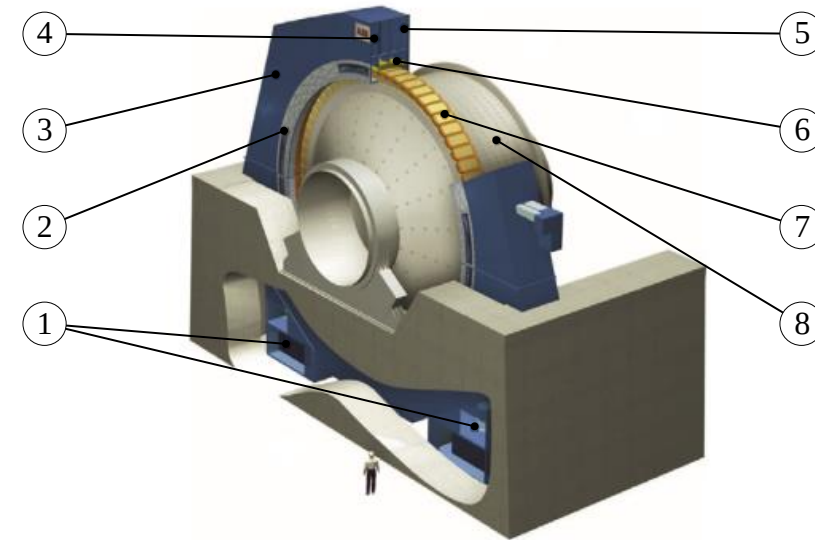
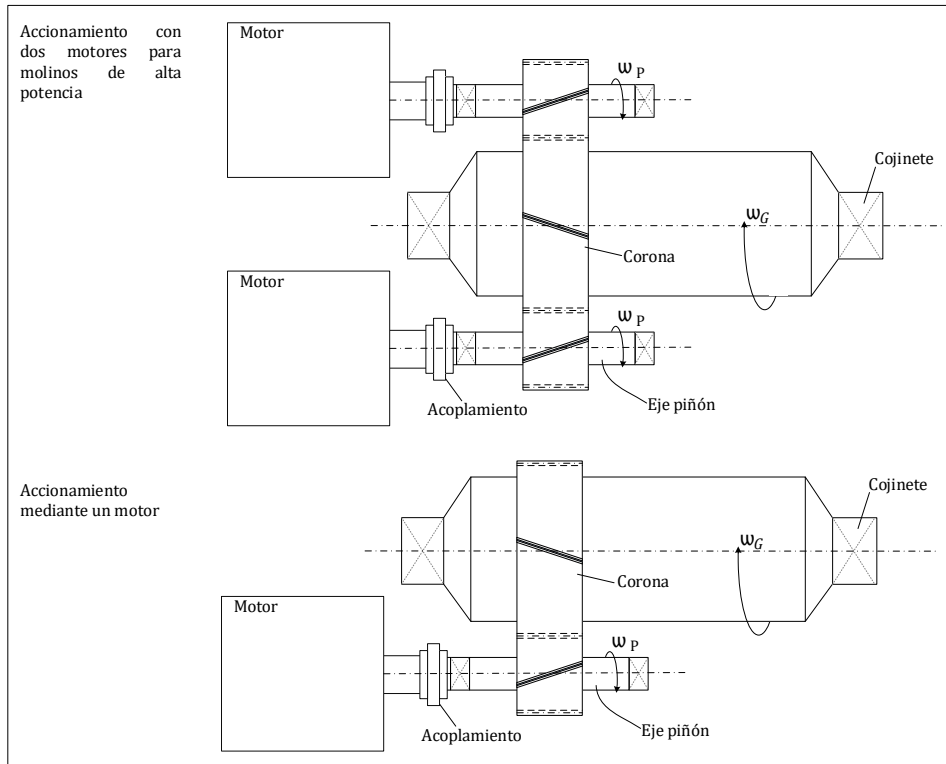
Causas de la elevada criticidad de los molinos en las plantas mineralúrgicas:

- Su eficacia determina la tasa de recuperación del mineral a extraer.
- La disponibilidad individual de cada molino tiene gran efecto en la disponibilidad de la planta.
- Elevado precio, costo logístico y tiempos de espera de algunos de sus componentes principales.

Introducción



Accionamientos para molinos



- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1 : Sistema de enfriamiento | 5 : Cámara de ventilación de salida |
| 2 : Cubre estator y soporte de escobillas | 6 : Núcleos del estator |
| 3 : Marco del estator | 7 : Polos del rotor |
| 4 : Cámara de ventilación de entrada | 8 : Casco del molino |

Sistemas de transmisión abiertos piñón-corona

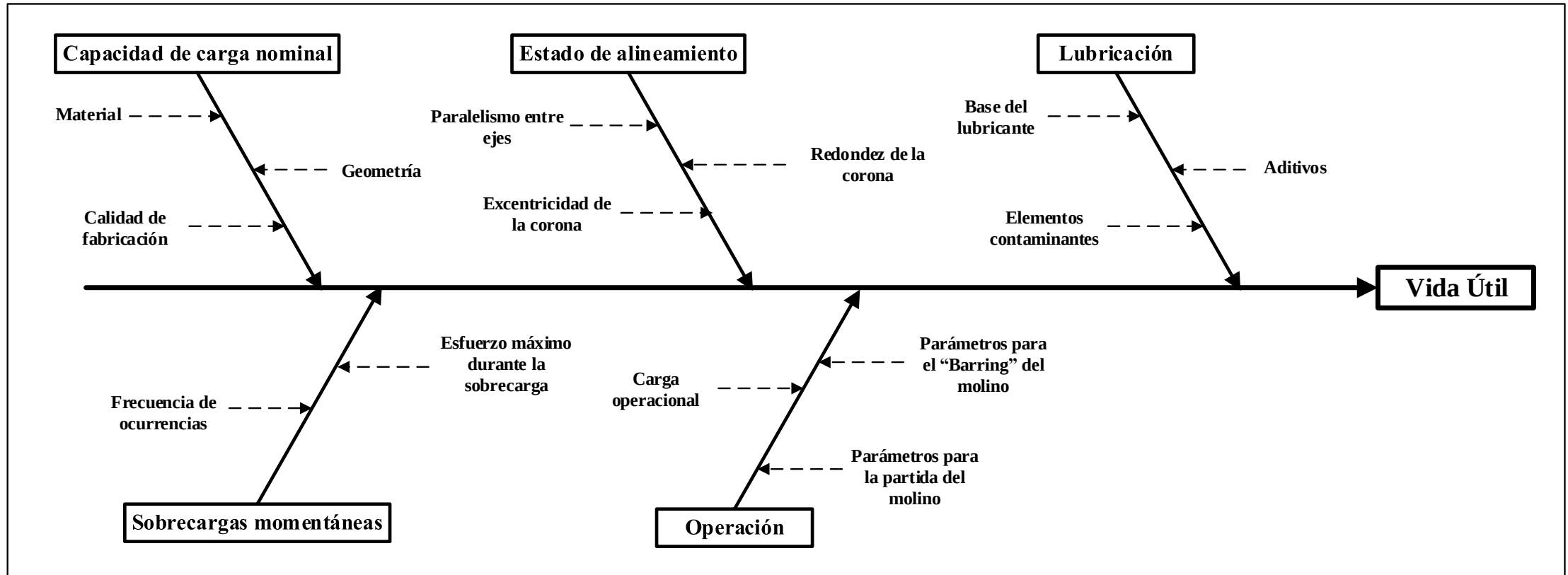


- Elevado costo y tiempos de reposición elevados.
- La verificación y corrección de su estado de alineamiento genera considerables tiempos de indisponibilidad del molino.
- Su análisis e inspección requiere de personal altamente calificado.

Introducción



Vida útil de la transmisión de engranes



Introducción

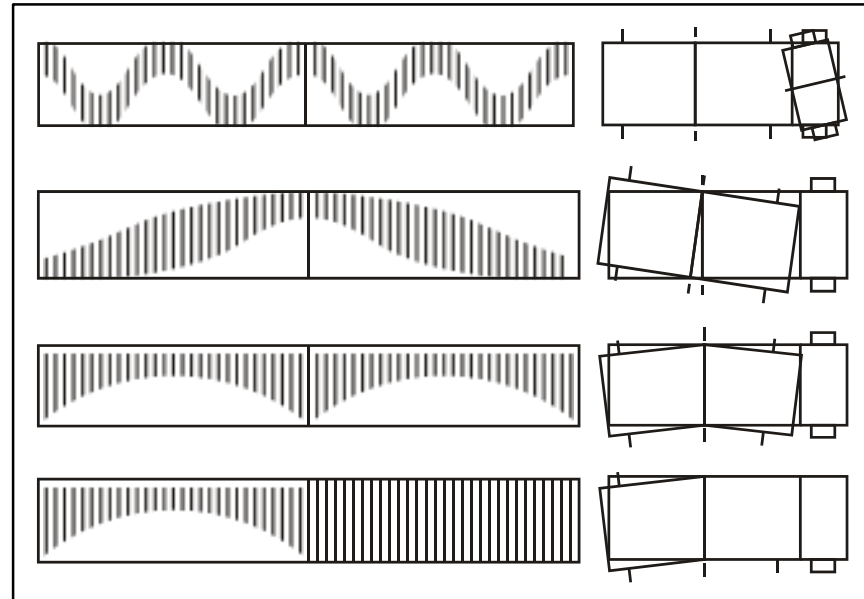


Métodos utilizados para la verificación de este tipo de engranes

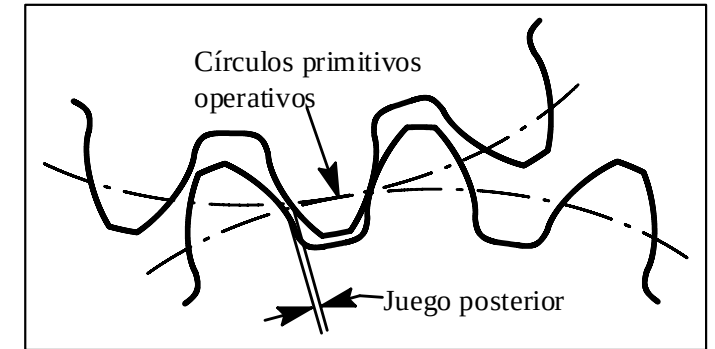
Medición estática
mediante comparadores
de caratula



Análisis de los patrones de contacto
mediante tintas marcadoras



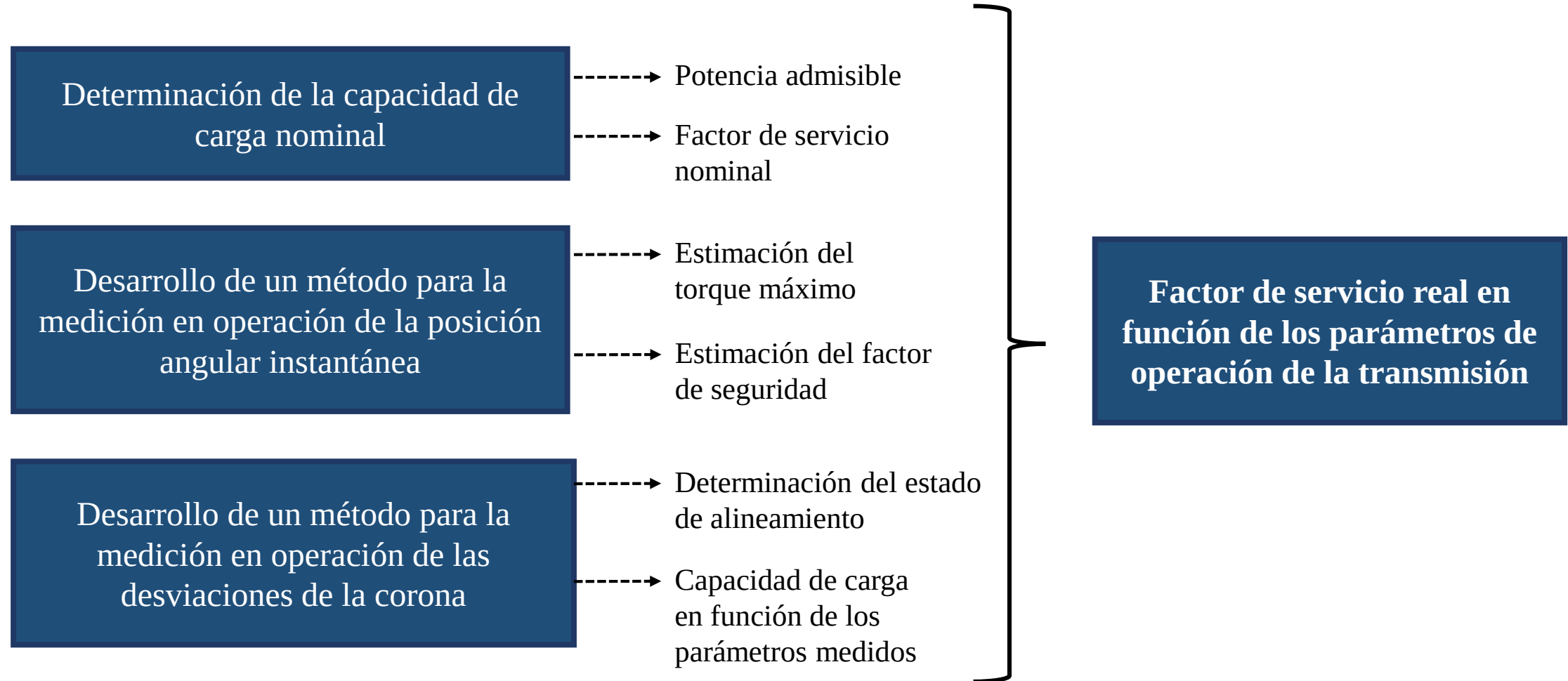
Medición del juego posterior para
evaluar paralelismo entre ejes





2. Propuesta

Propuesta



Objetivos

- Estudiar la fenomenología de falla, los factores que afectan la vida útil y los métodos para la obtención de la capacidad de carga de sistemas de accionamiento mecánico para transmisiones de molinos.
- Analizar el diseño actual de los sistemas de accionamiento y transmisión.
- Estudiar la factibilidad de implementar un sistema de monitoreo en operación de los principales factores que afectan la vida útil y capacidad de carga de las transmisiones de los molinos.
- Evaluar opciones de estimación del factor de servicio de los sistemas de accionamiento mecánico de los molinos.
- Proponer recomendaciones para la mejora de la vida de servicio de los componentes del sistema de transmisión.
- Presentar conclusiones del trabajo desarrollado.



