

La Lubricación por Niebla en la Industria Oil & Gas. Extensión de vida de rodamientos en bombas centrífugas.

Cristián Daniel Schmid, email: cristian.schmid@colfaxfluidhandling.com

Roberto Francisco Romero, email: roberto.romero@colfaxfluidhandling.com

Lubritech Argentina SRL, Servicios y Tecnología en Ingeniería en Lubricación.

SINOPSIS

En el trabajo se presentarán los aspectos técnicos de la lubricación por niebla en rodamientos de bombas centrífugas en refinerías y petroquímicas de Argentina y el mundo. A finales del año 2014, existen más de 100.000 equipos siendo lubricados por niebla, y aun así es una tecnología poco conocida y difundida. Luego de presentar la tecnología, se explicará la actualización de la Norma ISO (International Organization for Standardization) para cálculo de vida de rodamientos, y específicamente se profundizará en el impacto de la calidad de limpieza del lubricante en la duración de rodamientos, pudiendo comprobar como el hecho de aplicar la tecnología redonda, económicamente en una mejora del MTBF (Medium Time Between Failures) de los equipos, ahorros energéticos, automatización, mejoras en seguridad y medio ambiente, etc. Se presentarán casos reales de aplicaciones en clientes Argentinos y mundiales.

INTRODUCCIÓN

La Lubricación por Niebla es una metodología contemplada en la Norma API (American Petroleum Institute) y en especificaciones de las principales Empresas Petroleras del Mundo, tales como Exxon Mobil, Shell, PEMEX, YPF, Petrobras, etc.). Sin embargo, en ciertos países, aún no es conocida como práctica recomendada para incrementar la confiabilidad de bombas centrífugas y otros equipos dinámicos en plantas de proceso. Esta tecnología puede ser aplicada en proyectos nuevos, o bien también como retrofit en unidades existentes. En este artículo, además de describir la tecnología, esperamos compartir experiencias y beneficios logrados en diferentes Refinerías de Sudamérica y del mundo.

DESARROLLO

Recordemos que toda vez que tenemos un lubricante, buscamos cumplir diferentes funciones. Entre las principales podemos citar.

- **Lubricar:** Separar las partes metálicas en movimiento relativo para controlar el desgaste hacia su mínima expresión.
- **Refrigerar:** En todo mecanismo en movimiento relativo, se genera calor; y la lubricación tiene como función, retirar ese calor de la zona de movimiento relativo.
- **Limpiar:** En la zona de movimiento, se genera desgaste, entonces el lubricante tiene como función retirar esas partículas de la zona de movimiento para evitar contactos metal-metal.
- **Protección Corrosión:** En ambientes cargados de contaminantes como vapor, partículas, etc.; la lubricación también cumple la función de proteger las partes internas de los mecanismos contra la acción de estos contaminantes.

Un sistema de lubricación por niebla brinda confiabilidad atomizando el aceite en pequeñas partículas y las dosifica en la cantidad correcta, proveyendo lubricante nuevo, limpio y seco a los rodamientos y a todas las superficies internas del alojamiento, proporcionando una lubricación óptima que reduce la fricción, incrementando la confiabilidad del equipo y la eficiencia energética.

Es muy importante destacar que el hecho de pasar de lubricación por baño de aceite a niebla, otorga beneficios en cada una de las funciones anteriores; como puede verse en la siguiente tabla:

Función	Baño de Aceite	Niebla
Lubricar	La llegada de lubricante hacia las partes en contacto, depende de la rotación y acción del anillo levanta aceite.	Al ser la niebla un gas, existe 100% de confiabilidad que en todo momento, las superficies en contacto, se encuentran totalmente lubricadas.
Limpiar	El baño de aceite, actúa como un acumulador de contaminantes en el sistema, disminuyendo la función de limpiar, e incluso siendo contraproducente.	En todo momento ingresa niebla limpia desde el exterior, y luego de lubricar rodamientos, egresa del sistema arrastrando la suciedad del sistema; por lo que el sistema está cada vez más limpio.
Refrigerar	El baño de aceite propiamente dicho consume energía en forma de fricción líquida, logrando incrementar la temperatura de operación.	La niebla ingresa al sistema a 20°C y se elimina la fricción líquida propia del baño de aceite. Ambos efectos logran disminuciones de temperatura de 10°C promedio.
Protección corrosión	El baño de aceite sólo otorga protección contra la corrosión en aquellas partes donde existe contacto con el líquido. Para bombas en espera (stand-by), la protección es deficiente.	La niebla presuriza internamente todo el sistema, incluso para bombas en espera, protegiendo contra la corrosión en un 100%.

A medida que expliquemos el funcionamiento del sistema, resaltaremos cada uno de estos beneficios.

Sistema de Lubricación por Niebla



Fig. 1. Configuración típica de un sistema de lubricación por niebla de aceite. Puede verse la consola generadora, el sistema de distribución, y el sistema de aplicación a equipos dinámicos.

En la figura 1 podemos ver los componentes básicos de un sistema de lubricación por niebla, a saber:

Consola Generadora de Niebla: Es la parte vital del sistema y donde se genera la lubricación por niebla. Existen de diferentes capacidades de generación, dependiendo del número de equipos a lubricar; y todos los diseños cuentan con el mismo principio de generación de niebla.

La niebla contiene 200.000 partes de aire por cada parte de aceite; lo que da como resultado una mezcla muy fina, no inflamable y con una temperatura de 18 °C. Para generar la niebla no se requieren partes móviles, con lo que no existe desgaste en el componente principal del sistema. Este componente es un Vórtex con ciertos álabes mecanizados, donde ingresa el aire de instrumentación de planta a una presión mayor a 1 Bar; y siguiendo el camino de la forma del Vórtex, incrementa su velocidad en forma ciclónica hasta el punto más bajo del mismo. Allí ese incremento de velocidad se traduce en una reducción de presión; que hace ascender al aceite en estado líquido, a través de un tubo capilar. En la zona en que el aire a alta velocidad y el aceite se encuentran, es donde se producen los cambios termodinámicos y de presión, dando como resultado esta mezcla homogénea ya citada, con tamaños de partículas de aceite en torno a 3 micrones.

