



Vibro

Thermography

Magazine Industrial

Diciembre 2023

Numero III

Termografía

**Eficiencia
energética con
termografía**

Vibraciones

**Los estándares
de evaluación de
amplitud**

Mantenimiento

Predictivo

**Cálculo de la
frecuencia de
MPd**

+ Vibraciones

+ Termografía

+ Confiabilidad

PORTADA



EN ESTA EDICIÓN.....

EDITORIAL

03

Confiabilidad en el Mantenimiento Predictivo

VIBRACIÓN

04

Los estándares para la evaluación de la amplitud de vibración

TERMOGRAFÍA

16

Determinación de la Eficiencia energética con termografía

MANTENIMIENTO PREDICTIVO MPd

24

Cálculo de la frecuencia de MPD

LUBRICACIÓN

29

Lubricación y sus peligros; Los peligros de las pistolas de engrase

Vibro Thermography

EDITORIAL

Ing. Guillermo Valecillo

DIAGRAMACION Y DISEÑO

Lic. Bárbara Luque

MERCADEO

Lic. María Elena Ruiz

INVESTIGACIÓN

Ing. Federico Valecillo

Vibro Thermography

UNETE A NUESTRA COMUNIDAD

¡Suscríbete a tu revista de vibraciones y termografía industrial y recíbela GRATIS!!!

Envía un email con tus datos (nombre, país de donde resides, profesión y/o estudio) magazine@vibrothermography.com

www.vibrothermography.com

Editorial

Causa RAIZ en el Mantenimiento Predictivo MPd

Una emoción común para todo personal de Mantenimiento Predictivo (principalmente técnicos y analistas de monitoreo) es la alegría de encontrar una anomalía **(FALLA POTENCIAL)**, indicar la falla, dar las recomendaciones de corrección y luego de ejecutar las recomendaciones dadas, volver a medir el equipo y encontrar que los valores son **ACEPTABLE (NORMAL)**. Pero ¿se está encontrando la causa raíz que está generando la falla?, esta interrogante nace, ya que en los análisis de vibraciones, termografía y análisis de aceite (por mencionar algunas técnicas predictivas), en ocasiones se detectan fallas y estas aparentemente **“FUERON CORREGIDAS”**, sin embargo, pasado un tiempo, la falla vuelve a aparecer, esto quiere decir, que la causa raíz no ha sido erradicada.

Por esta razón un Departamento de Mantenimiento Predictivo, debe ir de la mano del área de Confiabilidad, pues, en conjunto se encargarán de realizar la investigación de las causas raíz reales que generan las distintas fallas potenciales en los equipos, las cuales son repetitivas.

Al encontrar las causas raíz y erradicarlas, se aumentaría la confiabilidad del activo y por ende se garantiza la operatividad continua, sin fallas, del equipo bajo las condiciones de ambiente y carga donde se encuentre.

Espero que este corto y breve resumen sirva para que los encargados de Mantenimiento Predictivo se encarguen de buscar causas raíz y a su vez trabajar en conjunto con el área de Confiabilidad, con el objetivo de lograr tener un área de Mantenimiento, con optimización de recursos en base a la mejora continua.

Desde **VIBROTHERMOGRAPHY**, queremos agradecer a todos nuestros lectores que se han suscrito al **MAGAZINE**, muchas gracias, en 2024 seguiremos con más información con valor.

A todos nuestros lectores les deseamos un feliz y próspero año nuevo 2024. Bendiciones a todos.

Atte. Ing. Guillermo Valecillo



En lo referente al análisis de vibración se debe utilizar tablas que sirvan de referencia a los analistas, un conjunto de Estándar ISO recomendado para vibraciones es el conjunto ISO 10816.

ISO 10816 ha sido una de las primeras y más desarrolladas normas para la evaluación de vibraciones de maquinaria, incluye una gran variedad de diferentes tipos de maquinaria como turbinas eólicas, turbinas hidráulicas, turbinas de gas y turbinas de vapor, maquinaria alternativa, bombas, motores eléctricos, etc. ISO 10816 reemplaza a las ISO 2372 e ISO 3945, que han sido objeto de revisión técnica.

En los análisis de vibración es común que se haga referencia a ISO 10816-3, para cualquier familia de equipos, el cual no es lo más adecuado, pues, se debe utilizar estándar según la familia de equipo, la ISO 10816, tiene 10 partes, en cada una de estas se enfoca a una familia de equipos en particular, sin embargo, el analista de vibración debe indagar en distintos estándares, analizar, comparar y aplicar el que mas se adecue a la familia de equipo a evaluar. Por ejemplo, en el estándar ISO 10816 no se evidencia una tabla que haga evaluación directa a ventiladores axiales, tal como el estándar ANSI/AMCA 204.

Table 8.3—Vibration Limits for In-situ Tests
 The values in this table represent the overall vibration value with a minimum frequency range of 10-1,000 calculated FFT and analog measurements.