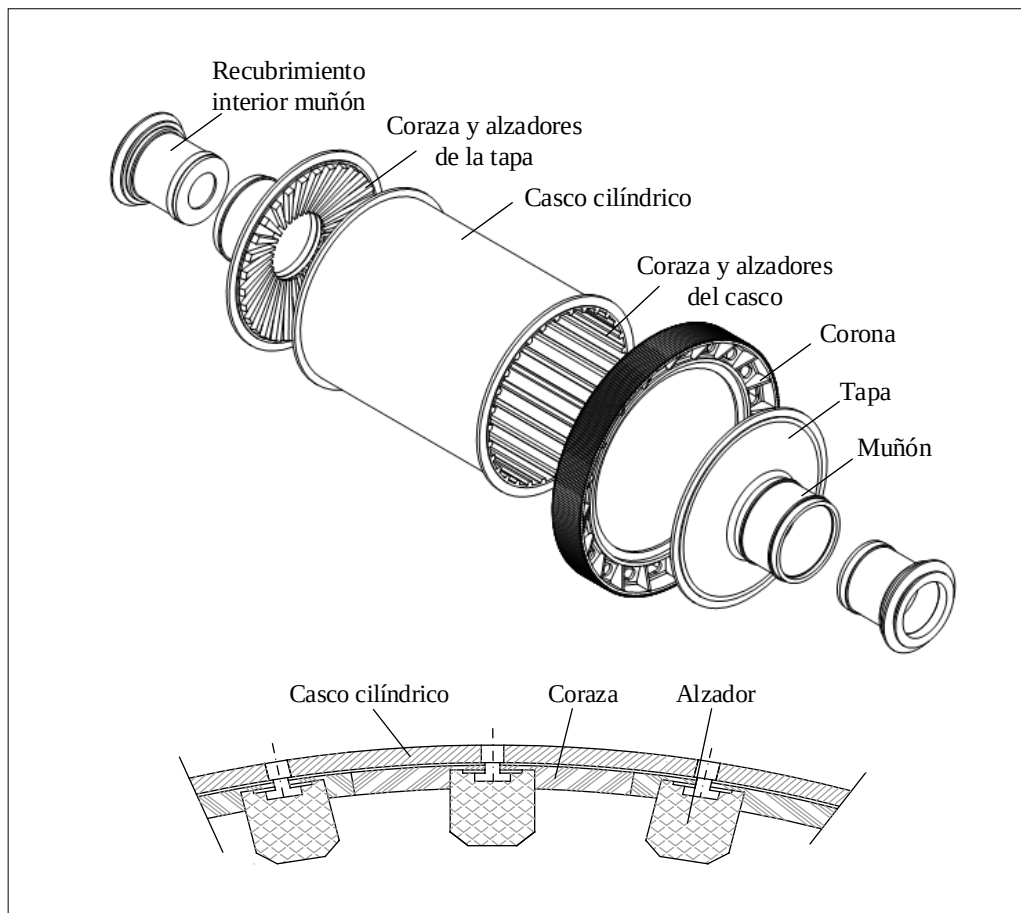
3. Antecedentes Generales

Antecedentes Generales

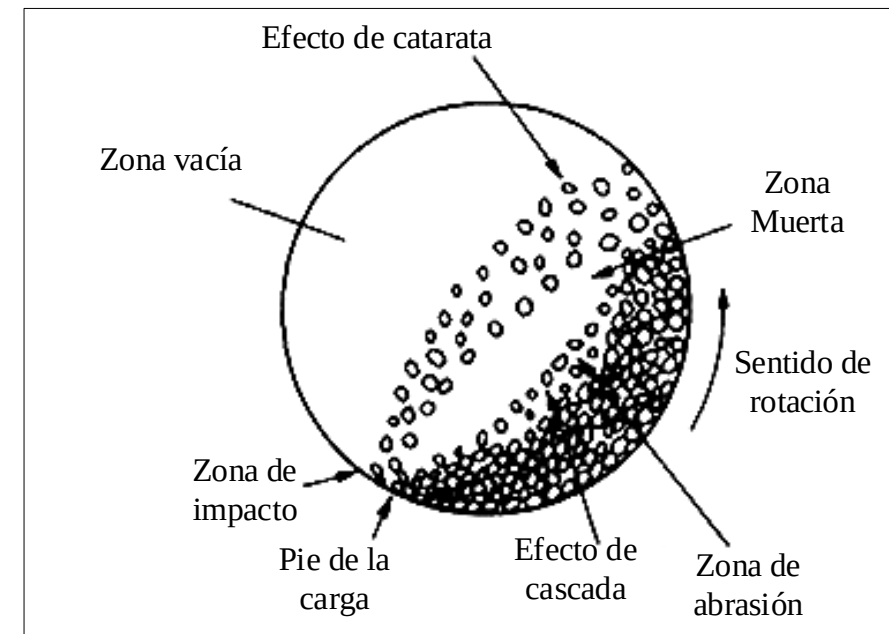


Molinos tubulares de bolas

Componentes



Movimiento de la carga al interior del molino



Modelo para la potencia mecánica en función de las dimensiones del molino y el nivel de llenado:

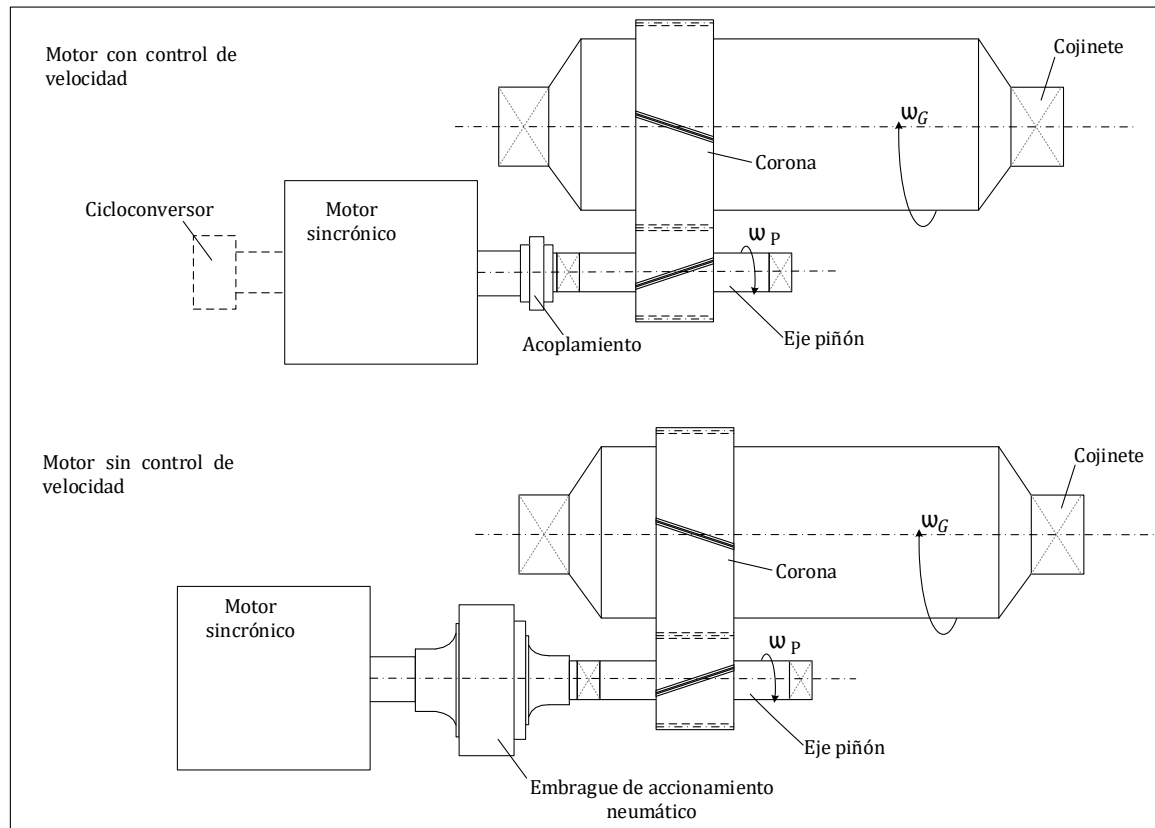
$$P_{M op} = 7,33 J_B \phi_{crit} (1 - 0.937 J_B) \rho_B L D_i^{2,3} \left(1 - \frac{0.1}{2^{9-10\phi_{crit}}} \right)$$

Antecedentes Generales

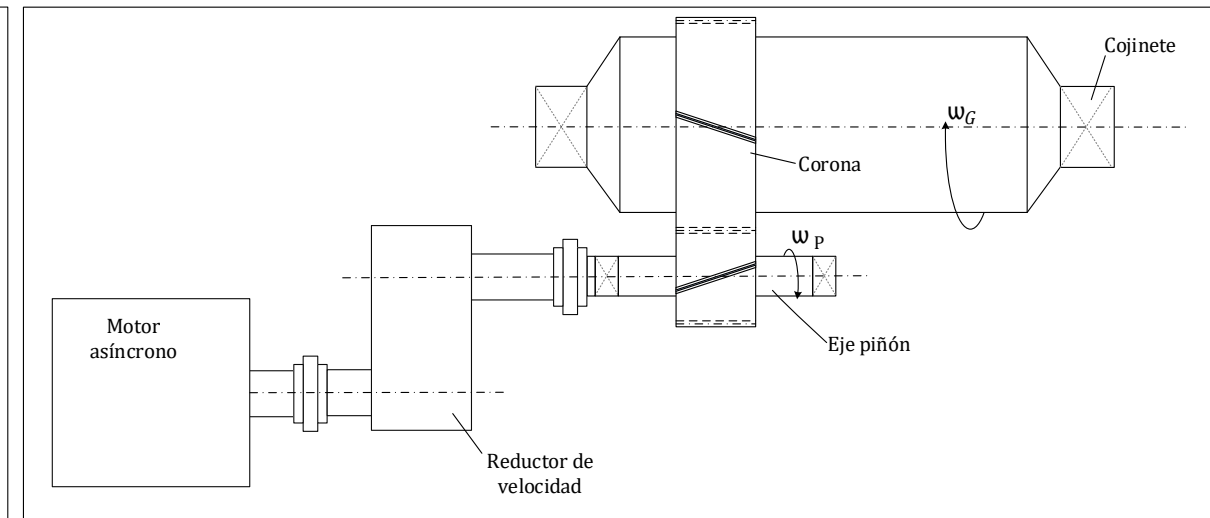


Accionamientos para molinos de bolas

Mediante motor sincrónico



Mediante motor asíncrono



Antecedentes Generales



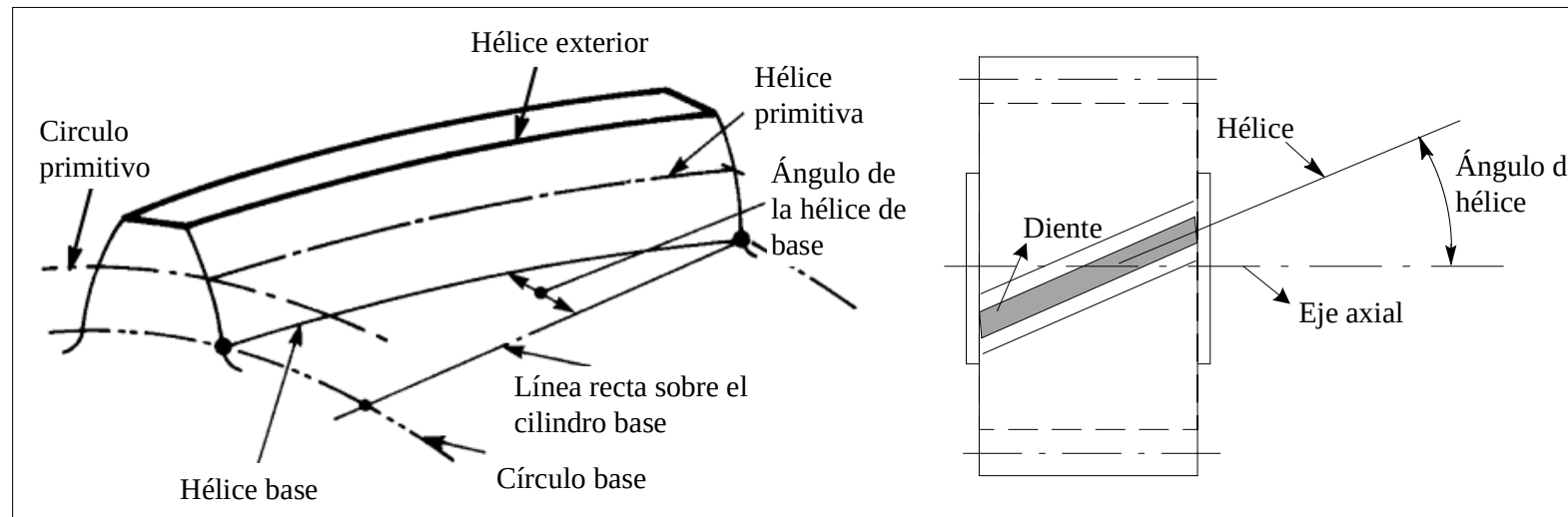
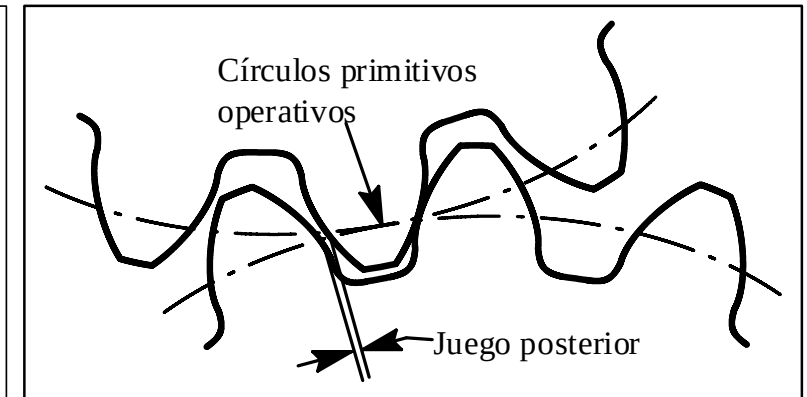
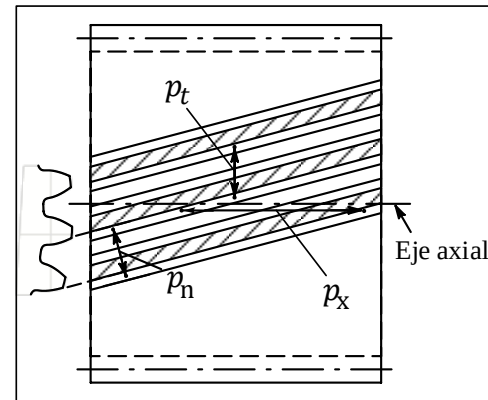
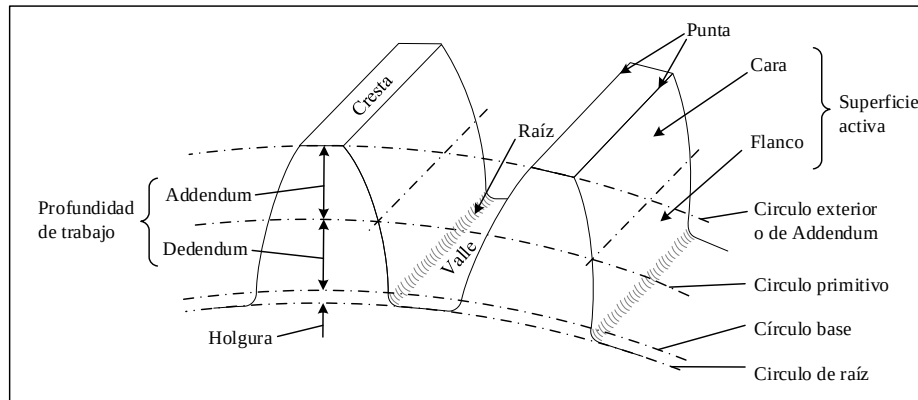
Normas relacionadas al diseño y evaluación de engranes

Año	Código	Descripción original	Descripción traducida al español
ISO			
2019	BS ISO 6336-1	Calculation of load capacity of spur and helical gears. Basic principles, introduction and general influence factors.	Calculo de la capacidad de carga para engranes rectos y helicoidales. Principios básicos, introducción y factores de influencia generales.
2019	BS ISO 6336-2	Calculation of load capacity of spur and helical gears. Calculation of surface durability (pitting).	Calculo de la capacidad de carga para engranes rectos y helicoidales. Calculo de la durabilidad superficial (picadura).
2019	BS ISO 6336-3	Calculation of load capacity of spur and helical gears. Calculation of tooth bending strength.	Calculo de la capacidad de carga para engranes rectos y helicoidales. Calculo de la resistencia a la flexión del diente.
2019	BS ISO 6336-6	Calculation of load capacity of spur and helical gears - Calculation of service life under variable load.	Calculo de la capacidad de carga para engranes rectos y helicoidales. Calculo de la vida de servicio bajo carga variable.
DIN			
1987	DIN 3990	Calculation of load capacity of cylindrical gears; introduction and general influence factors.	Calculo de la capacidad de carga para engranes cilíndricos; introducción y factores de influencia generales.
ANSI/AGMA			
2004	ANSI/AGMA 2001-D04	Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth.	Factores de evaluación y métodos de cálculo fundamentales para dientes de engranes rectos y helicoidales.
2006	ANSI/AGMA 6014-A06	Gear Power Rating for Cylindrical Shell and Trunnion Supported Equipment.	Evaluación de la capacidad de carga de engranes para equipos de casco cilíndrico soportados por muñones.
2005	ANSI/AGMA 1012-G05	Gear Nomenclature; Definition of Terms with Symbols.	Nomenclatura de engranes; definición de términos con símbolos.