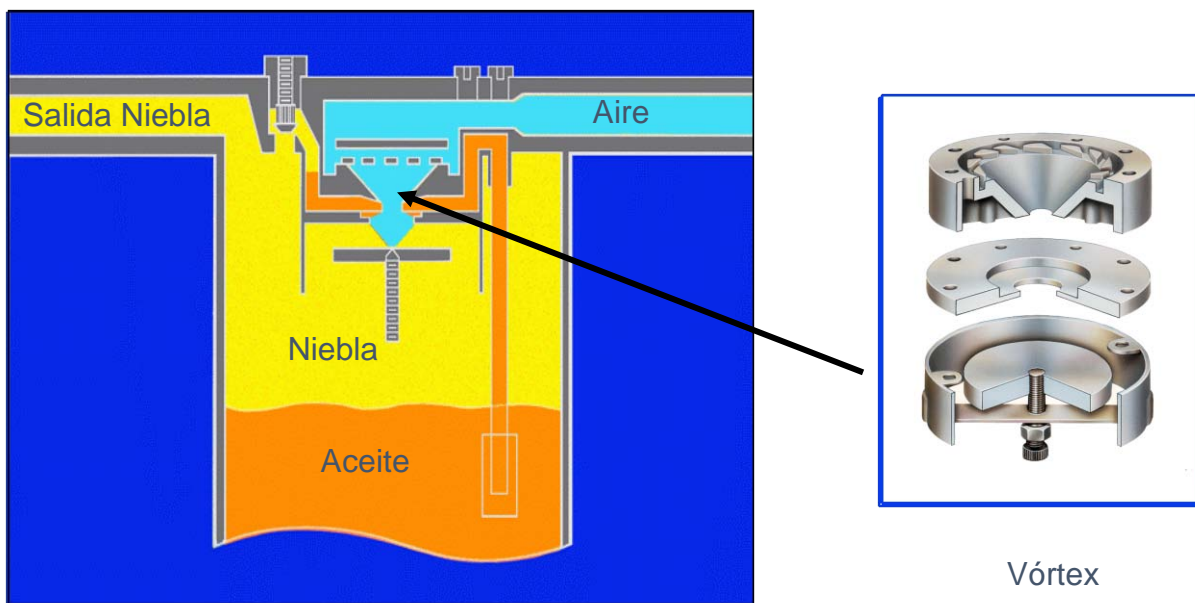


Fig. 2. Cámara de generación de niebla en Consola. Puede verse un corte del Vórtex, y un esquema básico de los caminos seguidos por el aire de instrumentación y aceite hasta formar la niebla.

Es muy importante señalar que cada Consola de Niebla, cuenta con dos cabezas Vórtex para generar niebla; que las mismas sólo operan con aire de instrumentación y aceite, es decir, no requieren energía eléctrica para operar; y que al no contener partes móviles, el desgaste es mínimo, siendo su confiabilidad de operación muy elevada.

Además, la consola cuenta con un sistema electrónico de monitoreo de los parámetros básicos de la lubricación por niebla, que en todo momento emite un aviso de operación normal. Si algún parámetro sale fuera de valores recomendados, al menos por un momento corto, la consola emite un aviso de revisión para realizar un chequeo local y asegurar la confiabilidad del sistema. Este sistema de monitoreo puede llevarse a sala de control para un mejor seguimiento.

Cada consola tiene la capacidad de atender hasta un máximo de 70 bombas centrífugas.

Sistema de distribución: Luego de ser generada la niebla en la consola, precisa ser transportada por la Planta. De acuerdo al tamaño de partícula de aceite contenida en la niebla, la misma puede ser transportada hasta 150 metros a la redonda, sin perder calidad de lubricación. Hay que tener en cuenta que pequeñas gotas de aceite se van condensando en su transporte por la tubería, cambios de direcciones, etc., por lo que existe una limitación intrínseca en la distancia que puede ser transportada la niebla, sin perder sus propiedades.

Para transportar la niebla, generalmente se utiliza tubería de 2 pulgadas de diámetro, con uniones roscadas; y bajantes de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro colocadas físicamente en cada aplicación a equipos. El diseño de la Ingeniería de tuberías es un aspecto crítico de la funcionalidad de este tipo de sistemas, y debe ser realizado por expertos en la materia, siguiendo las mejores prácticas, y recomendaciones de las Normas.

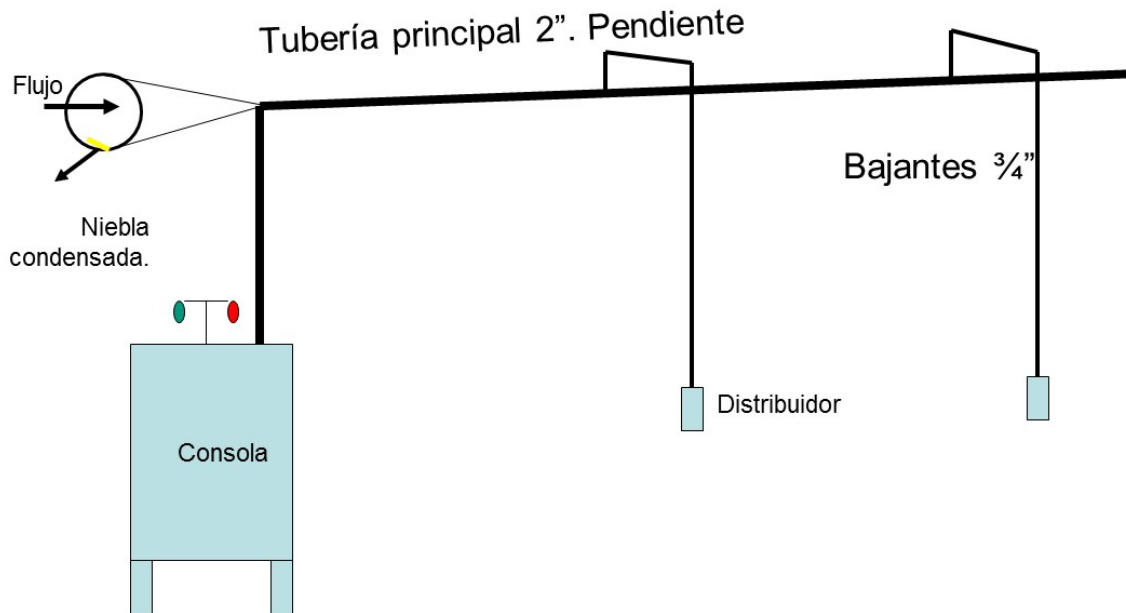


Fig. 3. Sistema de distribución de niebla, con tubería principal de 2" con leve pendiente hacia la consola, y bajantes de aplicación de $\frac{3}{4}$ " para cada equipo, finalizando en un distribuidor o manifold de 8 salidas.