Condition	Fan Application Category	Rigidly Mounted mm/s (in./s)		Flexibly Mounted mm/s (in./s)	
		Peak	RMS	Peak	RMS
Startup	BV-1	14.0 (0.55)	10 (0.39)	15.2 (0.60)	11.2 (0.44)
	BV-2	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)
	BV-3	6.4 (0.25)	4.5 (0.18)	8.8 (0.35)	6.3 (0.25)
	BV-4	4.1 (0.16)	2.8 (0.11)	6.4 (0.25)	4.5 (0.18)
	BV-5	2.5 (0.10)	1.8 (0.07)	4.1 (0.16)	2.8 (0.11)
Alarm	BV-1	15.2 (0.60)	10.6 (0.42)	19.1 (0.75)	14.0 (0.55)
	BV-2	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)	19.1 (0.75)	14.0 (0.5)
	BV-3	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)	16.5 (0.65)	11.8 (0.28)
	BV-4	6.4 (0.25)	4.5 (0.18)	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)
	BV-5	5.7 (0.20)	4.0 (0.16)	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)
Shutdown	BV-1	NOTE 1	NOTE 1	NOTE 1	NOTE 1
	BV-2	NOTE 1	NOTE 1	NOTE 1	NOTE 1
	BV-3	12.7 (0.50)	9.0 (0.35)	17.8 (0.70)	12.5 (0.49)
	BV-4	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)	15.2 (0.60)	11.2 (0.44)
	BV-5	7.6 (0.30)	5.6 (0.22)	10.2 (0.40)	7.1 (0.28)

Notes:
 1. Shutdown levels for fans in Fan Application Grades BV-1 and BV-2 must be established based on historical data.
 2. Peak values are widely used in North America and are made up of a number of sinusoidal waveforms. The peak values do not necessarily have an exact match with RMS values and also depend on the instrument used to some extent.

Tabla 8.3 para Evaluación de vibración de Ventiladores Axiales
 Fuente: ANSI /AMCA 204

ISO 10816-1

Es un documento básico el cual establece las pautas generales para la medición y evaluación de la vibración mecánica de las máquinas, medida en piezas no giratorias. Las clasificaciones de las máquinas se muestran en la siguiente imagen.

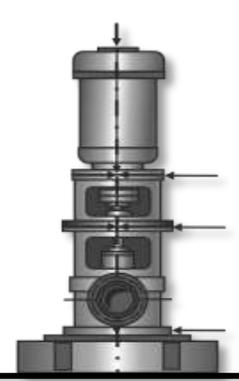
Class I machines may be separate driver and driven, or coupled units comprising operating machinery up to approximately 15kW(approx 20hp).

Class I machinery (electrical motors 15kW (20hp) to 75kW(100hp), without special foundation, or Rigidly mounted engines or machines up to 300kW (400hp) mounted on special foundations.

Class III machines are large prime movers and other large machinery with large rotating assemblies mounted on rigid and heavy foundation which are reasonably stiff in the direction of vibration .

Class IV includes large prime movers and other large machinery with large rotating assemblies mounted on foundations which are relatively soft in the direction of the measured vibration (i.e., turbine generators and gas turbines greater than 10MW (approx. 13500hp) output.

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes			
mm/s RMS	in/s Peak	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02	Good	Good	Good	Good
0.45	0.03				
0.71	0.04				
1.12	0.06	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1.80	0.10				
2.80	0.16	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory
4.50	0.25	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
7.10	0.40				
11.20	0.62				
18.00	1.00	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
28.00	1.56				
45.00	2.51				



ISO 10816-2

Turbinas de Vapor y Generadores

ISO 10816-2 se utiliza para medir vibraciones mediante acelerómetro o transductores de velocidad en piezas fijas como carcasas de cojinetes de grandes turbinas y generadores terrestres de más de 50 MW y velocidades de rotación de 1500 a 3600 RPM, este estándar tiene dos tablas para la evaluación de los equipos, una en velocidad (mm/s) y otra en desplazamiento (peak-peak en µm).

Velocity mm/s (RMS)	Speed(RPM)		Displacement um (peak-peak)	Group 2		Group 1	
	1500	3000		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible
11.8	Damage Occurs		396	Damage Occurs			
10			320				
8.5	Restricted operation		255				
7.5			201	Restricted operation			
5.3			161				
3.8	Unrestricted operation		127				
2.8			105	Unrestricted operation			
	Newly Commissioned		82				
			62			Newly Commissioned	