Antecedentes Generales



Conceptos generales de las ruedas dentadas

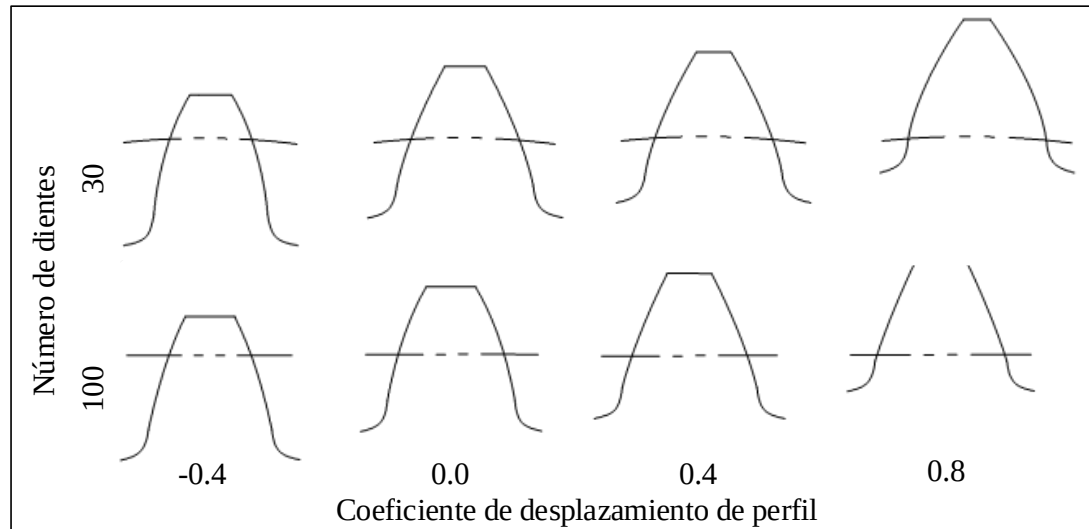


Antecedentes Generales

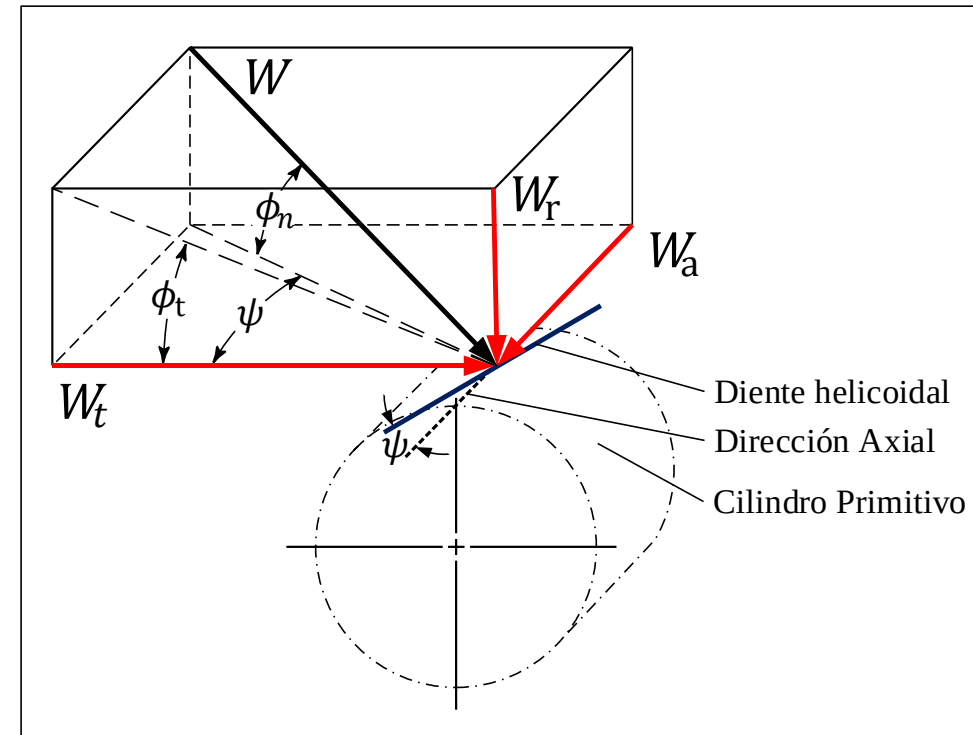


Conceptos generales de las ruedas dentadas

Desplazamiento de perfil



Fuerzas en un engrane helicoidal



Antecedentes Generales



Engranajes utilizados en accionamientos de molinos

Tipos de dentado



Corona y piñón de dientes rectos

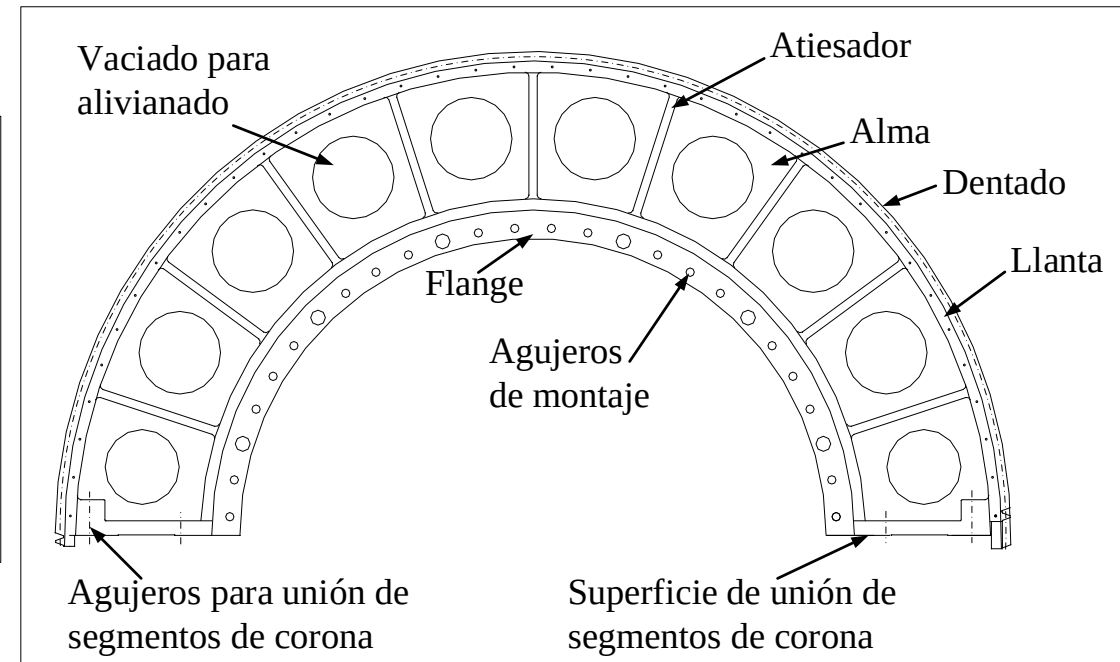


Corona y piñón de dientes helicoidales



Corona helicoidal doble

Estructura típica de la corona



Antecedentes Generales



Engranes utilizados en accionamientos de molinos

Fenómeno	Engrane recto	Engrane helicoidal	Engrane helicoidal doble
Empuje axial	Inexistente.	Debe compensarse mediante cojinetes de empuje.	Se ecualiza entre ambas hélices.
Influencia frente a empuje externo	No tiene influencia en el engrane.	No tiene influencia en el engrane.	Puede sobrecargar una hélice; posible falla.
Errores Geométricos	Mínimos.	Mínimos.	Puede diferir entre ambas hélices, causando cargas distintas entre las hélices.
Vibraciones axiales	Mínimas.	Mínimas.	Se pueden generar por errores geométricos o desgaste no uniforme.
Ajuste en terreno del patrón de contacto	Es posible mediante descansos ajustables.	Es posible mediante descansos ajustables.	Limitado, puede requerir rectificado.
Superposición de contacto entre dientes	Estándar.	Dependiente del ángulo de hélice, mejor que en engranes rectos.	Excelente, suele utilizar elevados ángulos de hélice.
Costo de manufactura	Menor a helicoidal doble.	Similar a engrane recto.	Elevado.

4. Método para la Capacidad de Carga

Capacidad de Carga



Norma ANSI/AGMA 6014-A06

Capacidad de carga para la resistencia a las macropicaduras (pitting):

$$P_{acm} = \frac{\omega_p F_e}{2 * 10^6} \frac{I}{K_{vm} K_m} \left(\frac{D_P s_{ac} Z_N C_H}{C_p} \right)^2 [KW]$$

P_{acm} : Capacidad de carga para resistencia al pitting con factor de servicio unitario [KW];

ω_p : Velocidad rotacional del piñón [rad/s];

F_e : Ancho de cara efectivo [mm];

I : Factor geométrico para la resistencia al pitting;

K_{vm} : Factor dinámico;

K_m : Factor de distribución de carga;

D_P : Diámetro de paso operativo del piñón [mm];

s_{ac} : Numero de esfuerzo de contacto admisible [MPa];

Z_N : Factor de ciclos de esfuerzo para resistencia al pitting;

C_H : Factor de razón de dureza para resistencia al pitting;

C_p : Coeficiente elástico [Mpa]^{0.5}.

Capacidad de Carga



Norma ANSI/AGMA 6014-A06

Capacidad de carga para la resistencia a la flexión:

$$P_{atm} = \frac{\omega_p D_P}{2 * 10^6 K_{vm}} \frac{m_n F_e}{\cos(\psi)} \frac{J s_{at} Y_N}{K_{Bm} K_m} [KW]$$

P_{atm} : Capacidad de carga para resistencia a la flexión con factor de servicio unitario [KW];

m_n : Modulo normal [mm];

ψ : Angulo la hélice en el cilindro primitivo [grados];

J : Factor geométrico para resistencia a la flexión;

s_{at} : Numero de esfuerzo de flexión admisible [MPa];

Y_N : Factor de ciclos de esfuerzo para resistencia a la flexión;

K_{Bm} : Factor de espesor de llanta.



5. Capacidad de Carga Modificada

Capacidad de Carga Modificada



Factor dinámico K_{vm}

Se estima un grado de calidad AGMA en función del error geométrico

$$V_{rT} = 14,255 N_i^{0,238} m_n^{0,722} 1,4^{(8-Q)}$$

V_{rT} : Tolerancia para el Runout radial (TIR radial) [μm];

N_i : Número de dientes del engrane;

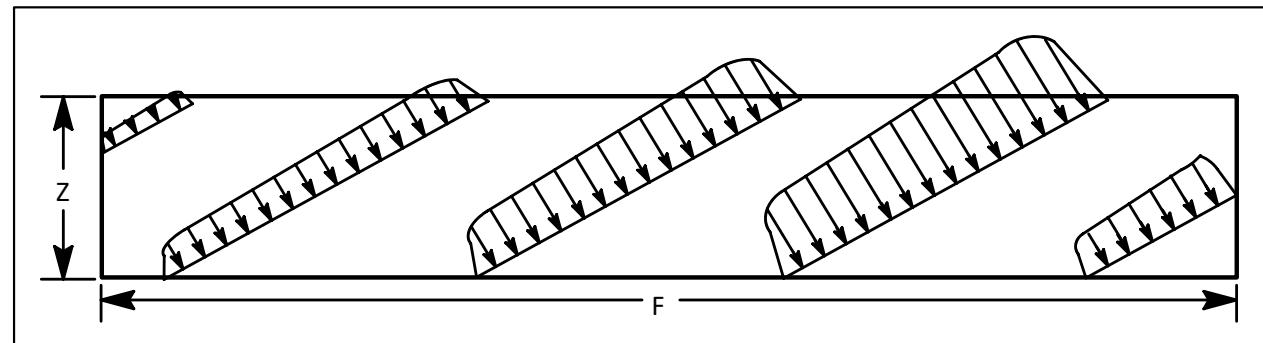
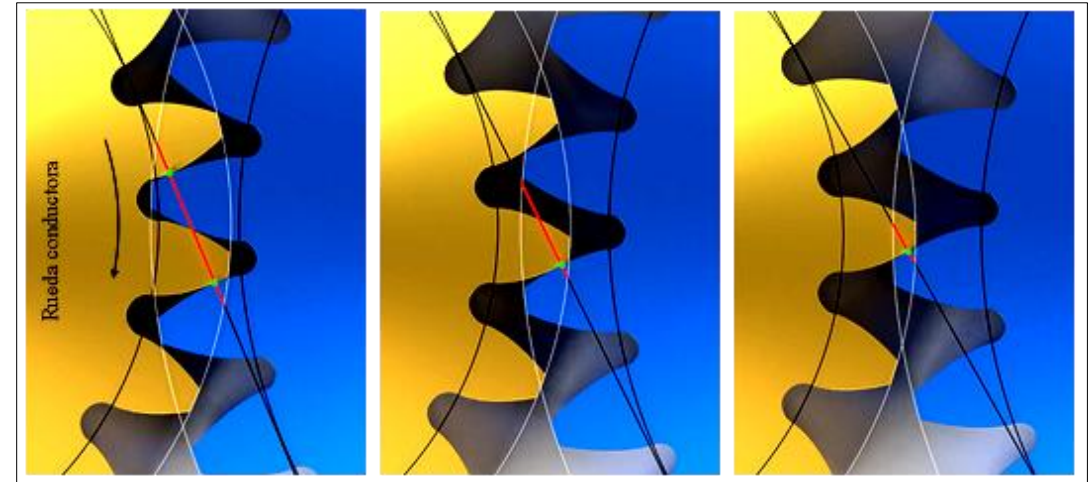
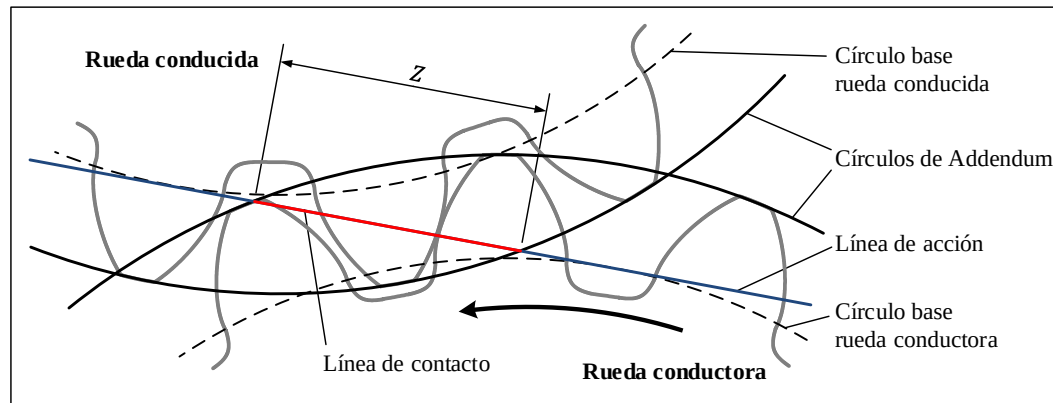
m_n : Módulo normal del engrane [mm];

Q : Número de calidad del engrane (número entero).