Sistema de aplicación: Como se comentó con anterioridad; la niebla puede ser transportada hasta 150 metros a la redonda desde su punto de generación. La clave de esto, estriba en que el generador Vórtex es capaz de lograr partículas muy pequeñas de aceite; las que son difícilmente condensables. Es tan pequeño el tamaño de estas partículas, que una niebla de esta característica no es apta para lubricar elementos mecánicos. Antes de aplicar a los mismos, se debe utilizar un elemento dosificador que entregue la cantidad adecuada a cada rodamiento; y a su vez que incremente levemente el tamaño de las partículas de aceite; hasta hacerlas aptas para lubricar. Estos elementos son llamados "reclasificadores". Normalmente este nuevo tamaño es del orden de 10 micrones. A simple vista, la niebla sigue teniendo su misma apariencia, aunque ahora sí puede lubricar adecuadamente.

Existen diferentes modelos de reclasificadores, especialmente por el tipo de niebla que entregan, y por la cantidad de niebla que dosifican. La unidad de medida es el BI (Bearing Inch); y se calcula de acuerdo al tipo de rodamiento, y a un factor de servicio que depende de la temperatura de operación, velocidad y potencia, entre otros factores.

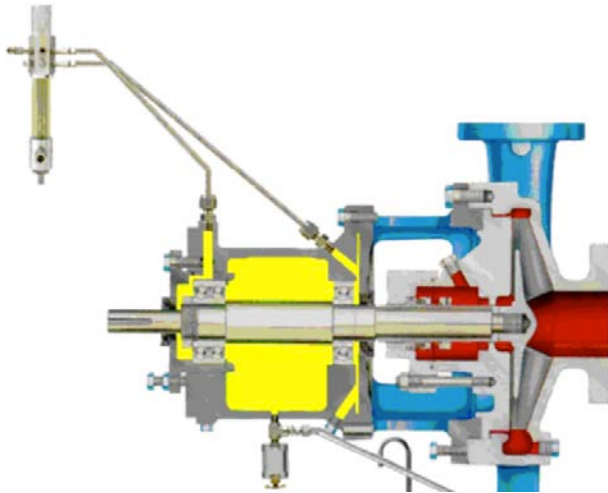


Fig. 4. Sistema de aplicación. A la salida del distribuidor, se conectan los reclasificadores que cumplen la función de dosificar correctamente la niebla. La misma llega a través de tubings de acero inoxidable hacia los rodamientos de los equipos a lubricar.

BENEFICIOS DEL SISTEMA

Al inicio de este trabajo, revisamos los principales beneficios contenidos en este cambio en el método de lubricación. A continuación, nos centraremos exclusivamente en las mejoras que los niveles de contaminación ocasionan en la vida del rodamiento; y para ello seguiremos el siguiente razonamiento.

- 1- Comparación de los métodos de lubricación.
- 2- Cálculo de vida del rodamiento, de acuerdo a las Normativas actuales.
- 3- Comparación de ambas situaciones para una misma aplicación.

-
- 1- Comparación entre dos métodos de lubricación para una bomba centrífuga

Lubricación por baño de aceite, o por salpique

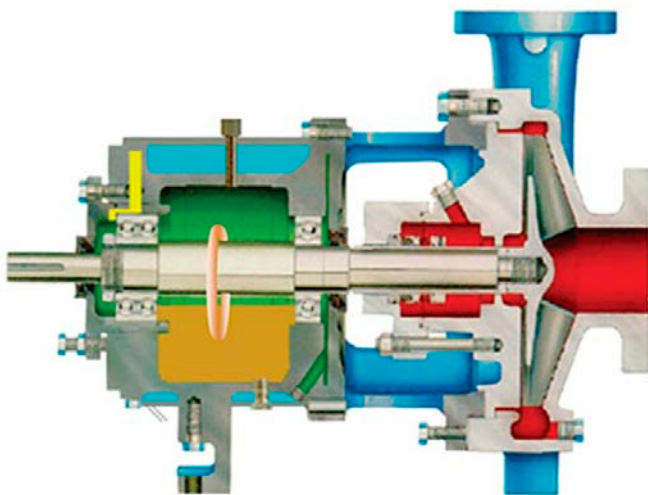


Fig. 5. Corte de Bomba Centrífuga con lubricación por baño de aceite. Se puede apreciar que mientras la bomba no está operando, existe una superficie interna libre de contacto con aceite, y por lo tanto, no protegida contra la corrosión.

Durante la operación de la bomba, el aceite salpica los internos de la bomba, logrando realizar la lubricación en los puntos de contacto de los rodamientos. Es muy importante notar que este método de lubricación no cuenta con recirculación del aceite lubricante, por lo que la acumulación de suciedad,

humedad y contaminantes en general va aumentando en el transcurso del tiempo, hasta que se realiza un cambio de aceite. Además, cuando la bomba no está trabajando, la mayor parte de sus internos queda expuesta a la acción externa que va aumentando la presencia de contaminantes en el lubricante.

Lubricación por niebla de aceite

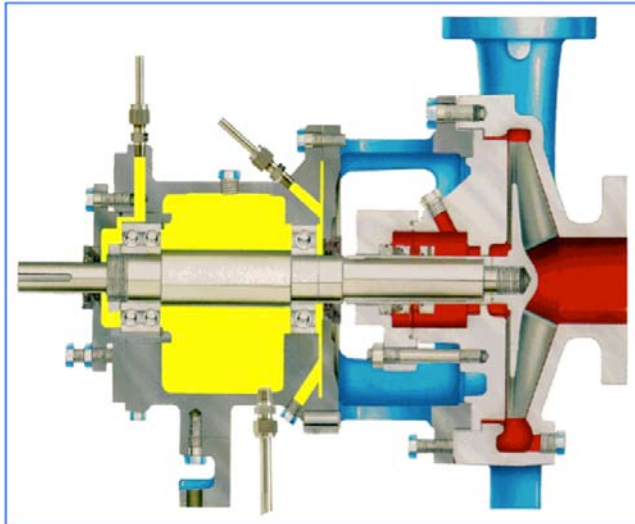


Fig. 6. Corte de Bomba Centrífuga con lubricación por niebla. Los rodamientos y todas las superficies internas de la bomba, están en permanente contacto con niebla de aceite formada por aceite nuevo, limpio y seco.