ISO 10816-3

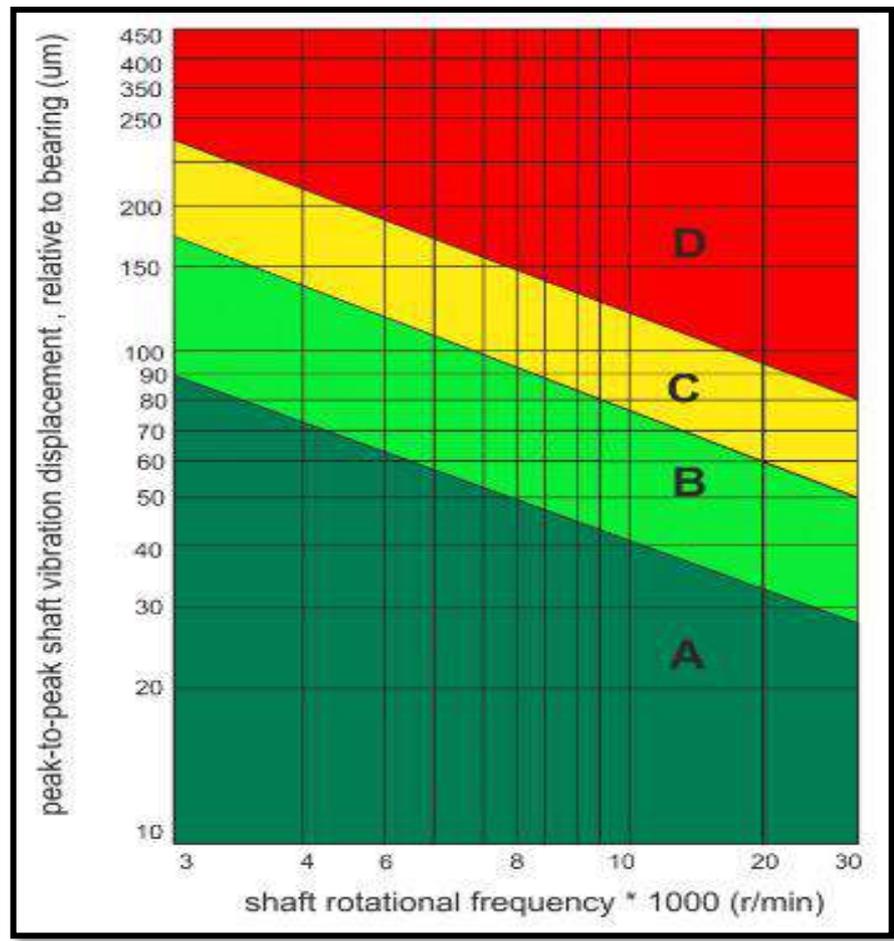
Este estándar se aplica principalmente a la medición de vibraciones de máquinas industriales, como motores eléctricos que funcionan por encima de 15 KW y rango de velocidad (120RPM-15000RPM), la medición se hace mediante acelerómetro o transductores de velocidad en partes fijas como carcasas de cojinetes. En la ISO 10816-3 se tiene tabla para evaluación de vibraciones en velocidad (mm/s) y desplazamiento (peak-peak en μm).

Velocity mm/s (RMS)	Group 2&4		Group 1&3		Displacement μm (peak-peak)	Group 4		Group 3	
	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible
11	Damage Occurs				396	Damage Occurs			
7.1	Restricted operation		Unrestricted operation		320	Damage Occurs			
4.5	Restricted operation		Unrestricted operation		255	Restricted operation		Unrestricted operation	
3.5	Restricted operation		Unrestricted operation		158	Restricted operation		Unrestricted operation	
2.8	Unrestricted operation		Unrestricted operation		102	Restricted operation		Unrestricted operation	
2.3	Unrestricted operation		Unrestricted operation		79	Unrestricted operation		Unrestricted operation	
1.4	Unrestricted operation		Unrestricted operation		62	Unrestricted operation		Unrestricted operation	
	Newly Commissioned				51	Unrestricted operation		Unrestricted operation	
	Newly Commissioned				31	Unrestricted operation		Unrestricted operation	

ISO 10816-4

Turbina de Gas

Se aplica principalmente a la medición de vibraciones de turbinas de gas, con rango de velocidad (3000 RPM-20000 RPM).



ISO 10816-5

Turbina Hidráulica

En este estándar se proporciona las pautas para aplicar criterios de evaluación de la vibración de la caja de rodamientos medidos en condiciones normales de funcionamiento en los rodamientos, pedestales de rodamientos o carcasas de rodamientos de los conjuntos de máquinas principales en plantas de bombeo y generación de energía hidráulica. Es aplicable a conjuntos de máquinas con velocidades de 60 a 1800 RPM, cojinetes de deslizamiento de tipo carcasa o zapata y una potencia del motor principal de 1 MW.