Capacidad de Carga Modificada



Razón de distribución de carga m_n





6. Método para el Calculo del Factor de Seguridad

Factor de Seguridad



Factor de seguridad a partir de la sobrecarga momentánea medida

$$\sigma_{t \max} = \frac{W_{t \max} \cos(\psi) K_m}{m_n F_e J K_f}$$

$\sigma_{t \max}$: Esfuerzo de tracción máximo durante la sobrecarga [Mpa];

$W_{t \max}$: Fuerza tangencial máxima durante la sobrecarga [N];

m_n : Modulo normal [mm];

ψ : Ángulo de hélice en el cilindro primitivo [grados];

K_m : Factor de distribución de carga;

F_e : Ancho de cara efectivo [mm];

J : Factor geométrico para la resistencia a la flexión;

K_f : Factor de corrección del esfuerzo.



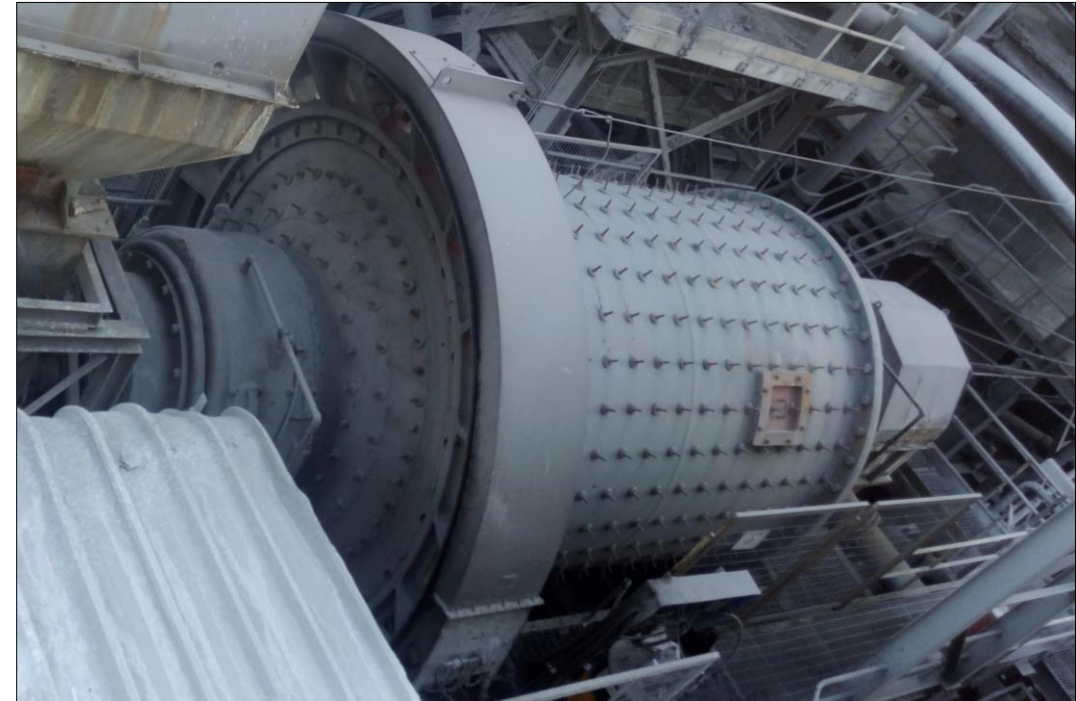
7. Caso de Estudio

Caso de Estudio



Molino

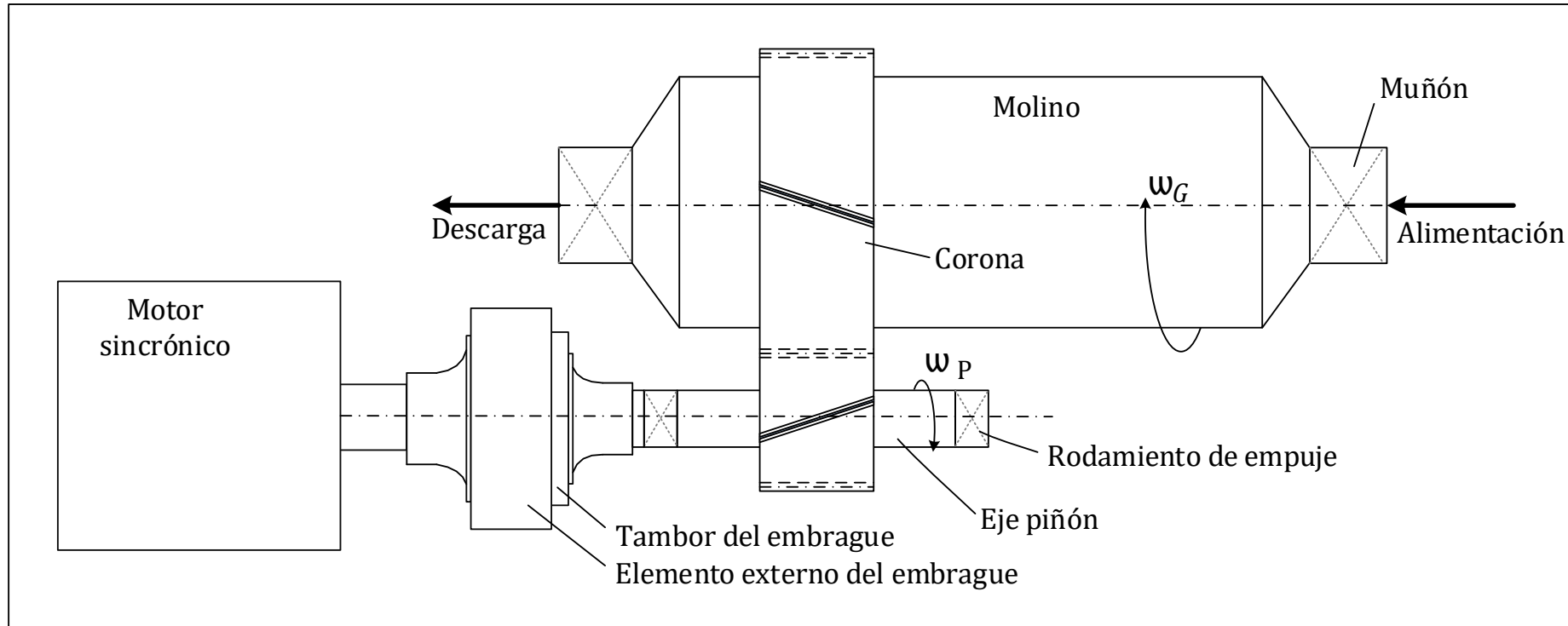
Características		
Equipo	-	Molino tubular de bolas
Marca	-	Dominion
Proceso	-	Remolienda
Tipo de descansos	-	Muñones
Granulometría de salida P80	[μm]	98
Largo nominal	[ft] (m)	16 (4,88)
Diámetro nominal	[ft] (m)	12 (3,66)
Diámetro interno con corazas	[m]	3,56
Diámetro de bolas	[mm]	50,80



Caso de Estudio



Sistema de accionamiento



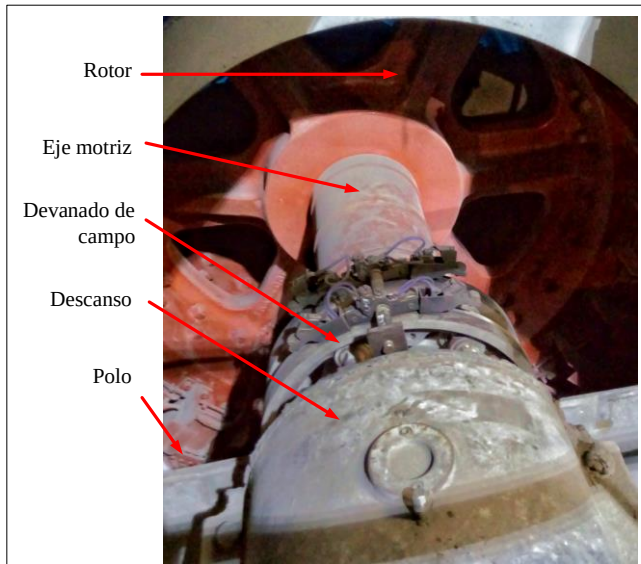
Caso de Estudio



Sistema de accionamiento

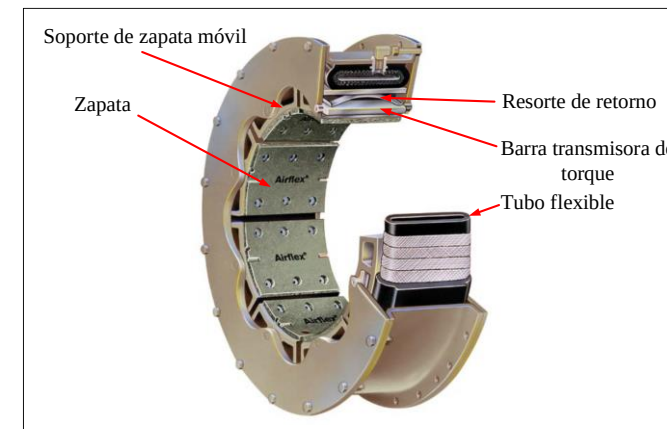
Motor

Características		
Tipo de motor	-	Sincrónico AC
Fases	-	3
Potencia nominal	[HP] ([KW])	1.500 (1.119)
Voltaje	[V]	2.300
Frecuencia	[Hz]	50
Velocidad sincrónica	[RPM]	231



Embrague

Características		
Equipo	-	Embrague de accionamiento neumático
Tipo	-	Constrictor con bloqueo axial
Fabricante	-	Eaton
Torque nominal (a presión de alimentación nominal)	[KNm]	92,54
Presión de alimentación nominal	[bar]	5,20
Velocidad máxima	[RPM]	670,00
Momento de inercia rotacional total	[Kg m ²]	314,25
Momento de inercia rotacional acoplado a motor	[Kg m ²]	232,56
Momento de inercia rotacional acoplado a piñón	[Kg m ²]	81,69



Caso de Estudio



Sistema de transmisión



Parámetro	Notación	Unidad	Valor
Datos Generales			
Angulo de la hélice en el cilindro primitivo	ψ	[grados]	5,000
Modulo transversal	m_t	[mm]	18,0688
Paso diametral transversal	P_d	[in]	1,4057
Angulo de presión transversal	ϕ_t	[grados]	25,0838
Distancia entre centros	C	[in] (mm)	109,1950 (2773,55)
Datos corona			
Numero de dientes	N_G	-	286
Sentido de la hélice	-	-	Derecha
Diámetro primitivo	D_G	[in] (mm)	203,4514 (5.167,66)
Diámetro exterior	D_{OG}	[in] (mm)	204,8687 (5.203,66)
Desplazamiento de perfil	x_G	[in] (mm)	0,0000 (0,00)
Addendum	a_G	[in] (mm)	0,7087 (18,00)
Dedendum	b_G	[in] (mm)	0,8858 (22,50)
Espesor de llanta	t_R	[in] (mm)	1,9685 (50,00)
Adelgazamiento para juego posterior	Δs_{nG}	[in] (mm)	0,0200 - 0,0300 (0,51 - 0,76)
Material	-	-	Fundición G.E. GJS HB265
Tratamiento térmico	-	-	Templado
Módulo de Young	E_G	[ksi] (Gpa)	26.832 (185)
Módulo de Poisson	u_G	-	0,27
Dureza Brinell	HB_{N_G}	[HB]	225 - 305
Grado de calidad según AGMA 2000-A88	Q_G	-	Q8
Datos piñón			
Numero de dientes	N_P	-	21
Sentido de la hélice	-	-	Izquierda
Diámetro primitivo	D_P	[in] (mm)	14,9386 (379,44)
Diámetro exterior	D_{OP}	[in] (mm)	16,8285 (427,44)
Desplazamiento de perfil	x_P	[in] (mm)	0,2362 (6,00)
Addendum	a_P	[in] (mm)	0,9449 (24,00)
Dedendum	b_P	[in] (mm)	0,6496 (16,50)
Adelgazamiento para juego posterior	Δs_{nP}	[in] (mm)	0,0200 - 0,0300 (0,51 - 0,76)
Material	-	-	Acero DIN 17210 17CrNiMo6
Tratamiento térmico	-	-	Carburizado
Módulo de Young	E_P	[ksi] (Gpa)	29.733 (205)
Módulo de Poisson	u_P	-	0,30
Dureza superficial	HR_{S_P}	[HRC]	58 - 60
Dureza del núcleo	HB_{N_P}	[HB]	265-313
Grado de calidad según AGMA 2000-A88	Q_P	-	Q12