Durante la operación de la bomba, y mientras la misma se encuentra en espera, una cantidad constante de niebla nueva, libre de suciedad y agua, está ingresando y presurizando la caja de rodamientos de la bomba, logrando mantener unas condiciones de limpieza ideales, en lo que a contaminación del lubricante se refiere. La niebla que se genera en la consola, se transporta por la red de tuberías y se inyecta a los internos de la bomba, ha sido formada por partículas de aceite menores a 10 micrones de tamaño, y por lo tanto, incapaces de transportar consigo partículas contaminantes. Además, al existir un ingreso y egreso permanente de niebla, toda suciedad que pudiera generarse por desgaste en los internos, es inmediatamente retirada del sistema hacia el colector ecológico.

Si pudiéramos observar en un gráfico que represente nivel de contaminación en ordenadas y el tiempo en abscisas, podríamos notar que cuando se lubrica una bomba con salpique o nivel de aceite, la presencia de contaminantes en el aceite va aumentando conforme pasa el tiempo, hasta que se produce un cambio de aceite.

En cambio, para el caso de la lubricación por niebla, podemos suponer que el nivel de contaminación es siempre constante, y como mínimo del mismo nivel de contaminación que el aceite nuevo. Si tenemos en cuenta que para formar la lubricación por niebla, previamente se filtra el aceite con filtros $\beta_{5} > 200$, se puede considerar que el nivel de contaminación es mejor que el del aceite nuevo, manteniéndose constante durante el tiempo.

Los estados anteriores para los diferentes tipos de lubricación, pueden verse en el siguiente gráfico:

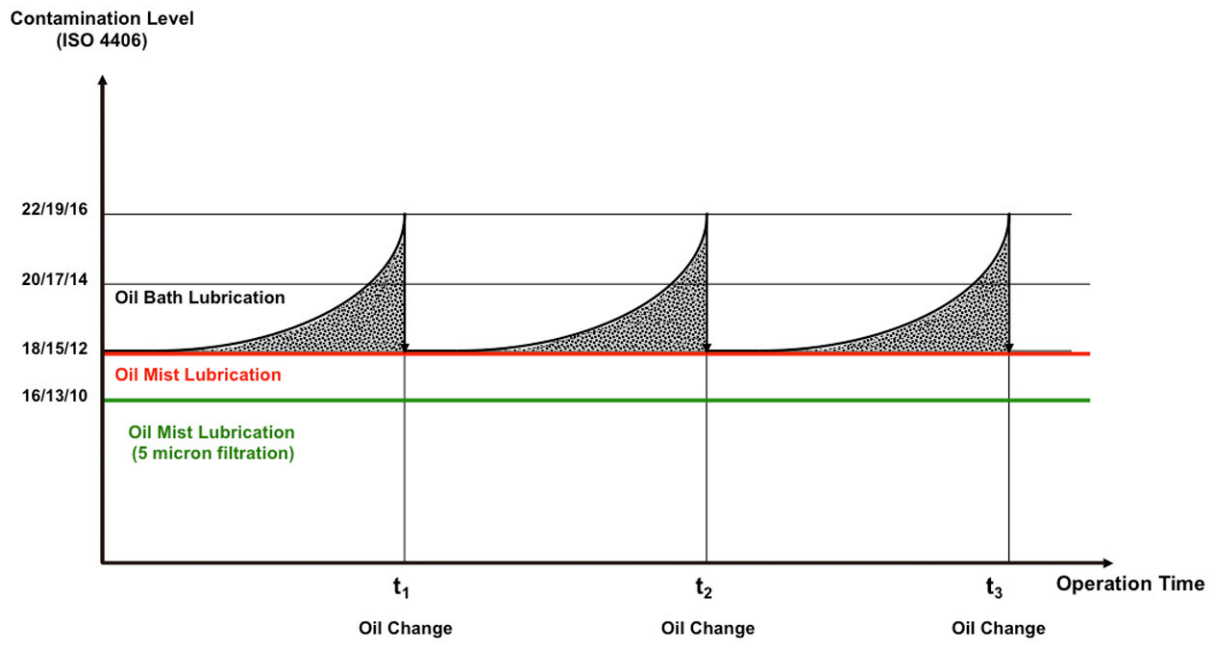


Fig. 7. Evolución en el tiempo de la presencia de contaminantes sólidos en un sistema de lubricación por baño de aceite, comparado con un sistema por niebla de aceite.

A continuación vamos a utilizar los distintos niveles de contaminación de cada aplicación para calcular la vida útil de los rodamientos, utilizando para ello, la nueva metodología ISO 281 (International Organization for Standardization) para cálculo de vida de rodamientos.

Se observan cuatro valores de niveles de contaminación:

Lubricación con Nivel de Aceite:

- Nivel máximo de contaminación: Corresponde al aceite contaminado a punto de ser cambiado. Código ISO 22/19/16.
- Nivel mínimo de contaminación: Corresponde al aceite nuevo, al momento de realizar el cambio. Código ISO 18/15/12.
- Nivel medio de contaminación: Podemos expresar el comportamiento cíclico anterior, como una única línea recta de valor intermedio. Código ISO 20/17/14.

Lubricación con Niebla de Aceite:

- Nivel máximo de contaminación: Corresponde al agregado de aceite nuevo sin filtrar. Coincide con el nivel mínimo de contaminación del caso anterior. Código ISO 18/15/12. Línea roja en el gráfico anterior.
- Nivel mínimo de contaminación: Corresponde al agregado de aceite nuevo filtrado. Código ISO 16/13/10. Línea verde en el gráfico anterior.

2- Metodología de Cálculo según Normativa Vigente:

El método de cálculo empleado normalmente para calcular la vida de rodamientos, solamente tiene en cuenta las diferentes cargas dinámicas aplicadas y el tipo de rodamiento, entregando como resultado una vida útil nominal para el 90% de confiabilidad (L_{10}), siendo su ecuación de cálculo;

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^{\rho}, \text{ donde}$$

C: Capacidad de carga dinámica del rodamiento.