ISO 10816-5 At measurement location 1,2,3 and 4		
Displacement um P-P	Velocity mm/s (RMS)	Group 1
80	6	D
	4.0	
	3.7	
	3.3	
50	3.1	C
	2.8	
	2.5	
	2.2	
30	1.9	B
	1.6	

ISO 10816-5 At measurement location 1 and 2	
Velocity mm/s (RMS)	Group 2
6.4	D
4.0	
3.7	
3.3	
3.1	C
2.8	
2.5	
2.2	
1.9	B
1.6	
	A

ISO 10816-5 At all main bearings		
Displacement um P-P	Velocity mm/s (RMS)	Group 3
80	6	D
	4.0	
	3.7	
	3.3	
50	3.1	C
	2.8	
	2.5	
	2.2	
30	1.9	B
	1.6	

ISO 10816-5				
At measurement location 1		At all other main bearings		
Displacement um P-P	Velocity mm/s (RMS)	Displacement um P-P	Velocity mm/s (RMS)	Group 4
160 100	6	80	6	D
	4.0		4.0	
	3.7		3.7	
	3.3		3.3	
65	3.1	50	3.1	C
	2.8		2.8	
	2.5		2.5	
	2.2		2.2	
30	1.9	30	1.9	B
	1.6		1.6	

ISO 10816-6
Maquinas Reciprocante

En general, se aplica a las máquinas de pistón alternativo montadas de forma rígida o elástica con potencias superiores a 100 kW. Ejemplos típicos de aplicación son: motores de propulsión marinos, motores auxiliares marinos, motores que funcionan en grupos electrógenos diésel, compresores de gas y motores para locomotoras diésel.

Vibration Evaluation Standard - Reciprocating machine

Vibration Severity Grade	Overall Vibration measurement measured on the machine Structure			Machine Class*						
	Displacement in μm - micron (rms)	Velocity in mm/ sec (rms)	Acceleration meter/ sec (rms)	1	2	3	4	5	6	7
1.1	≤ 17.8	≤ 1.12	≤ 1.76	A	A	A	A	A	A	A
1.8	≤ 28.3	≤ 1.78	≤ 2.79	A	A	A	A	A	A	A
2.8	≤ 44.8	≤ 2.82	≤ 4.42	B	B	A	A	A	A	A
4.5	≤ 71.0	≤ 4.46	≤ 7.01	B	B	B	B	A	A	A
7.1	≤ 113	≤ 7.07	≤ 11.1	C	C	B	B	B	A	A
11	≤ 178	≤ 11.2	≤ 17.6	D	C	B	B	B	B	B
18	≤ 283	≤ 17.8	≤ 27.9	D	C	C	C	B	B	B
28	≤ 448	≤ 28.2	≤ 44.2	D	C	C	C	C	B	B
45	≤ 710	≤ 44.6	≤ 70.1	D	C	C	C	C	C	B
71	≤ 1125	≤ 70.7	≤ 111	D	C	C	C	C	C	C
112	≤ 1784	≤ 112	≤ 176	D	C	C	C	C	C	C
180	≤ 1784	> 112	> 176	D	C	C	C	C	C	D



- Zone A:** Vibration of newly Commissioned Machines;
- Zone B:** Machines considered acceptable for unrestricted long-term operation
- Zone C:** Machines considered unsatisfactory for long-term continuous operation
- Zone D:** Vibration values normally considered to be sufficient severity to cause damage to the machine

ISO 10816-7

Bombas

ISO 10816 especifica zonas y límites para la vibración de bombas horizontales y verticales independientemente de su flexibilidad de soporte. Además, se dan recomendaciones para definir límites operativos y configurar valores de alarma y disparo. Este estándar proporciona una guía específica para evaluar la severidad de la vibración medida en las carcasas de cojinetes de bombas rotativas in situ y para la prueba de aceptación en las instalaciones de prueba del fabricante o en la planta.

DIN ISO 10816-7	Category 1		Category 2			
Pump type	Rotor dynamic pumps with high reliability, availability or security requirements		Rotor dynamic pumps for general or less critical applications		r < 600 rpm	
Power	<200 kw	>200 kw	<200 kw	>200 kw	0.5 rpm 1.0 rpm 2.0 rpm	
Velocity v_{eff}					Displacement Sp-p	D
7.6	D		D			
6.5	C		C		130	C
5.0	B		B			
4.0	B		B		80	B
3.5	A		A			
2.5	A		A		50	A
mm/s rms	A		A			
9.5	D		D		80	B
8.5	C		C			
6.1	B		B		50	A
5.1	B		B			
4.2	A		A		3.2	A
3.2	A		A			
mm/s rms	A		A			

A Newly commissioned machines

B Unrestricted long term operation

C Restricted long term operation

D Vibration causing damage

ISO 10816-8

Compresores Alternativo

Establece procedimientos y directrices para la medición y clasificación de la vibración mecánica de los sistemas de compresores alternativos. Los equipos cubiertos por esta parte de ISO 10816 son:

- Sistemas de compresores horizontales, verticales, tipo V, W y L,
- Compresores de velocidad constante y variable,
- Compresores accionados por motores eléctricos, motores de gas y diesel, turbinas de vapor, con o sin caja de cambios, acoplamiento flexible o rígido, y
- Compresores alternativos lubricados y de funcionamiento en seco.