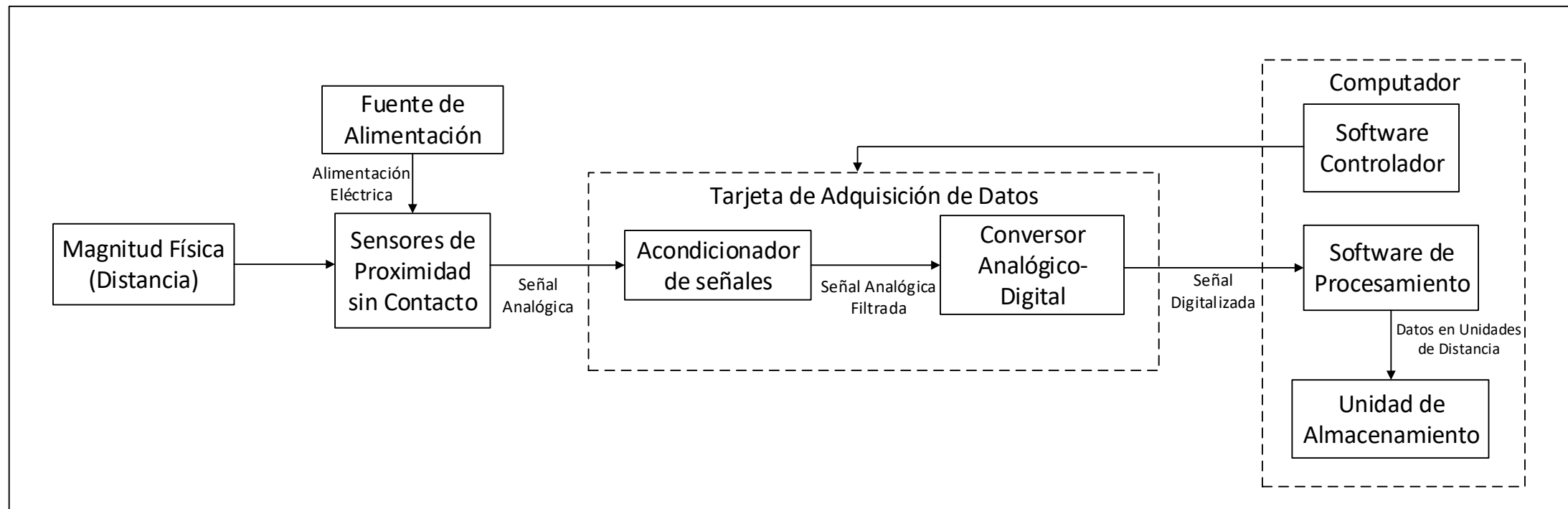


8. Arreglo de Medición

Arreglo de Medición



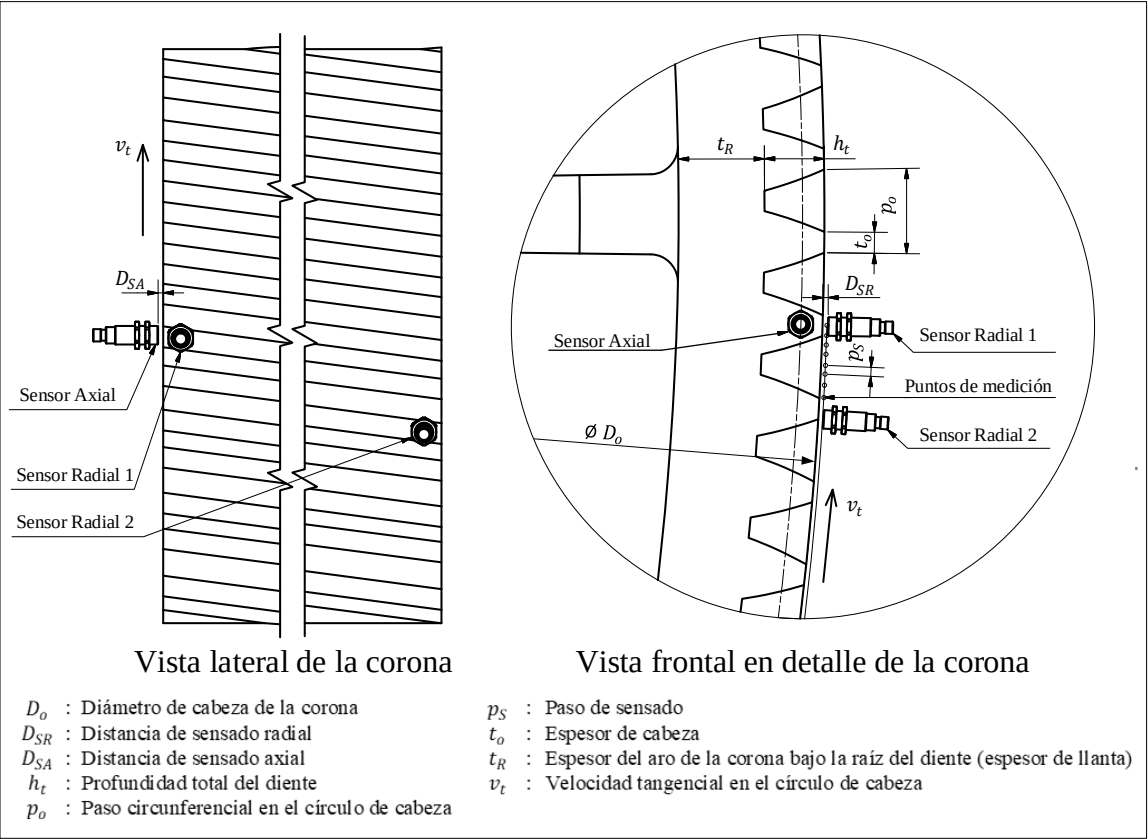
Arreglo de medición de proximidad sin contacto y sistema adquisidor de datos



Arreglo de Medición



Disposiciones de medición



Parámetro	Símbolo	Unidad	Magnitud
Velocidad tangencial en el círculo de cabeza de la corona	v_t	[m/s]	4,622
Frecuencia de engranamiento	f_e	[Hz]	80,850
Tiempo de paso de cabeza	T_o	[ms]	2,473

Arreglo de Medición



Sensor

Característica	Unidad	Valor
Tipo de sensor	[-]	Inductivo analógico
Límite inferior del rango operativo de sensado, S_i	[mm]	0,4
Límite superior del rango operativo de sensado, S_f	[mm]	4
Rango operativo de sensado, S_n	[mm]	3,6
Repetitividad	[mm]	$\pm 0,072$
Tiempo de respuesta	[ms]	< 10
Voltaje de salida para S_i	[V]	0
Voltaje de salida para S_f	[V]	10
Curva característica	[-]	Lineal
Pendiente de recta característica	[V/mm]	2,77
Alimentación	[VDC]	15 a 30
Cuerpo	[-]	Roscado, M12
Material cuerpo	[-]	Latón recubierto en bronce
Tipo de Montaje	[-]	No enrasado



Placa adquisidora de datos

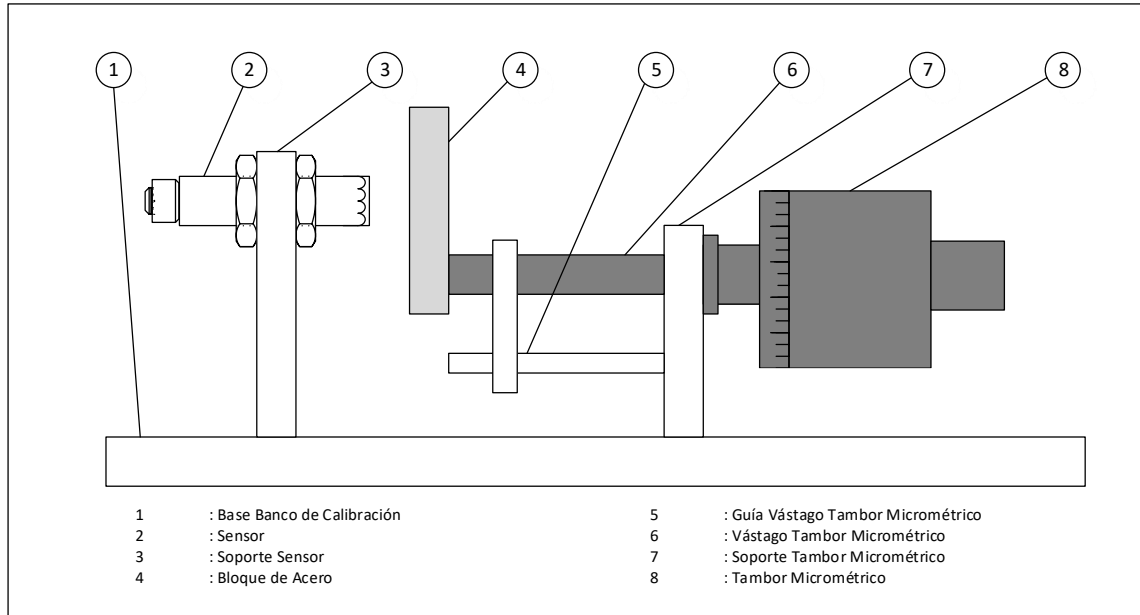
Placa	Fabricante	[-]	MC Computing
	Modelo	[-]	PMD 1608 FS
Características de las entradas analógicas	Número de canales	[-]	8
	Resolución	[Bits]	16
	Rangos de entrada	[V]	$\pm 1, \pm 2, \pm 5, \pm 10$
	Tasa de muestreo máx.	[KS/s]	50
	Método de muestreo	[-]	Simultaneo
Energía	Alimentación	[-]	5 Vcc, vía USB
	Corriente de alimentación	[mA]	< 150
	Terminal de energía	[V]	5



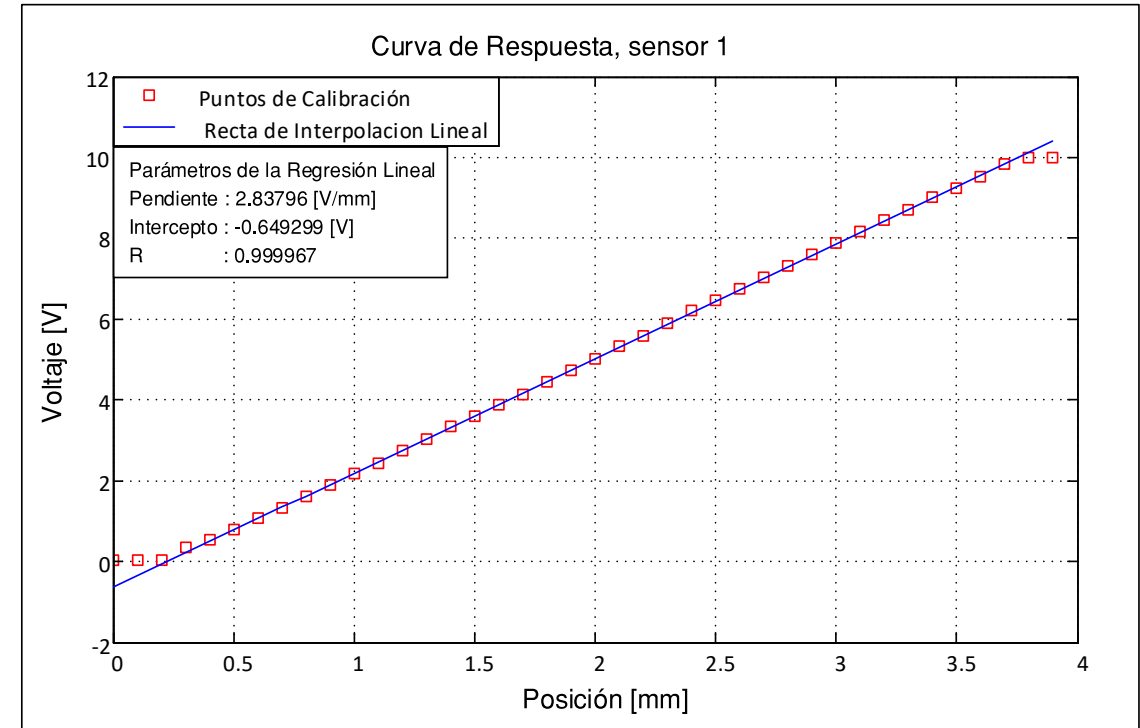
Arreglo de Medición



Banco de Calibración



Curva de respuesta



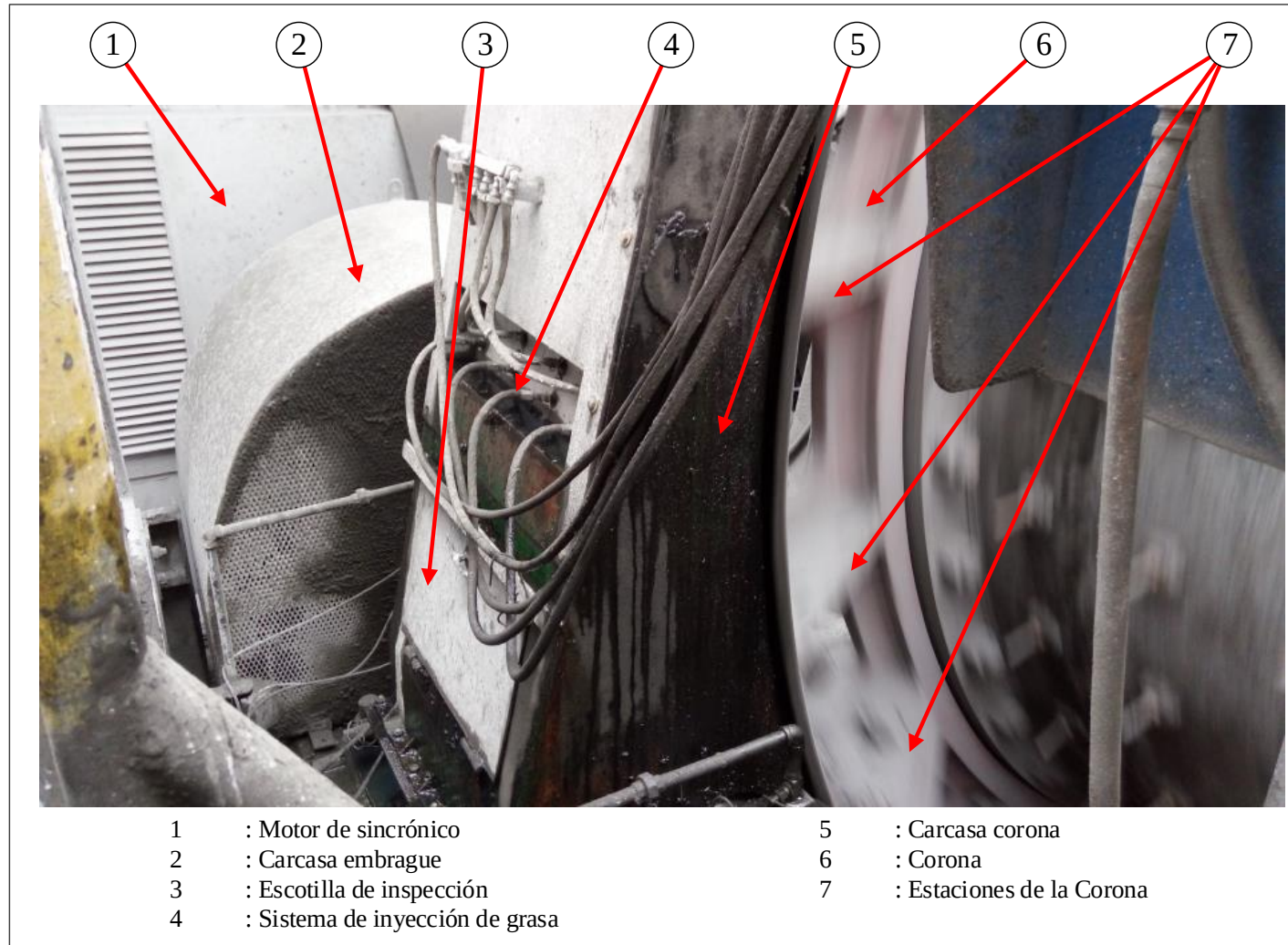


9. Pruebas Realizadas en Terreno

Pruebas Realizadas en Terreno



Mediciones en terreno



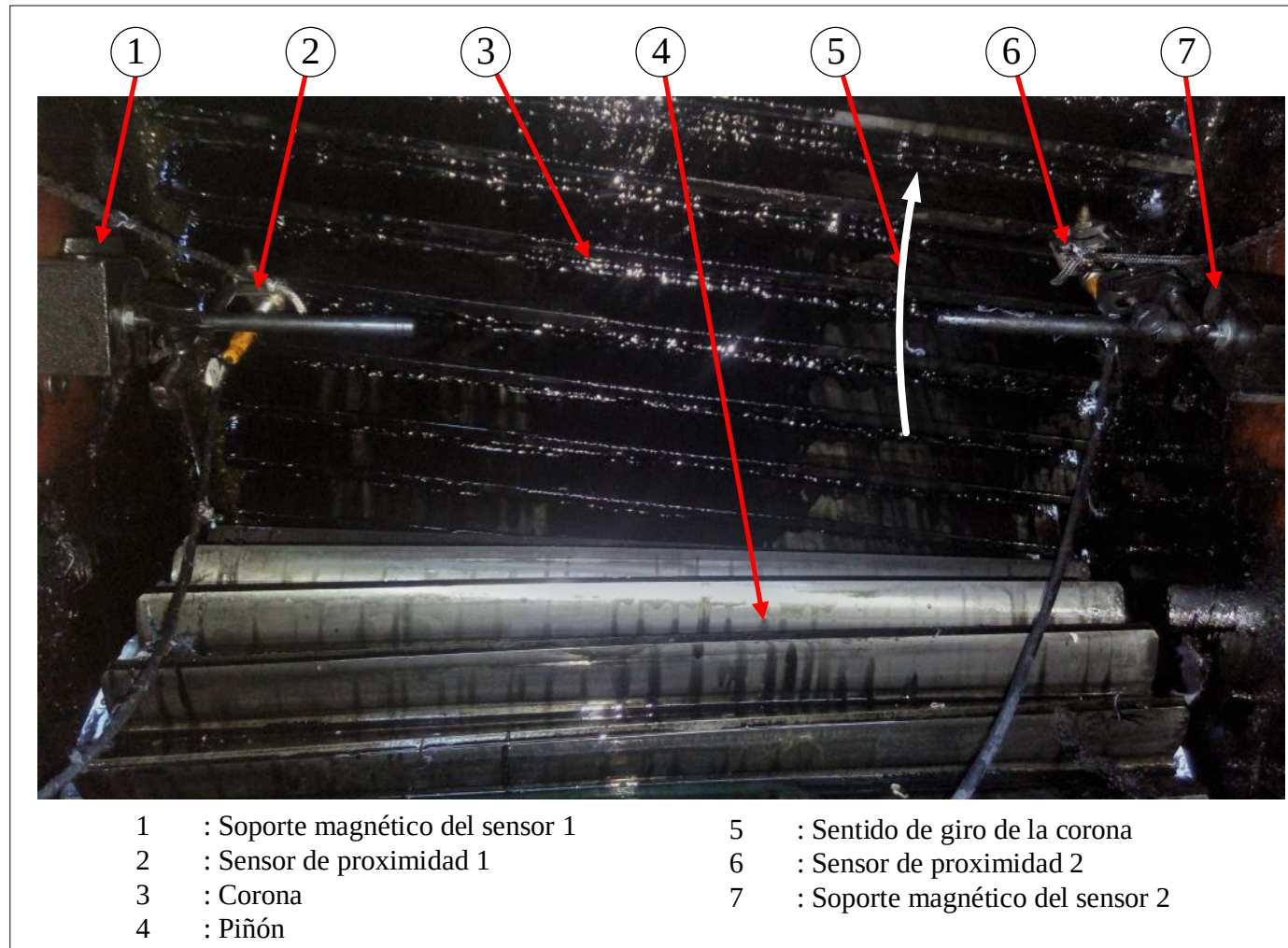
- 1 : Motor de sincrónico
- 2 : Carcasa embrague
- 3 : Escotilla de inspección
- 4 : Sistema de inyección de grasa