P: Carga dinámica equivalente del rodamiento.

ρ : Exponente de la ecuación de vida (3 para rodamientos de bolas y 10/3 para rodamientos de rodillos).

En sucesivas actualizaciones de este método de cálculo, se incorporaron nuevas variables a tener en cuenta, como cargas límites de fatiga, viscosidades mínima requerida y de servicio, factor de contaminación, entre otras.

En la Norma ISO 281:1990/Amd. 2:2000 ⁽¹⁾, se expresa que la relación entre la vida del rodamiento modificada (L_{nm}), y la vida del rodamiento nominal (L_{10}), será:

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{xyz} \cdot L_{10}, \text{ donde;}$$

a_1 es el factor de ajuste por confiabilidad. Si consideramos 90% de confiabilidad, entonces vale 1.

a_{xyz} es el factor de modificación de vida, que depende de:

- Materiales (dureza, estructura superficial, límite de fatiga, etc.);
- Lubricación (nivel de contaminación, humedad, etc.);
- Partículas contaminantes (dureza, tamaño, forma, material, etc.);
- Tensiones internas;
- Montaje (daños de manejo, desalineación);
- Carga del Rodamiento.

La Normativa expresa que el factor a_{xyz} será indicado por cada fabricante, en base a sus propios métodos de cálculo.

Ecuación para cálculo de la vida del rodamiento, según SKF

El método seguido por el fabricante de rodamientos SKF es el siguiente:

$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10}$$

Al factor a_{xyz} lo llama a_{SKF} , e indica que para calcularlo se deben utilizar diferentes gráficos, de acuerdo al tipo de rodamiento.

Un gráfico representativo para el caso de rodamiento radiales de bolas es:

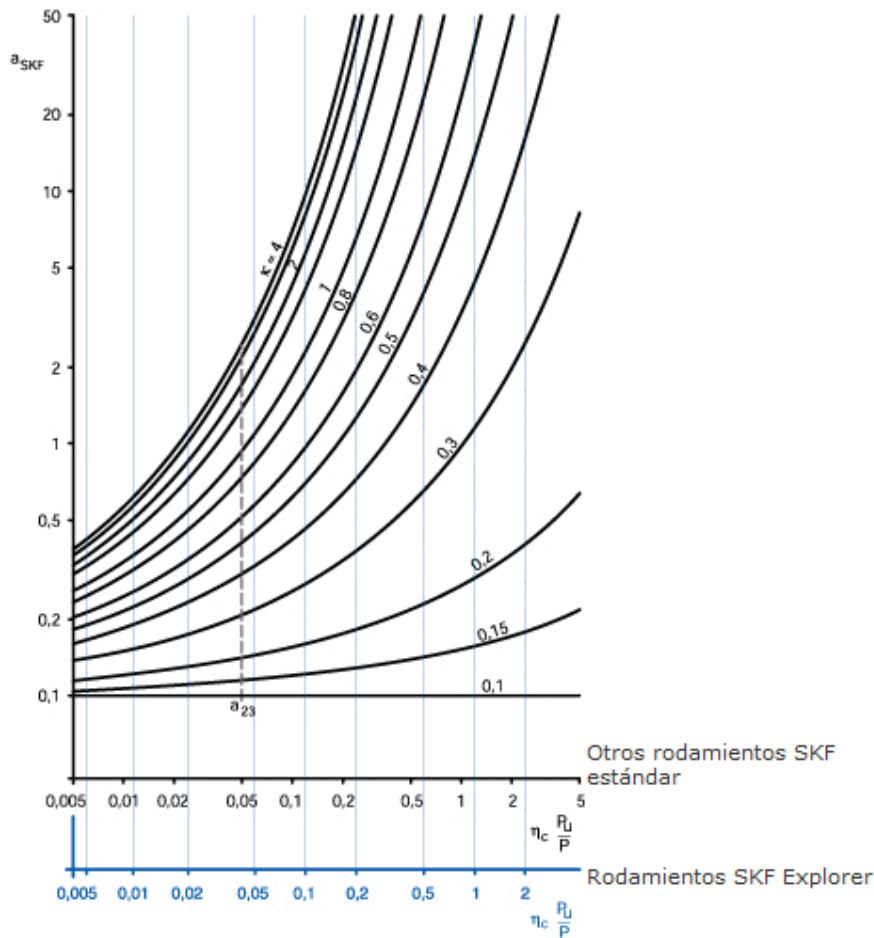


Fig. 8. Gráfico para calcular el coeficiente a_{SKF} . Se puede apreciar la estrecha relación que existe con el coeficiente de contaminación η_c y la relación de viscosidades Kappa.

Si $\kappa > 4$, tomar la curva para $\kappa = 4$
 Cuando el valor de $\eta_c(P_u/P)$ tiende a cero, a_{SKF} tiende a 0,1 para todos los valores de κ
 La línea de puntos marca la posición de la antigua escala $a_{23}(\kappa)$ donde $a_{SKF} = a_{23}$

Una primera conclusión del gráfico anterior, es que el factor a_{SKF} puede tomar valores sustancialmente diferentes de 1, por lo que la vida del rodamiento modificada, puede ser sustancialmente mayor o menor a la vida del rodamiento calculada en forma nominal o tradicional.

Cálculo de a_{SKF}

Para el cálculo de este factor, necesitamos conocer y definir los factores que intervienen en su cálculo.

A- Determinación de P_u/P .

El valor de P_u , se denomina carga límite de fatiga, y se obtiene directamente de catálogo, según el tipo de rodamiento. El valor de P , se denomina carga dinámica equivalente del rodamiento, y se define como la carga hipotética constante en magnitud y dirección que si actuara radialmente sobre un rodamiento radial o axialmente y centrada sobre un rodamiento axial, tendría el mismo efecto sobre la vida del rodamiento que las cargas reales a las cuales está sometido dicho rodamiento.

B- Determinación de Kappa, o relación de viscosidades.

$$K = \frac{\nu}{\nu_1}, \text{ siendo}$$

ν_1 =viscosidad mínima nominal dependiendo del diámetro medio del rodamiento y de la velocidad de giro, mm²/s

ν = viscosidad de funcionamiento del lubricante a la temperatura de trabajo, mm²/s

ν_1 depende enteramente de las propiedades geométricas del rodamiento y su velocidad de rotación.