Table 2 - Summary of overall constant vibration displacement values for different compressor system parts

r.m.s vibration displacement values for horizontal compressors mm	Evaluation zone boundary	Compressor System Part					
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)	Dampers	Piping
0.454		D	D	D	D	D	
0.382		D	D	D	C	C	
0.310		D	D	C	C	C	
0.302		D	D	C	C	C	
0.255		D	D	C	C	C	
0.207		D	D	C	B	B	
0.202		D	D	C	B	B	
0.191		D	D	C	B	B	
0.170		D	C	B	B	B	
0.139		D	C	B	B	B	
0.127		D	C	B	B	B	
0.084		D	B	B	B	A	
0.072		C	B	B	A	A	
0.048		C	B	A	A	A	
0.032		B	B	A	A	A	
		A	A	A	A	A	

r.m.s vibration displacement values for vertical compressors mm	Evaluation zone boundary	Compressor System Part					
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)	Dampers	Piping
0.454		D	D	D	D	D	
0.382		D	D	D	C	C	
0.310		D	D	C	C	C	
0.302		D	D	C	C	C	
0.255		D	D	C	C	C	
0.207		D	D	C	B	B	
0.202		D	D	C	B	B	
0.191		D	D	C	B	B	
0.170		D	C	B	B	B	
0.139		D	C	B	B	B	
0.127		D	C	B	B	B	
0.084		D	B	B	B	A	
0.072		C	B	B	A	A	
0.048		C	B	A	A	A	
0.032		B	B	A	A	A	
		A	A	A	A	A	

ISO 10816-8

Compresores Alternativos

Table 3 - Summary of overall constant vibration velocity values for different compressor system parts

r.m.s vibration velocity values for horizontal compressors mm/s	Evaluation zone boundary	r.m.s vibration velocity values for vertical compressors mm/s					
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)	Dampers	Piping
28.5		D	D	D	D	D	D
24.0		D	D	D	D	D	D
19.5		D	D	D	D	D	D
19.0		D	D	D	D	D	D
16.0		D	D	D	D	D	D
13.0		D	D	D	D	D	D
12.7		D	D	D	D	D	D
12.0		D	D	D	D	D	D
10.7		D	D	D	D	D	D
8.7		D	D	D	D	D	D
8.0		D	D	D	D	D	D
5.3		D	D	D	D	D	D
4.5		D	D	D	D	D	D
3.0		D	D	D	D	D	D
2.0		D	D	D	D	D	D

Table 4 - Summary of overall constant vibration acceleration values for different compressor system parts

r.m.s vibration acceleration values for horizontal compressors m/s²	Evaluation zone boundary	r.m.s vibration acceleration values for vertical compressors m/s²					
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)	Dampers	Piping
35.8		D	D	D	D	D	D
30.2		D	D	D	D	D	D
24.5		D	D	D	D	D	D
23.9		D	D	D	D	D	D
20.1		D	D	D	D	D	D
16.3		D	D	D	D	D	D
16.0		D	D	D	D	D	D
15.1		D	D	D	D	D	D
13.5		D	D	D	D	D	D
10.9		D	D	D	D	D	D
10.1		D	D	D	D	D	D
8.7		D	D	D	D	D	D
5.7		D	D	D	D	D	D
3.8		D	D	D	D	D	D
2.5		D	D	D	D	D	D

Tabla C-1

r.m.s vibration displacement values for horizontal compressors mm	Evaluation zone boundary	r.m.s vibration displacement values for vertical compressors mm			
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)
0.215		D	D	D	D
0.143		D	D	D	D
0.095		D	D	D	D

Tabla C-2

r.m.s vibration velocity values for horizontal compressors mm/s	Evaluation zone boundary	r.m.s vibration velocity values for vertical compressors mm/s			
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)
13.5		D	D	D	D
9.0		D	D	D	D
6.0		D	D	D	D

Tabla C-3

r.m.s vibration acceleration values for horizontal compressors m/s²	Evaluation zone boundary	r.m.s vibration acceleration values for vertical compressors m/s²			
		Foundation	Frame (top)	Cylinder (lateral)	Cylinder (rod)
20.0		D	D	D	D
11.3		D	D	D	D
7.5		D	D	D	D

ISO 10816-21

Turbinas Eólicas con Caja de Cambios

ISO 10816-21 especifica la medición y evaluación de la vibración mecánica de las turbinas eólicas y sus componentes tomando medidas en piezas no giratorias. Se aplica a los aerogeneradores con potencia nominal del generador superior a 100 kW pero menor o igual a 3 MW, y las siguientes características de diseño y funcionamiento:

- Instalación en sistemas de soporte (torre y cimentación) de acero y hormigón
- Rotor de eje horizontal con varias palas de rotor, cojinete de rotor separado o integrado en la caja de cambios
- Generadores accionados por caja de cambios
- Generadores de tipo síncrono o asíncrono con sólo un número de polos fijo o que se pueden cambiar de polo para el ajuste de velocidad
- Generador acoplado a la red eléctrica mediante convertidor o directamente

permissible evaluation velocity in mm/s				
Frequency range	10Hz-1000Hz	10Hz-1000Hz	10Hz-1000Hz	≤0.1Hz-10Hz
V in mm/s	100			100
	60			60
	30			
	20			
	10			10
	5		5.6	6.0
	3	3.2	3.5	
	2	2.0		
	1			
	component	Main bearing	Greabox	Generator
Axial Horizontal Vertical				