- 5 : Carcasa corona
- 6 : Corona
- 7 : Estaciones de la Corona

Pruebas Realizadas en Terreno



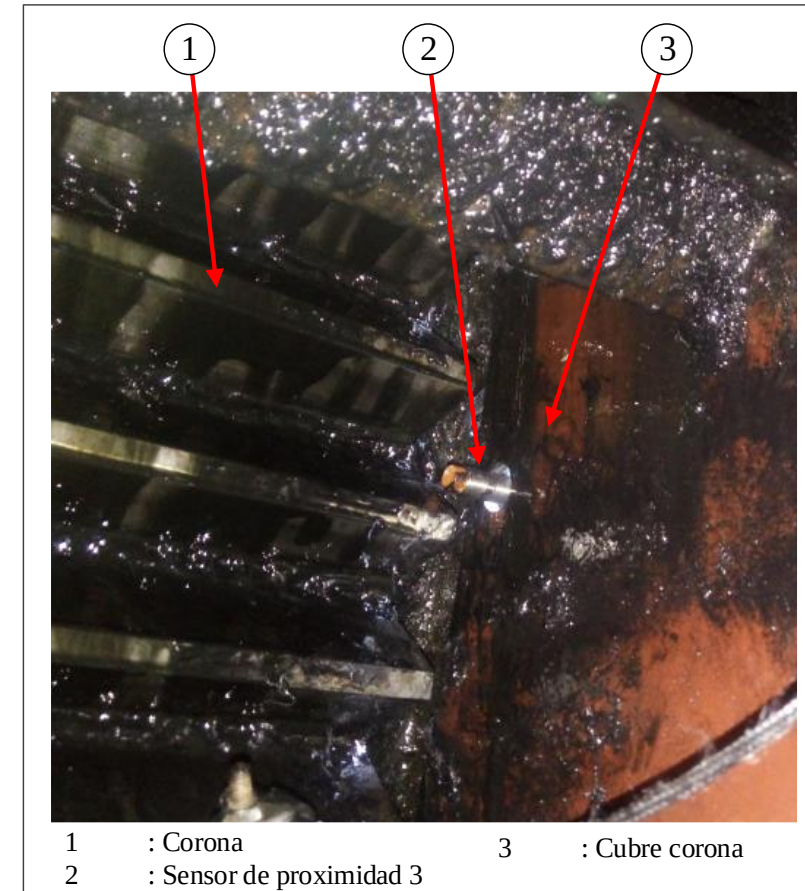
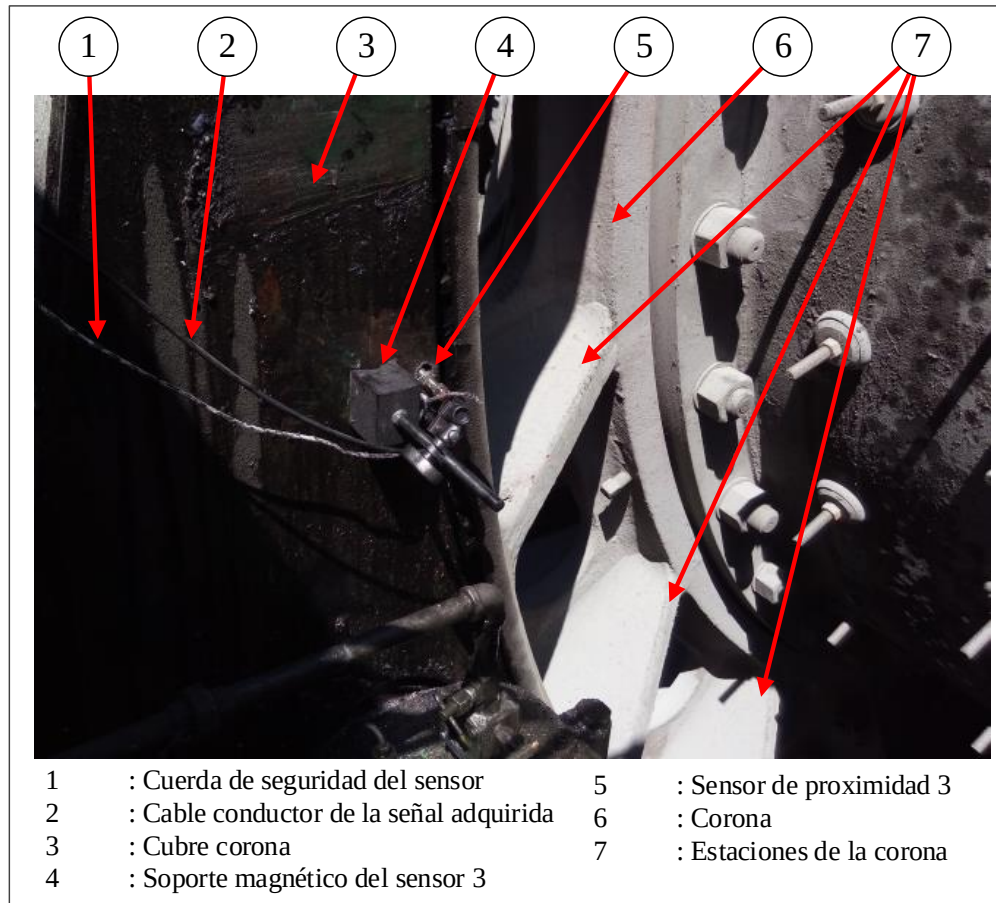
Mediciones en terreno



Pruebas Realizadas en Terreno



Mediciones en terreno



Pruebas Realizadas en Terreno



Descripción de mediciones llevadas a cabo

Descripción de mediciones realizadas a la corona del caso de estudio				
Frecuencia de muestreo		20 [kS/s]		
Tiempo total de muestreo por prueba		60 [s] (continuo)		
Prueba	Descripción	Temp. corona lado motor	Temp. corona lado libre	Hora
-	-	[°C]	[°C]	-
1	Partida y detención, medición radial	16,2	15,2	12:01:37
2	Partida, medición radial	16,2	15,2	12:05:18
3	Medición radial y axial, carga ligera	17,8	17,2	12:19:02
4	Medición radial, carga ligera	22,0	19,8	13:02:23
5	Medición radial, carga ligera	22,2	21,0	13:35:40
6	Medición radial, carga media	23,2	22,4	14:18:04
7	Medición radial, carga media	24,2	23,8	14:44:59
8	Medición radial, plena carga	25,6	25,2	15:30:58
9	Medición radial, plena carga	25,6	25,2	15:33:07
10	Medición radial, plena carga	25,6	25,2	15:35:01

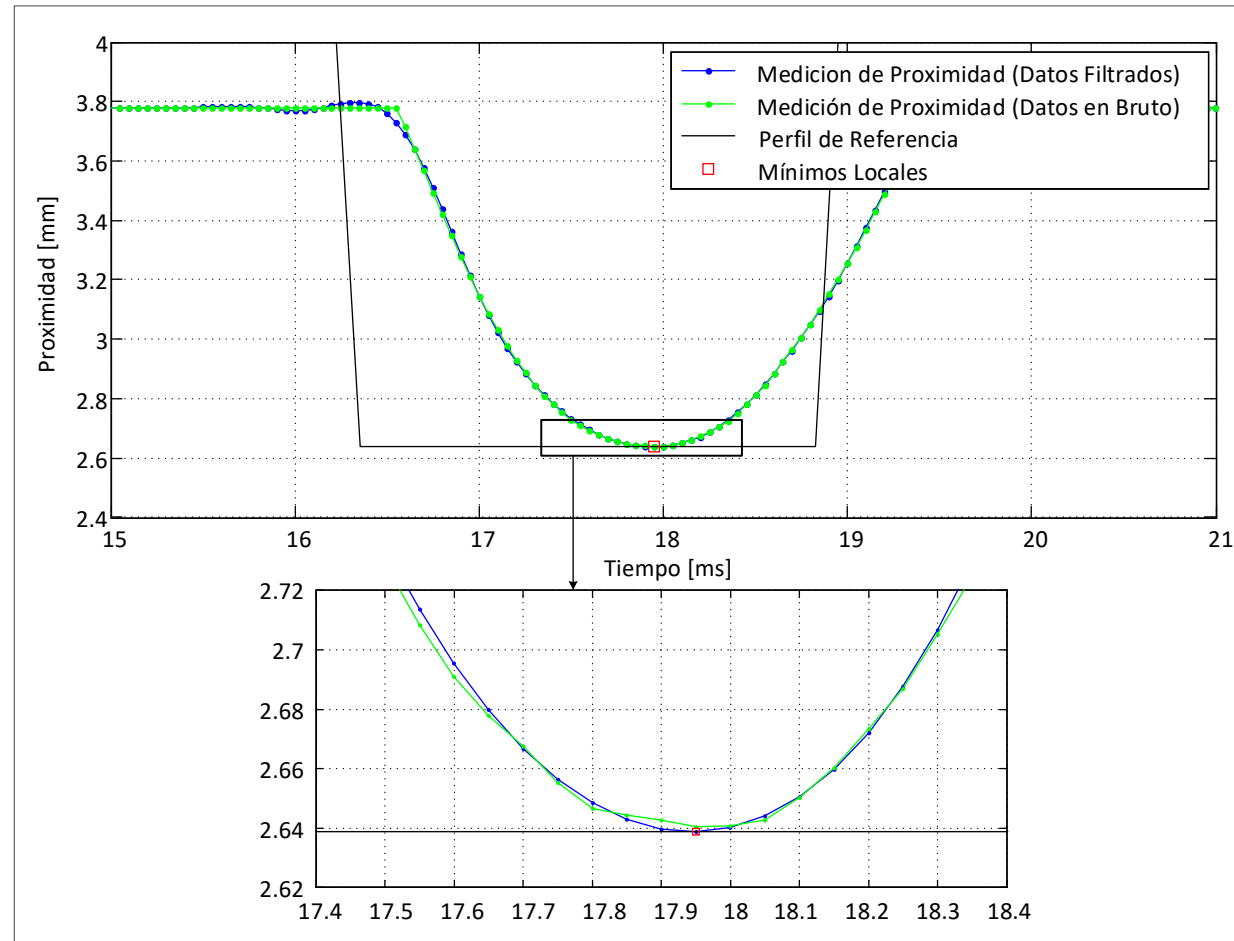


10. Resultados de Mediciones

Resultados de Mediciones



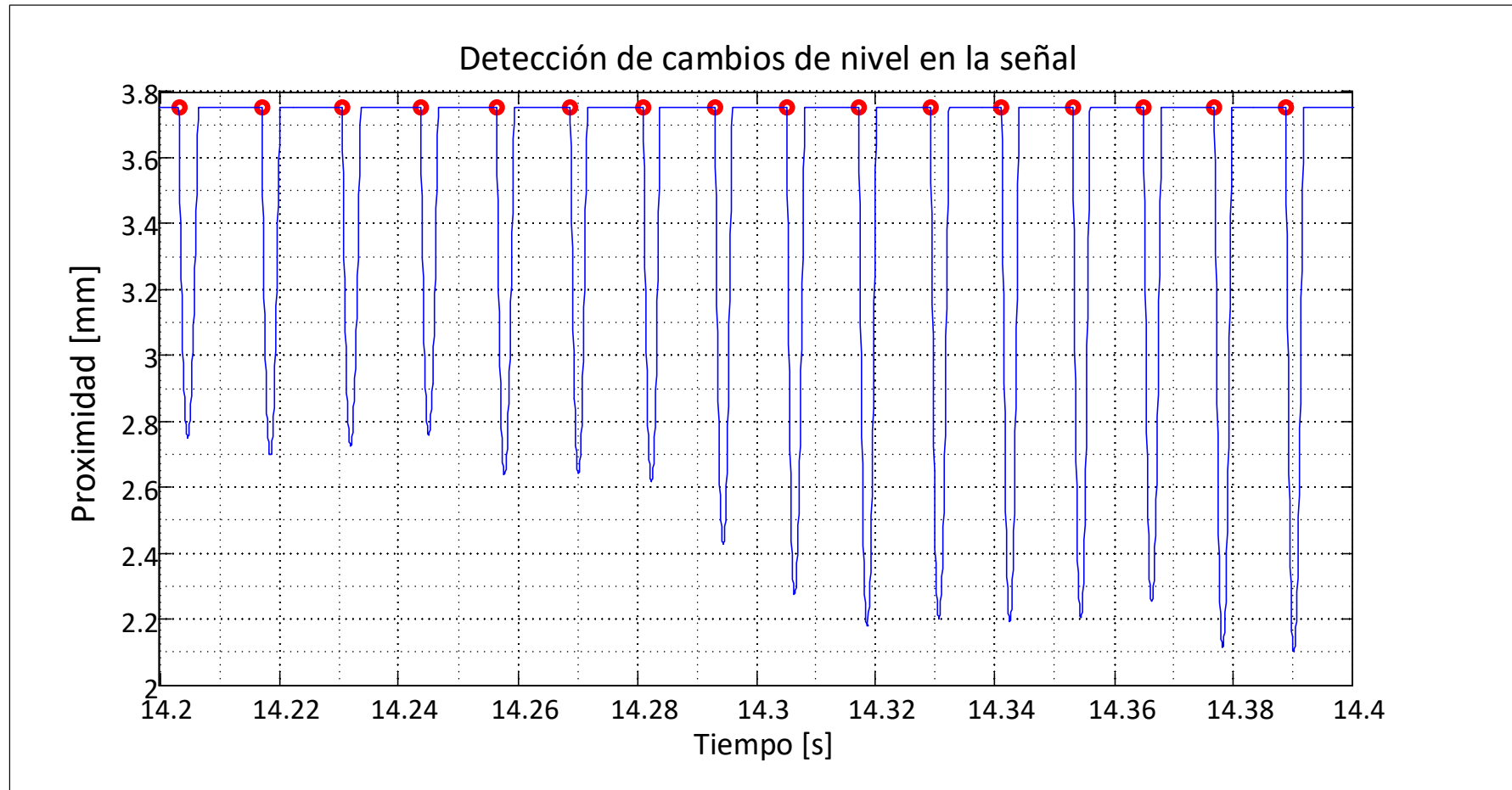
Obtención de las desviaciones de la corona a partir de la medición de proximidad