C- Determinación de η_c

Este factor se introduce para tener en cuenta el nivel de contaminación del lubricante. La influencia de la contaminación en la fatiga del rodamiento depende de una serie de parámetros entre los que se incluyen el tamaño del rodamiento, el espesor relativo de la película de lubricante, el tamaño y la distribución de las partículas contaminantes sólidas, los tipos de contaminante (blando, duro), etc. La influencia de estos parámetros en la vida del rodamiento es compleja y muchos de ellos son difíciles de cuantificar. Por tanto, no es fácil asignar a η_c valores precisos que puedan tener validez general. No obstante, en la siguiente tabla se brindan datos orientativos.

Tabla 4: Valores orientativos del factor de ajuste η_c para diferentes grados de contaminación

Condición	Factor η_c ¹⁾	
	para rodamientos con un diámetro $d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza Aceite filtrado a través de un filtro extremadamente fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y obturados	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal Aceite filtrado a través de un filtro fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera Contaminación ligera del lubricante	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integrales, filtrado grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas del exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación alta Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición de rodamientos con obturación inadecuada	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy alta (bajo valores de contaminación extremos, η_c puede estar fuera de la escala produciendo una reducción mayor de la vida útil de lo establecido por la ecuación L_{nm})	0	0

¹⁾ La escala para η_c se refiere sólo a contaminantes sólidos típicos. La disminución de la vida del rodamiento por contaminación por agua u otros fluidos no está incluida. En caso de contaminación muy alta ($\eta_c = 0$), el fallo estará causado por el desgaste, y la vida útil del rodamiento puede ser menor que la vida nominal.

Como puede verse en el gráfico de determinación de a_{SKF} , el valor de η_c impacta mucho en la determinación del factor. Para un caso dado, puede notarse que un pequeño incremento de η_c puede hacer variar sustancialmente el factor, ya que la curva se vuelve exponencial. Esto se verá mejor con un ejemplo, al final del presente documento.

3- Comparación de ambas situaciones para una misma aplicación. Cálculo de Vida de Rodamiento para configuraciones diferentes de nivel de contaminación

Cuando realizamos el proceso de cálculo para un rodamiento dado, y solamente modificamos la variable “Tipo de Lubricación”; los resultados que encontramos son sorprendentes.

A modo de resumen, pueden encontrarse en la siguiente tabla.

Nivel de Contaminación	Vida del Rodamiento en Horas
Lubricación por Nivel de Aceite	
Nivel máximo de contaminación. Factor $\eta_c = 0,1$	13.800
Nivel medio de contaminación. Factor $\eta_c = 0,2$	29.000
Nivel mínimo de contaminación. Factor $\eta_c = 0,5$	122.800
Lubricación por Niebla de Aceite	
Nivel máximo de contaminación. Factor $\eta_c = 0,5$	193.100
Nivel mínimo de contaminación. Factor $\eta_c = 0,8$	624.900

Si comparamos el nivel medio de contaminación, para una configuración de lubricación por nivel de aceite, con el nivel máximo de contaminación para una configuración de lubricación por niebla, observamos que la duración estimada para este ejemplo es de más de 6 veces, para el caso de la lubricación por niebla.

El mismo beneficio en incremento de vida; puede verificarse de manera gráfica, utilizando las tablas de extensión de vida por presencia de partículas y agua.

Si suponemos que al pasar de lubricación por baño de aceite a lubricación por niebla; tenemos las siguientes mejoras en cuanto a nivel de contaminación.

Contenido de agua: De 1.000 ppm a 50 ppm
 Contenido de partículas: De ISO 22/19/16 a 16/13/10

Tendríamos un incremento de vida en rodamientos de 3x al mejorar el nivel de presencia de partículas; como puede verse en la Figura 9; y a su vez de 4,8x al mejorar el contenido de agua, como puede verse en la Figura 10.

Ambos efectos sumados; podrían ocasionar un incremento de vida de 6 veces en promedio.

	20/17		19/16		18/15		17/14		16/13		15/12		14/11		13/10		12/9		11/8		10/7	
26/23	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	6	>10	7.5	>10	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
	4	2.5	4.5	3	6	3.5	6.5	4	7.5	5	8.5	6.5	10	7	>10	9	>10	10	>10	>10	>10	>10
25/22	4	2.5	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	6	>10	7	>10	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10
	3	2	3.5	2.5	4.5	3	5	3.5	6.5	4	8	5	9	6	10	7.5	>10	9	>10	>10	>10	>10
24/21	3	2	4	2.5	6	3	7	4	9	5	>10	6	>10	7	>10	8	>10	10	>10	>10	>10	>10
	2.5	1.5	3	2	4	2.5	5	3	6.5	4	7.5	5	8.5	6	9.5	7	>10	8	>10	10	>10	>10
23/20	2	1.5	3	2	4	2.5	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	6	>10	8	>10	9	>10	>10
	1.7	1.3	2.3	1.5	3	2	3.7	2.5	5	3	6	3.5	7	4	8	5	10	6.5	>10	8.5	>10	10
22/19	1.6	1.3	2	1.6	3	2	4	2.5	5	3	7	3.5	8	4	>10	5	>10	6	>10	7	>10	>10
	1.4	1.1	1.8	1.3	2.3	1.7	3	2	3.5	2.5	4.5	3	5.5	3.5	7	4	8	5	10	5.5	>10	8.5
21/18	1.3	1.2	1.5	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	7	>10	10
	1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.4	2.2	1.6	3	2	3.5	2.5	4.5	3	5	3.5	7	4	9	5.5	10	8
20/17			1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	4	9	5	>10	7	>10	9
			1.2	1.05	1.5	1.3	1.8	1.4	2.3	1.7	3	2	3.5	2.5	5	3	7	4	9	5.5	10	7
19/16					1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	4	9	6	>10	8
					1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.2	1.7	3	2	3.5	2.5	5	3.5	7	4.5	9	6
18/15							1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	4.5	>10	6
							1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.3	1.7	3	2	3.5	2.5	5.5	3.7	8	5
17/14									1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	6	3	8	5
									1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.3	1.7	3	2	4	2.5	6	3.5
16/13											1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	3.5	6	4
											1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.3	1.8	3.7	3	4.5	3.5
15/12			Máquinas Hidráulicas y Motores	Rodamientos									1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5
													1.2	1.1	1.5	1.4	1.8	1.5	2.3	1.8	3	2.2
14/11			Chumaceras y Turbomaquinaria	Cajas de Engranajes y otros											1.3	1.3	1.6	1.6	2	1.8	3	2
															1.3	1.2	1.6	1.4	1.9	1.5	2.3	1.8
13/10																	1.4	1.2	1.8	1.5	2.5	1.8
																	1.2	1.1	1.6	1.3	2	1.6

Fig. 9. Tabla de extensión de vida por presencia de partículas sólidas en lubricante. Al mejorar el Código ISO desde 22/19/16 a 16/13/10, logramos un incremento de vida de 3 veces.