Tabla de Charlotte

TABLE II. CRITERIA FOR OVERALL CONDITION RATING (RMS OVERALL VELOCITY, mm/s)_{rms}

1. Assuming Machine Speed = 600 to 60,000 RPM.
2. Assuming Measurements by Accelerometer or Velocity Pickup securely mounted as Close as Possible to Bearing Housing.
3. Assuming Machine is Not Mounted on the Vibration Isolated Machinery – Set Alarm 30% - 50% Higher).
4. Set Motor Alarms the Same as that for the Particular Machine Type unless Otherwise Noted.
5. Set Alarms on Individual External Gearbox Position about 25% Higher than of a particular Machine Type.

MACHINE TYPE	GOOD	OK	ALERT	CRITICAL	
COOLING TOWER DRIVES					
Long, Hollow Drive Shaft	0 – 6.7	6.7 – 10.8	10.8	16.2	
Close Coupled Belt Drive	0 – 4.9	4.9 – 7.6	7.6	11.7	
Close Coupled Direct Drive	0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1	
COMPRESSORS					
Reciprocating	0 – 5.8	5.8 – 9.0	9.0	13.5	
Rotary Screw	0 – 5.4	5.4 – 8.1	8.1	11.7	
Centrifugal With or W/O External Gearbox	0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1	
Centrifugal – Integral Gear (Axial Meas.)	0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1	
Centrifugal – Integral Gear (Radial Meas.)	0 – 2.7	2.7 – 4.5	4.5	6.7	
BLOWERS (FANS)					
Lobe-Type Rotary	0 – 5.4	5.4 – 8.1	8.1	12.1	
Belt-Driven Blowers	0 – 4.9	4.9 – 7.6	7.6	11.7	
General Direct Drive Fans (with Coupling)	0 – 4.5	4.5 – 6.7	6.7	9.9	
Primary Air Fans	0 – 4.5	4.5 – 6.7	6.7	9.9	
Large Forced Draft Fans	0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1	
Large Induced Draft Fans	0 – 3.1	3.1 – 4.9	4.9	7.2	
Shaft-Mounted Integral Fan (Extended Motor Shaft)	0 – 3.1	3.1 – 4.9	4.9	7.2	
Vane-Axial Fans	0 – 2.7	2.7 – 4.5	4.5	6.7	
MOTOR/GENERATOR SETS					
Belt-Driven	0 – 4.9	4.9 – 7.6	7.6	12.1	
Direct Coupled	0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1	
CHILLERS					
Reciprocating	0 – 4.5	4.5 – 7.2	7.2	10.8	
Centrifugal (Open-Air) – Motor & Comp. Separate	0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1	
Centrifugal (Hermetic) – Motor & Impellers Inside	0 – 2.7	2.7 – 4.0	4.0	6.3	
LARGE TURBINE/GENERATOR					
3600 RPM Turbine/Generators	0 – 3.1	3.1 – 4.9	4.9	7.2	
1800 RPM Turbine/Generators	0 – 2.7	2.7 – 4.0	4.0	6.3	
CENTRIFUGAL PUMPS					
Vertical Pumps (12' – 20' Height)	Height from Grade to Top Motor Bearing. May be necessary to Spec. Lower Alarm for Lower Motor Bearing & for Upper Pump Bearing (depending on height).	0 – 5.8	5.8 – 9.0	9.0	13.5
Vertical Pumps (8' – 12' Height)		0 – 4.9	4.9 – 7.6	7.6	11.7
Vertical Pumps (5' – 8' Height)		0 – 4.0	4.0 – 6.3	6.3	9.4
Vertical Pumps (0' – 5' Height)		0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1
General Purpose Horizontal Pump – Direct Coupled		0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1
Boiler Feed Pumps – Horizontal Orientation		0 – 3.6	3.6 – 5.4	5.4	8.1
Hydraulic Pumps – Horizontal Orientation		0 – 2.2	2.2 – 3.6	3.6	5.4
MACHINE TOOLS					
Motor	0 – 1.8	1.8 – 3.1	3.1	4.5	
Gearbox Input	0 – 2.7	2.7 – 4.0	4.0	6.3	
Gearbox Output	0 – 1.6	1.6 – 2.7	2.7	4.0	
Spindles:					
a. Roughing Operations	0 – 1.2	1.2 – 1.8	1.8	2.7	
b. Machine Finishing	0 – 0.7	0.7 – 1.1	1.1	1.6	
c. Critical Finishing	0 – 0.4	0.4 – 0.7	0.7	1.1	

*NOTE: The "ALERT" and "CRITICAL" overall levels given above apply only to in-service machinery which has been operating for some time after initial installation and/or overhaul. They do not apply (and are not meant to serve as) Acceptance Criteria for either new or rebuilt machinery.

La tabla de Charlotte es una tabla de fácil uso y que contempla una gran cantidad de familia de equipos.