Resultados de Mediciones



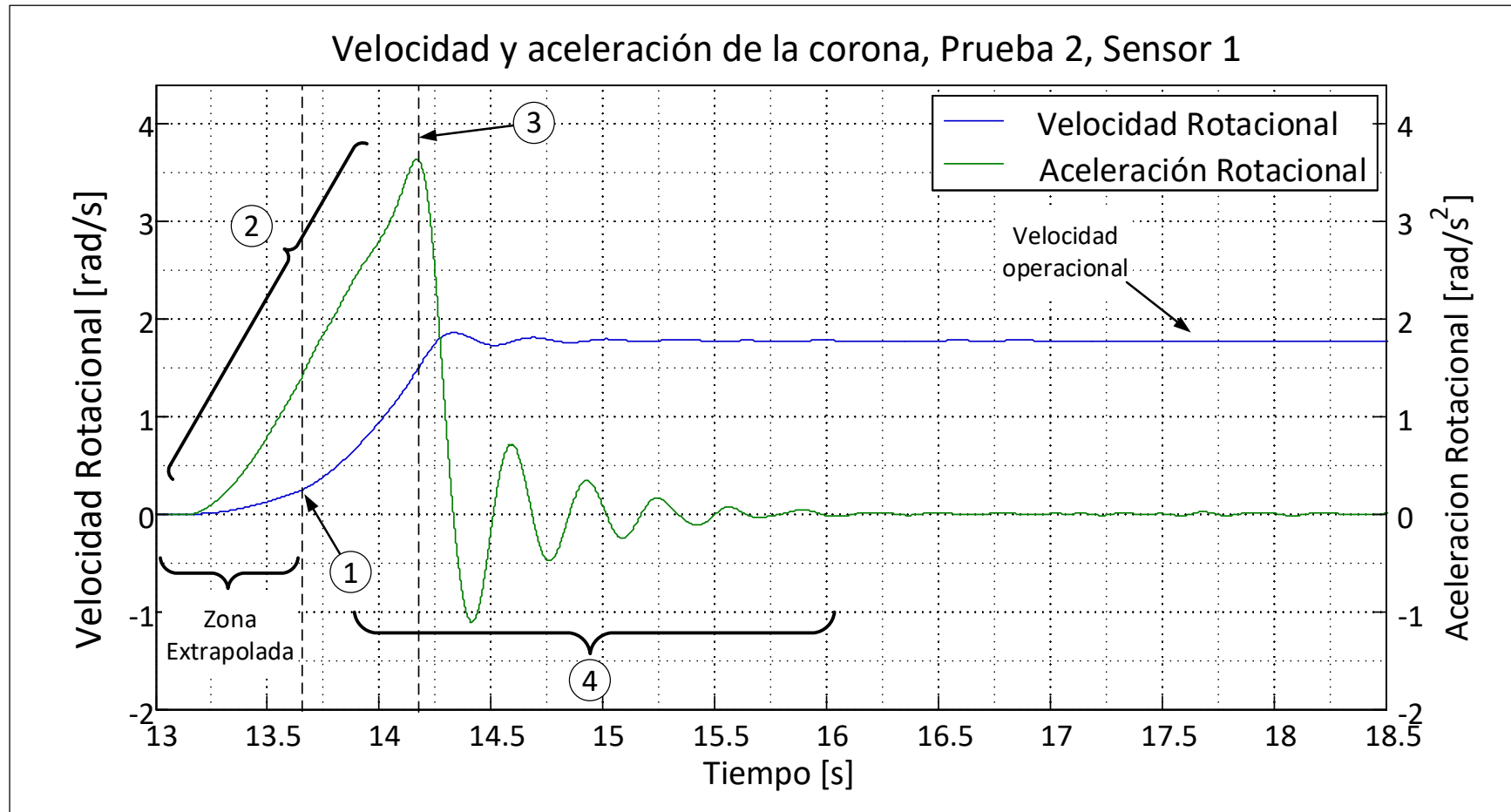
Obtención de la posición angular instantánea a partir de la medición de proximidad



Resultados de Mediciones



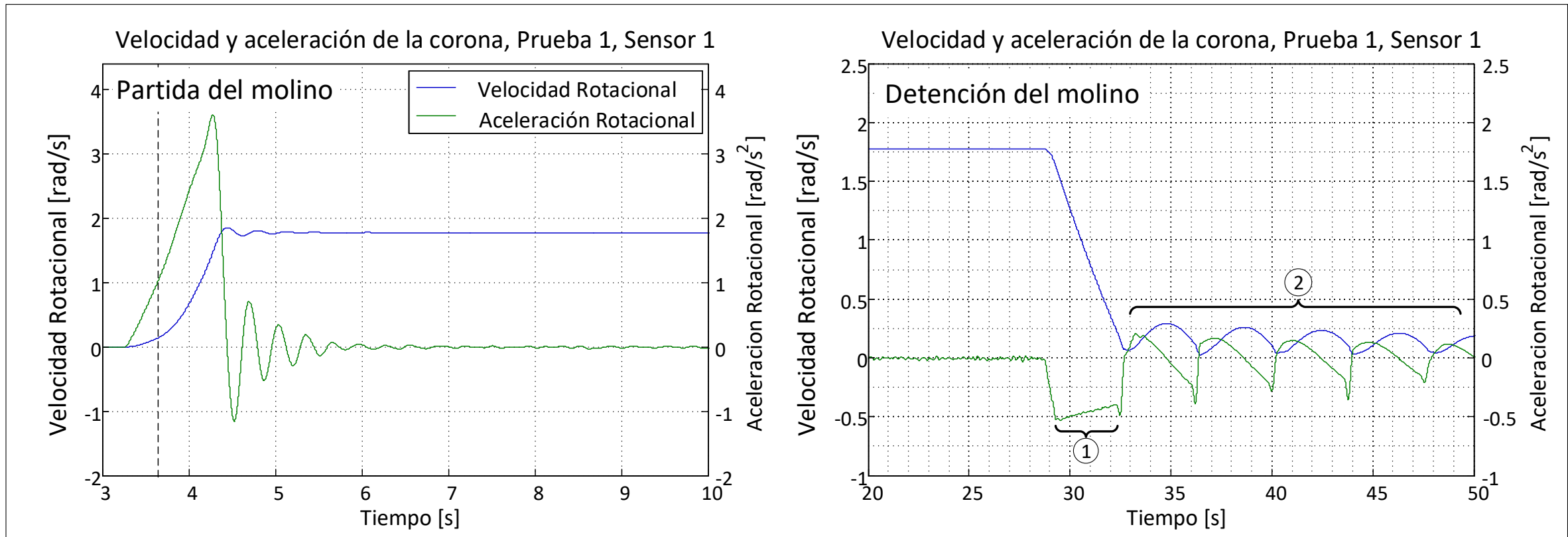
Medición de posición angular instantánea durante la partida del molino



Resultados de Mediciones



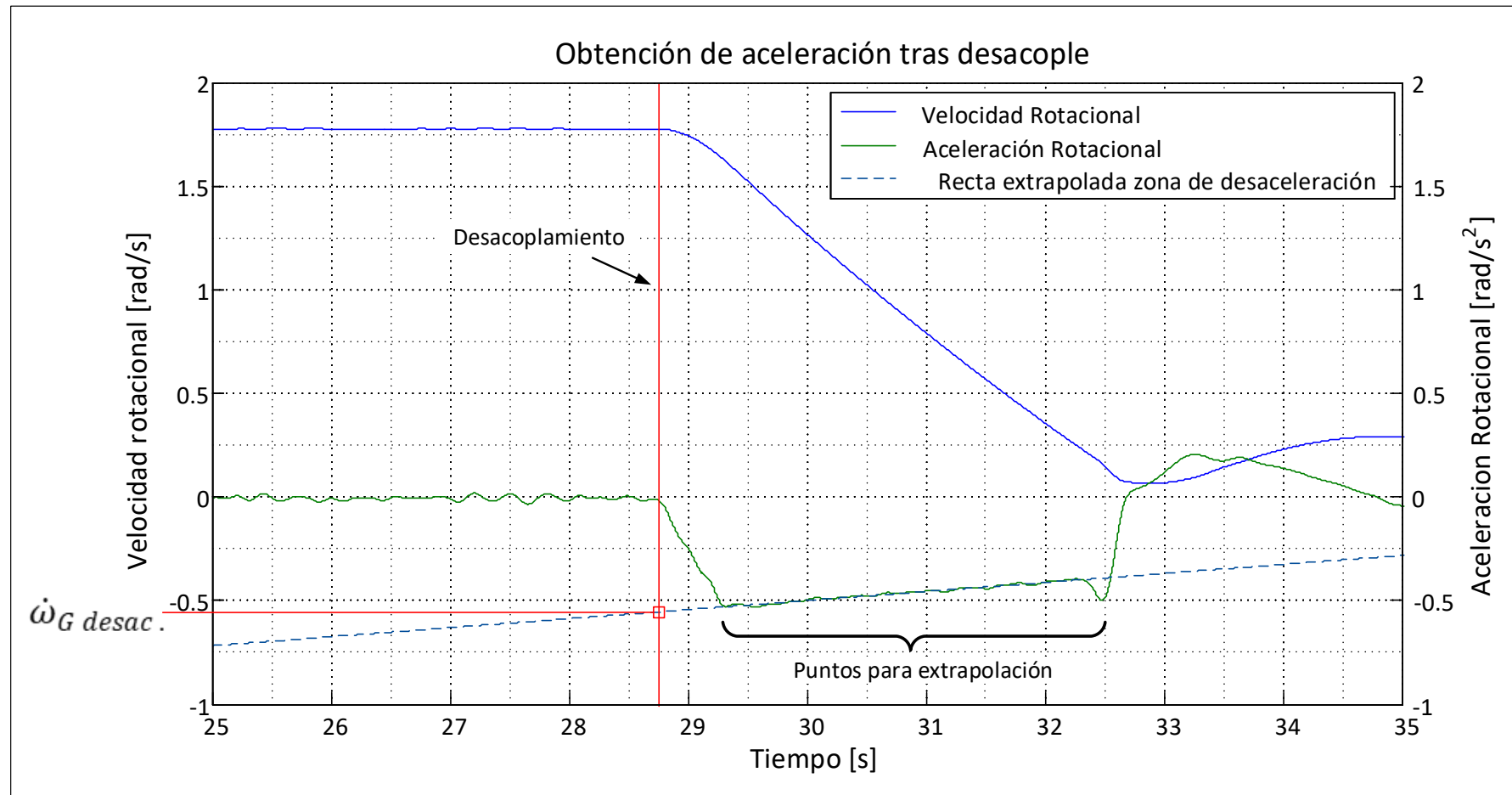
Medición de posición angular instantánea durante la partida del molino



Resultados de Mediciones



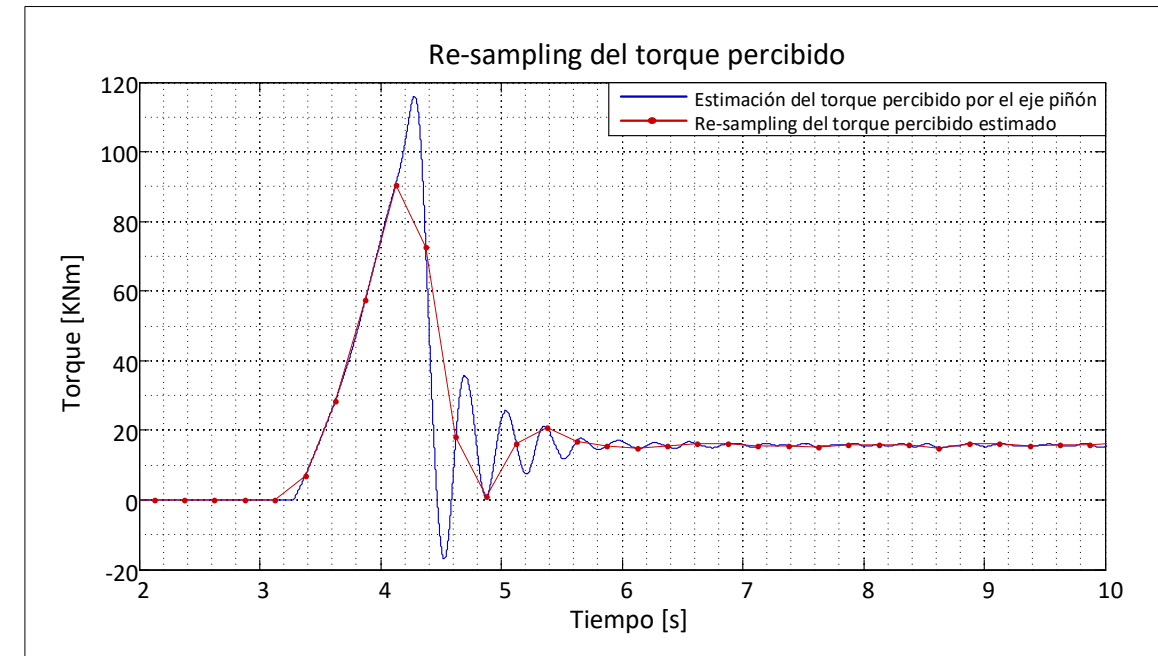
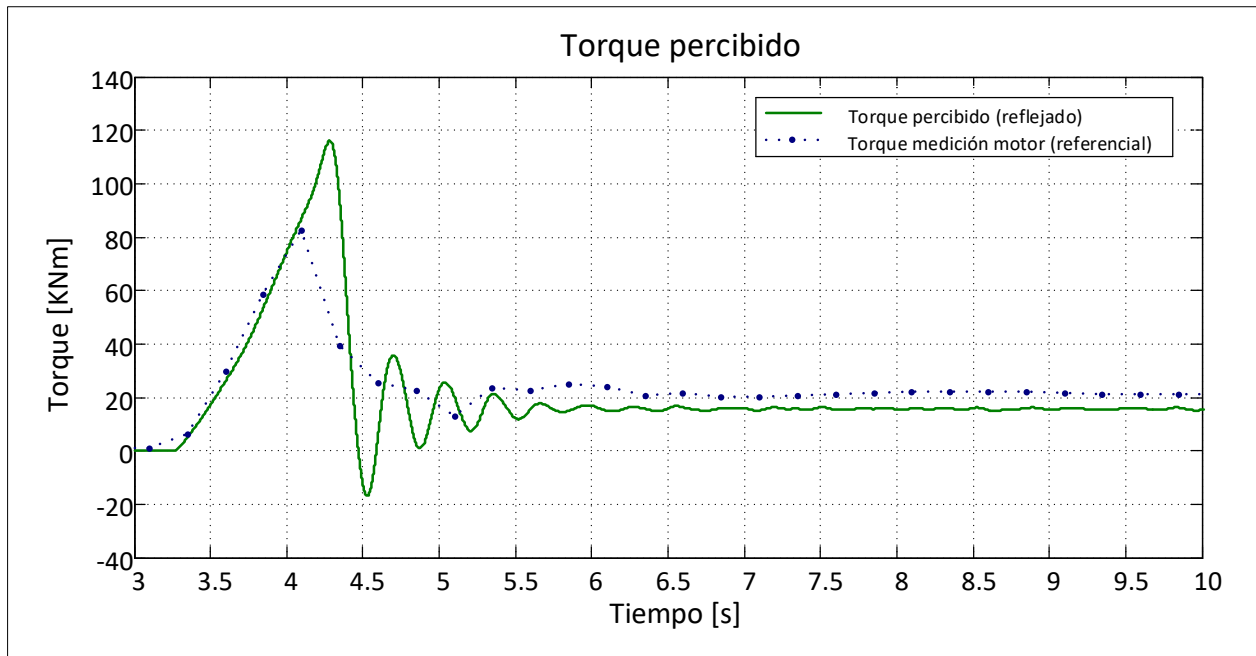
Medición de posición angular instantánea durante la partida del molino