		New Moisture Level (ppm)															
		10,000		5,000		2,500		1,000		500		250		100		50	
Current Moisture Level (ppm)	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	Rolling Element	Journal	
	50,000	2.3	1.6	3.3	1.9	4.8	2.3	7.8	2.9	11.2	3.5	16.2	4.3	26.2	5.5	37.8	6.7
25,000	1.6	1.3	2.3	1.6	3.3	1.9	5.4	2.4	7.8	2.9	11.2	3.5	18.2	4.6	26.2	5.5	
10,000			1.4	1.2	2.0	1.5	3.3	1.9	4.8	2.3	6.9	2.8	11.2	3.5	16.2	4.3	
5,000					1.4	1.2	2.3	1.6	3.3	1.9	4.8	2.3	7.8	2.9	11.2	3.5	
2,500							1.6	1.3	2.3	1.6	3.3	1.9	5.4	2.4	7.8	2.9	
1,000									1.4	1.2	2.0	1.5	3.3	1.9	4.8	2.3	
500											1.4	1.2	2.3	1.6	3.3	1.9	
250													1.5	1.3	2.3	1.6	
100															1.4	1.2	

Fig. 10. Tabla de extensión de vida por presencia de agua en lubricante. Al mejorar la presencia de agua desde 1.000 a 50 ppm, logramos un incremento de vida de 4,8 veces.

Hasta ahora hemos revisado aspectos teóricos en cuanto a los beneficios en incremento de vida de rodamientos, al utilizar la lubricación por niebla. Es importante señalar experiencias prácticas recogidas de las experiencias de los Usuarios Best of Class.

La figura 11 muestra los diferentes valores de MTBF en diferentes Refinerías, Petroquímicas y otras Industrias a Nivel Mundial.

Puede verse claramente que las mejores Petroquímicas y Refinerías de los Estados Unidos, presentan los valores más altos de MTBF de Bombas ¡alrededor de 9 y 10 años!

Por otro lado, las bombas de alguna refinería enfocada en mantenimiento correctivo, tiene un promedio de MTBF menor a 2 años.

TABLE 1. Pump mean-times-between-failures (years)

ANSI pumps, average, US	2.5
ANSI/ISO pumps average, Scandinavian pulp and paper plants	3.5
API pumps, average, US	5.5
API pumps, average, Western Europe	6.1
API pumps, repair-focused refinery, developing country	1.6
API pumps, Caribbean region	3.9
API pumps, best-of-class, US refinery, California	9.2
All pumps, best-of-class, petrochemical plant, US, Texas	10.1
All pumps, mayor petrochemical company, US, Texas	7.5

Fig. 11. Tabla comparativa de valores de MTBF de bombas centrífugas representativas de diferentes Industrias en el Mundo. Publicada en Hydrocarbon Processing Magazine.

La tabla anterior, nos lleva a otra reflexión.

Es común oír de parte del Usuario: “Nosotros no tenemos fallas por rodamientos, las fallas por sellos mecánicos son mucho más frecuentes”. Surge entonces la pregunta ¿cómo la lubricación por niebla puede reducir fallas en sellos mecánicos, si la misma no está aplicada directamente a estos elementos mecánicos?

Consideremos esto: Con un rodamiento montado en el mismo eje que un sello mecánico, y teniendo en cuenta que todo afecta al sello, tiene sentido asumir que cuando la vida de los rodamientos se extiende, la vida del sello mecánico también lo hará. Lo mismo se verifica cuando pensamos que las fallas en bombas pueden ocasionar una exposición a agentes químicos. Si disminuimos el número de fallas, la posibilidad de exposición a los agentes también se reduce. Muchas veces, cuando una bomba centrífuga tiene un fallo, se cataloga el mismo como “Falla de Sello Mecánico”; ya que se verifica que el mismo está dañado. Pero en repetidas ocasiones, ese daño acontece como causa raíz de un problema de lubricación que no llegó a detectarse previamente.

Otro sustento externo muy importante, es la práctica recomendada de API 751 RP para Plantas de Alquilación, en donde se sugiere exactamente lo mismo.

La RP anterior “Recommended Practice for Safe Operation of Hydrofluoric Acid Alkylation Units”; esto es, Práctica Recomendada de Operación Segura de Unidades de Alquilación, menciona específicamente en el punto 3.3.3, cuando se habla de bombas:

“Alternative lubrication systems, such as oil mist, may be beneficial in reducing bearing failures that could cause seal failures”.

La traducción literal es: “Sistemas de lubricación alternativos, tales como la lubricación por niebla, pueden ser beneficiosos reduciendo fallas en rodamientos que podrían ocasionar fallas en sellos mecánicos”.

En la figura 12 se puede ver la comparación entre MTBF exclusivamente de sellos mecánicos, en dos refinerías semejantes, cuando se aplica la lubricación por niebla.