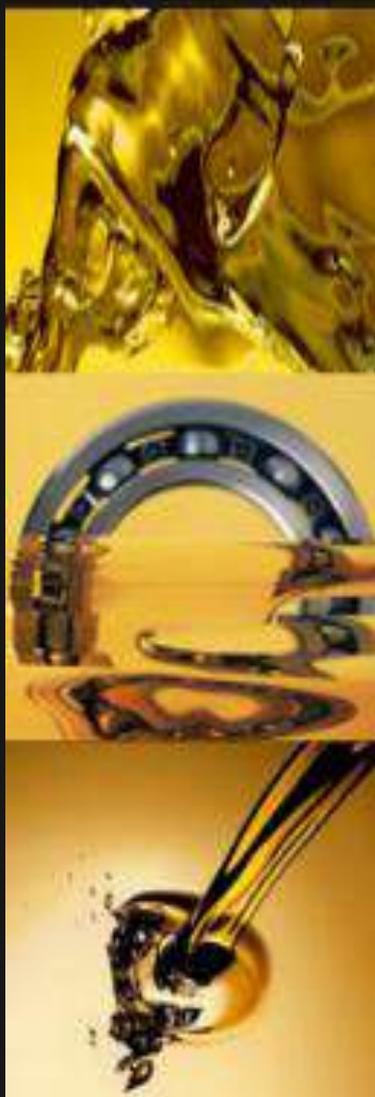
Vibro **Thermography**

Lubricación Industrial Nivel I **Basada en Confiabilidad**

Actualiza tus conocimientos e implementa un programa de lubricación de clase mundial basado en Confiabilidad.

*Capacitación abarca el cuerpo de conocimiento
MLA I y MLT I
ISO 18436-4*

www.vibrothermography.com



Termografía

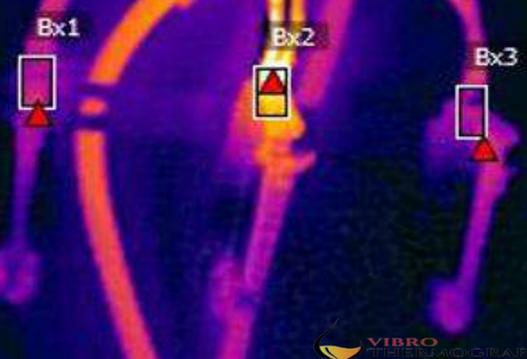
Determinación de la eficiencia energética con termografía