Resultados de Mediciones



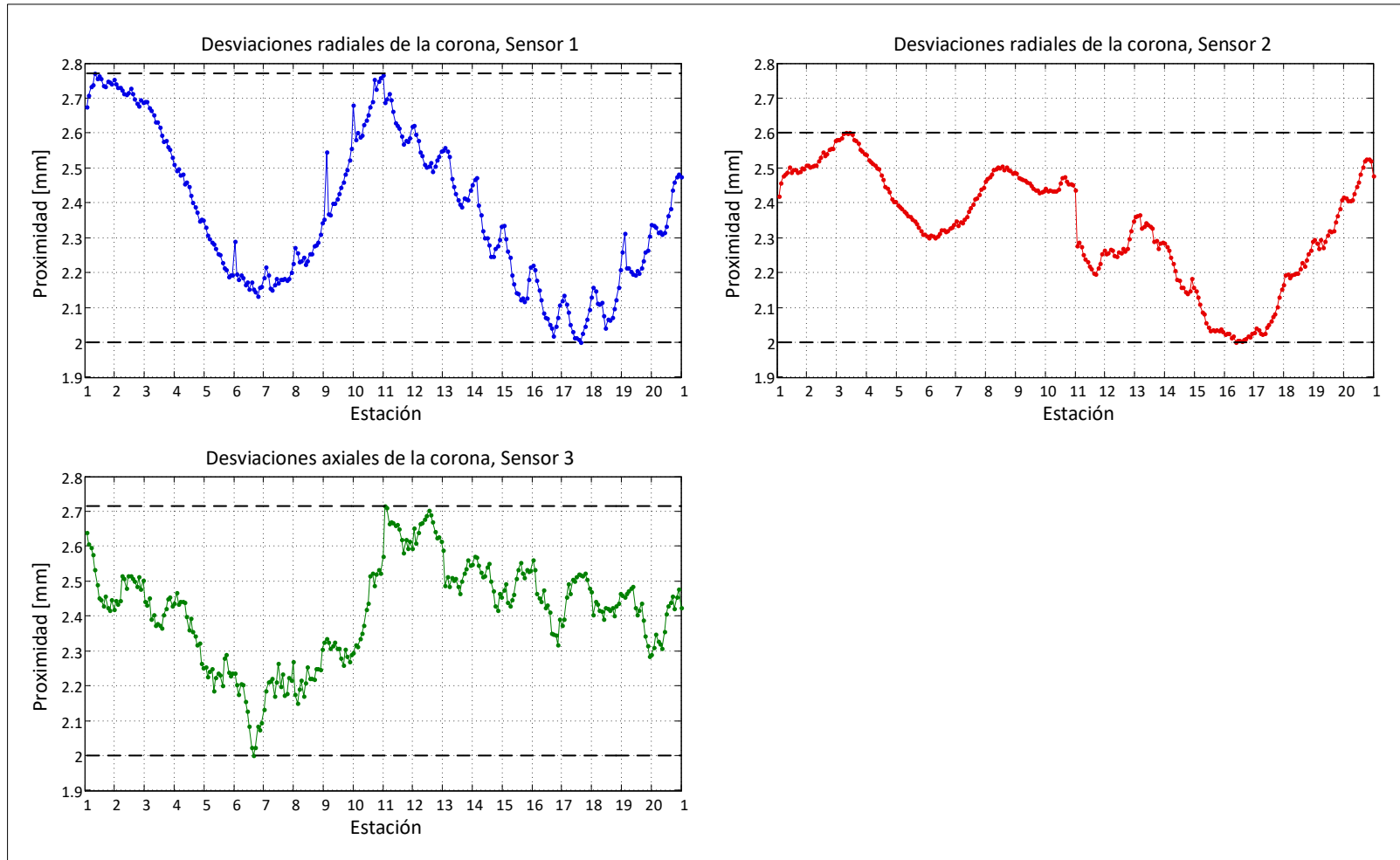
Torque máximo a partir de la medición de posición angular instantánea



Resultados de Mediciones



Desviaciones de la corona a partir de la medición de proximidad



Resultados de Mediciones



Desviaciones de la corona a partir de la medición de proximidad, variabilidad

Parámetros de variabilidad del mensurando con mayor dispersión para cada prueba

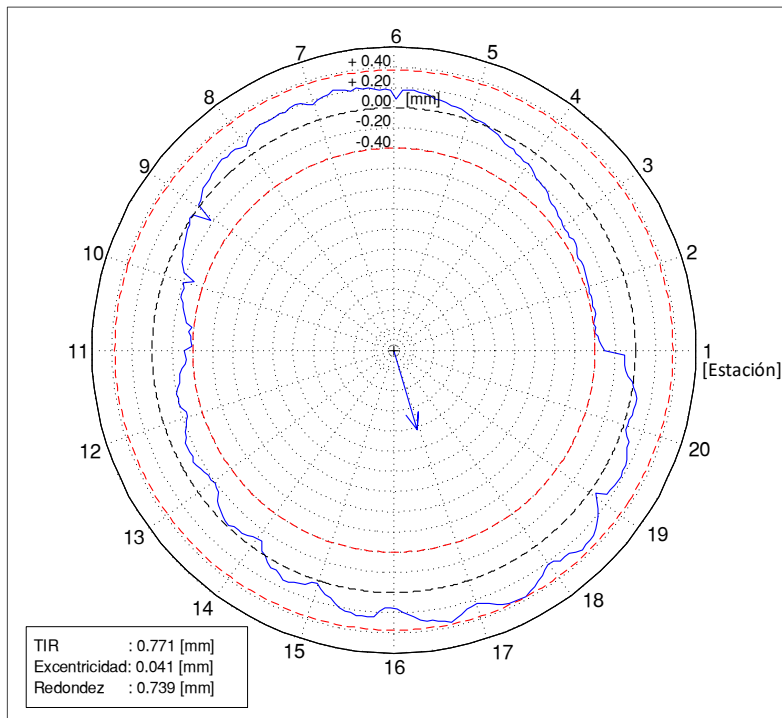
Prueba	Desviación estándar [mm]		Recorrido [mm]	
	Sensor radial 1	Sensor radial 2	Sensor radial 1	Sensor radial 2
3	0,0169	0,0087	0,0710	0,0354
4	0,0196	0,0133	0,0851	0,0524
5	0,0232	0,0163	0,0939	0,0690
6	0,0177	0,0119	0,0679	0,0494
7	0,0159	0,0117	0,0659	0,0441
8	0,0138	0,0104	0,0551	0,0397
9	0,0139	0,0114	0,0517	0,0368
10	0,0156	0,0120	0,0553	0,0449

Resultados de Mediciones

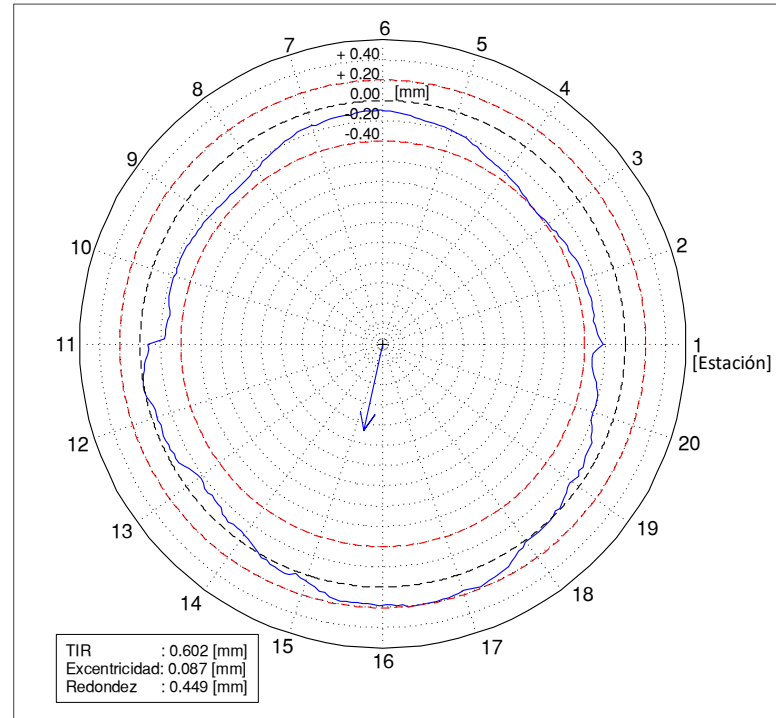


Desviaciones de la corona a partir de la medición de proximidad

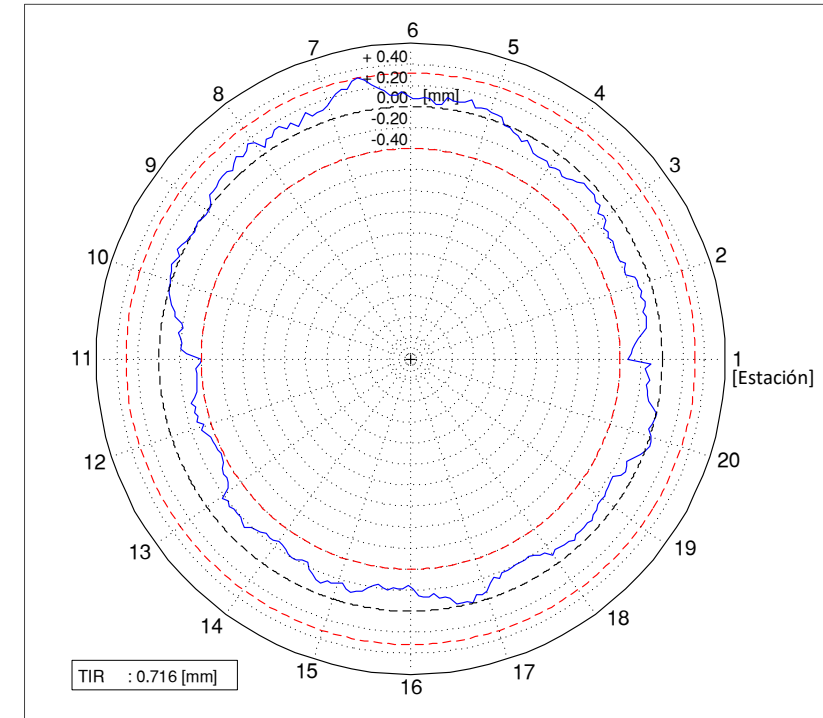
Desviaciones Radiales Corona, Prueba N° 3, Sensor 1



Desviaciones Radiales Corona RM01, Prueba N° 3, Sensor 2



Desviaciones Axiales Corona RM01, Prueba N° 3, Sensor 3



Resultados de Mediciones



Desviaciones de la corona a partir de la medición de proximidad

Prueba N°	TIR Radial, Sensor 1	TIR Radial, Sensor 2	TIR Axial, Sensor 3
-	[mm]	[mm]	[mm]
3	0,771	0,602	0,716
4	0,768	0,576	-
5	0,765	0,580	-
6	0,754	0,582	-
7	0,748	0,576	-
8	0,766	0,553	-
9	0,769	0,557	-
10	0,757	0,553	-



11. Evaluación de la transmisión

Evaluación de la transmisión



Capacidad de carga y factor de servicio

Parámetro	Notación	Unidad	Valor ideal		Valor real estimado	
			Piñón	Corona	Piñón	Corona
Capacidad de carga, resistencia al pitting	P_{acm}	[KW]	4.853,10	1.971,24	4.161,73 (-14,3%)	1.690,42 (-14,3%)
Capacidad de carga, resistencia a la flexión	P_{atm}	[KW]	6.037,39	2.549,12	4.947,21 (-18,1%)	2.117,01 (-17,0%)
Factor de Servicio, resistencia al pitting	C_{SF}	-	4,3387	1,7623	3,7206 (-14,3%)	1,5113 (-14,2%)
Factor de Servicio, resistencia a la flexión	K_{SF}	-	5,3975	2,2789	4,4229 (-18,1%)	1,8926 (-17,0%)

Evaluación de la transmisión



Potencia admisible

Parámetro	Notación	Unidad	Valor ideal		Valor real estimado	
			Piñón	Corona	Piñón	Corona
F.S. recomendado, resistencia al pitting	$C_{SF_{rec}}$	-	1,75	1,75	1,75	1,75
F.S. recomendado, resistencia a la flexión	$K_{SF_{rec}}$	-	2,50	2,50	2,50	2,50
Potencia admisible, resistencia al pitting	-	[KW]	2.773,20	1.126,42	2.378,13	965,95
Potencia admisible, resistencia a la flexión	-	[KW]	2.414,96	1.019,65	1.978,88	846,80
Potencia admisible	P_a	[KW]	2.414,96	1.019,65	1.978,88	846,80

Evaluación de la transmisión



Factor de seguridad estático

Parámetro	Notación	Unidad	Piñón	Corona
Torque máximo percibido	τ_{max}	[KNm]	116,0350	1.580,2862
Fuerza tangencial máxima	$W_{t_{max}}$	[KN]	611,6056	611,6056
Esfuerzo de tracción admisible según AGMA	σ_a	[MPa]	617,5940	317,1589
Esfuerzo de tracción máximo durante partida del molino	$\sigma_{t_{max}}$	[MPa]	79,3160	126,9087
Factor de seguridad estático	S_F	-	7,7865	2,4991



12. Conclusiones

Análisis estadístico de los resultados de la medición de proximidad

- En cuanto a la repetitividad (0,0939 [mm]) del sistema mensurando-arreglo de medición.
- En cuanto a los valores obtenidos mediante el sensor axial.
- En cuanto a la reproducibilidad del sistema arreglo de medición-mensurando.
- Respecto a los valores de TIR radial de la corona obtenidos para las distintas pruebas estacionarias.

Conclusiones



Análisis de la medición de desviaciones de la corona

- En cuanto al estado de alineamiento y el grado de calidad AGMA de la corona.
- En cuanto al transiente térmico.
- En cuanto a las fuentes de ruido en la señal adquirida.

Conclusiones



Análisis de la medición de los parámetros eléctricos del motor durante la partida del molino

- En cuanto a la variabilidad de los parámetros eléctricos del motor.
- En cuanto a la validez del torque motriz máximo obtenido.

Conclusiones



Medición indirecta del torque motriz durante la partida del molino

- Respecto a la validez del torque máximo obtenido indirectamente a partir de la posición instantánea del molino durante la partida.
- Factores de mayor incidencia en el torque máximo durante la partida del molino.

Conclusiones



Conclusiones generales

- Se concluye que la capacidad de carga de la transmisión es de 1690,42 [KW] (2266,89[HP]), valor que está definido por la resistencia a la fatiga frente a los esfuerzos de contacto de la corona. Esto entrega un factor de servicio real para la transmisión de 1,5112.
- Al considerar el escenario menos favorable en base a la medición de desviaciones de la corona, la capacidad de carga de la corona decrece un 14,25% para la resistencia al “pitting” y un 16,95% para la resistencia a la flexión, mientras que la capacidad de carga del piñón decrece un 14,25% para la resistencia al “pitting” y un 18,06% para la resistencia a la flexión.
- La disminución de la capacidad de carga de la transmisión frente a ambos modos de falla al considerar las desviaciones radiales de la corona indica que este parámetro puede tener un gran impacto en la capacidad de carga, con un efecto levemente superior en el caso de las fallas por flexión del diente.



13.Recomendaciones y Proyecciones

Recomendaciones y Proyecciones



Recomendaciones generales

- En cuanto a la realización de la medición de desviaciones axiales.
- Reconocimiento de las fuentes de ruido.
- Se recomienda la medición de desviaciones radiales en dos puntos diametralmente opuestos con el fin eliminar el efecto del movimiento del molino debido a las fuerzas propias de la transmisión y de la carga.
- En cuanto al nivel de carga al interior del molino y la presión de llenado del embrague durante la partida del molino.
- Respecto a la importancia de la corroboración del estado de alineamiento de la transmisión.

Recomendaciones y Proyecciones



Proyecciones

- Para una medición precisa del torque percibido por el piñón durante la partida del molino, se recomienda el uso de un arreglo de medición consistente de galgas extensiométricas y un sistema de telemetría para el traspaso y adquisición de datos.
- La integración de la instrumentación desarrollada en este trabajo de título al sistema de monitoreo continuo de la planta de procesos permitiría la implementación de un programa de mantenimiento preventivo basado en condición para la transmisión de los molinos.



Fin de la presentación.



Consultas.