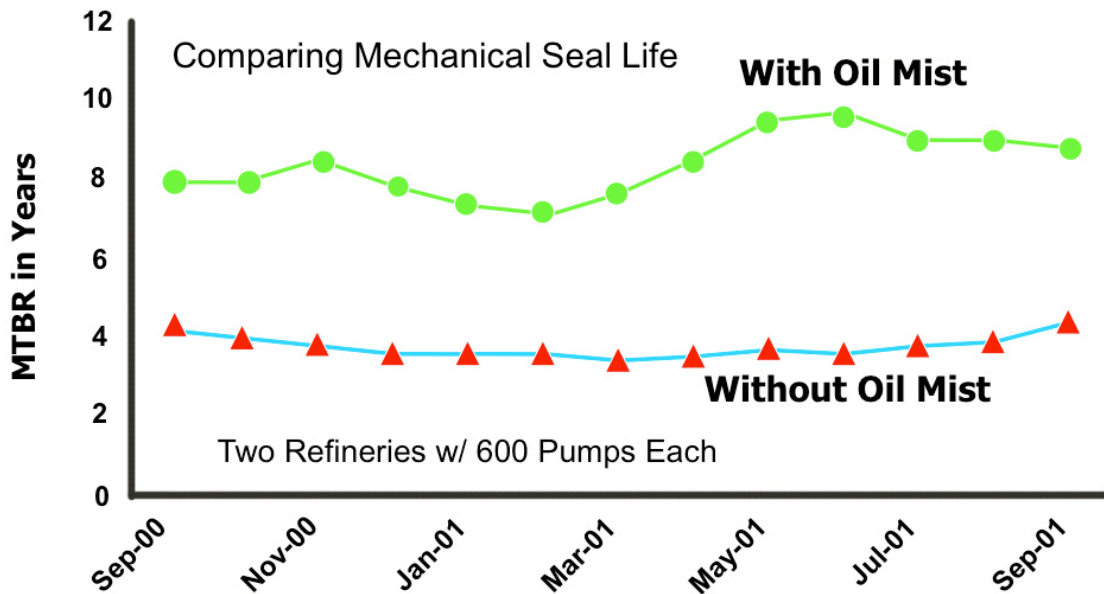


Fig. 12. Gráfico comparativo de MTBF/R de sellos mecánicos, en dos Refinerías Semejantes; al utilizar lubricación por baño y por niebla de aceite.

Hasta aquí, hemos hablado del beneficio más importante de la Tecnología; que radica en incrementar el MTBF de bombas centrífugas en Refinerías.

A la hora de analizar el cambio tecnológico, sin embargo, deben tenerse en cuenta beneficios adicionales como:

- Automatización de tareas de lubricación.
- Reducción de consumo de lubricante, agua de refrigeración y energía.
- Impacto positivo en Seguridad de las personas, al estar menos tiempo expuestas a accidentes en planta.

- Impacto positivo en Seguridad de las Instalaciones, al disminuir los riesgos de incendios derivados de fallas en bombas centrífugas.
- Impacto positivo eventual en pérdida de producción derivada de baja confiabilidad en bombas.
- Impacto positivo en Primas de Aseguradoras de Planta, debido a automatización de tareas y mejora de MTBF.

Normalmente cuando se realiza una Justificación Económica para invertir en este tipo de cambio tecnológico, el payback de la inversión resulta entre 1 y 3 años, dependiendo de las condiciones iniciales de la Planta.

Las experiencias en refinerías argentinas entregan resultados históricos de Justificación Económica comprendidas hasta en 3 años; siendo adoptada como método de lubricación preferido en un 90% de los casos.

CONCLUSIONES

La lubricación por niebla, provee beneficios en cuanto a vida útil y mantenibilidad de equipos dinámicos en refinerías que totalmente justifican su implantación, tanto en proyectos de nuevo diseño, como en unidades existentes. Además de los beneficios logrados en confiabilidad y disponibilidad; este cambio tecnológico trae aparejados otros incentivos desde el punto de vista de ahorro en consumibles, beneficios ambientales, y sobre todo en seguridad de instalaciones y personal. Se recomienda que la tecnología sea adoptada y catalogada de “Best Practice”; tal y como actualmente es en las refinerías de clase mundial.

Esperamos haber contribuido con este trabajo, a entregar más elementos técnicos y económicos, a los efectos de difundir la tecnología y sus aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Norma API 610, Apartado 5.1.1, Diseño Básico de Bombas Centrífugas.
- Norma ISO 281, Rolling bearings – Dynamic load ratings and rating life. AMENDMENT 2: Life modification factor axyz.
- Tablas de extensión de Vida publicadas por Noria en Año 2003, durante Evento de Lubrication Excellence.
- Norma API 751RP. Recommended Practice for Safe Operation of Hydrofluoric Acid Alkylation Units.
- Referencias propias de Usuarios de Colfax en Estados Unidos y Latinoamérica.

CURRICULUM VITAE

Roberto Romero

Profesional sénior con 30 años de experiencia en Industria en General destacando en la Oil & Gas, Refinación, Minera, Cementos, Siderúrgica, etc., sólidos conocimientos en Lubricación Integral, Sistemas de Lubricación por Niebla Bombas centrífugas, compresores y equipos rotantes en General, ajuste, alineación, regulación, conocimientos avanzados de sellos mecánicos, etc.. Elaboración de Planes de Mantenimiento, Ejecución, Análisis y recomendaciones en la evaluación de equipos dinámicos (Turbo-Compresores, Turbo-Bomba, etc.) utilizando las técnicas de Mantenimiento Predictivo y Proactivo, Amplios conocimiento en Tribología, expositor en diferentes seminarios dictados en Argentina y el exterior. 19 años como Gerente General en la empresa Lubritech Argentina S.R.L, Director Cono Sur en Colfax, avalan su alto conocimientos en gestión y desarrollo de mercados y productos.

Cristián Schmid

Egresado de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, en 1999, con el título de Ingeniero Electromecánico. Desde el año 2000, a la fecha, trabajando en el Grupo Sichelub Lubritech, en diversas áreas y países. Desde año 2000 a 2002, Responsable de Servicio PADELI (Programa de Alta Dirección en Lubricación Integral) en Refinería YPF de Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. Desde año 2002 a 2005, Director de Servicios Industriales en el Corporativo de la Empresa, en México DF, realizando tareas de desarrollo técnico y de nuevas aplicaciones para el Sector de Generación de Energía. Desde año 2006 a 2009, Director Gerente de Sichelub Ibérico en España, llevando adelante tareas comerciales, operativas y administrativas en la filial Española del Grupo Sichelub Lubritech. Desde 2010 a 2013, Director de Desarrollo Corporativo para el Grupo con funciones comerciales y técnicas. Interacción con nuevos clientes, nuevos sectores industriales, y desarrollo del recurso humano del Grupo. Desde 2014 a la fecha, Director de Subsidiarias del Grupo Colfax para Sudamérica y Europa del Oeste.