Max 41.5 °C °C
Max 107.7 °C
Max 40.9 °C



Bx1 Max 41.5 °C °C
Bx2 Max 107.7 °C
Bx3 Max 40.9 °C



IR



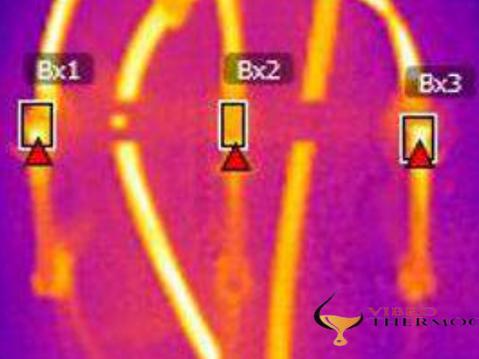
FLIR



Max 45.8 °C °C
Max 41.7 °C
Max 46.3 °C

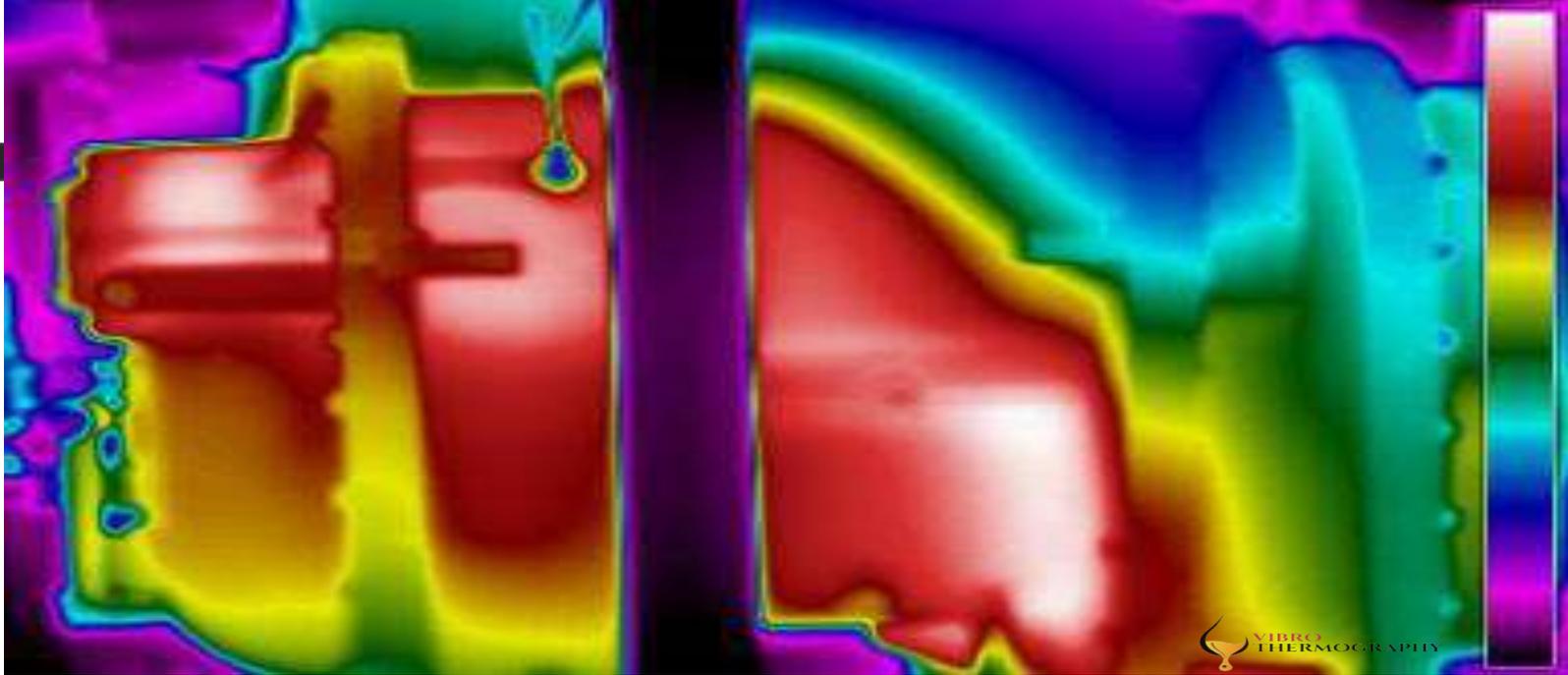


Bx1 Max 45.8 °C °C
Bx2 Max 41.7 °C
Bx3 Max 46.3 °C



IR



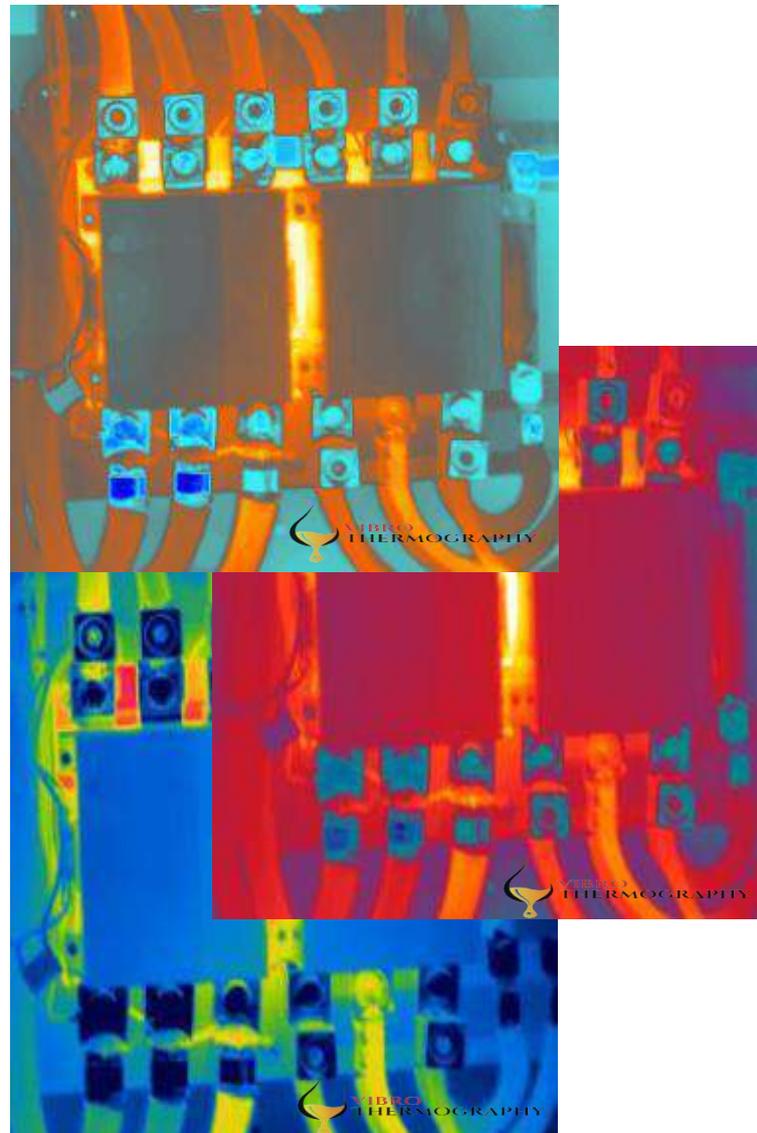


Determinación de eficiencia energética con Termografía

Actualmente la demanda de energía no para de crecer y con esto la preocupación por el medio ambiente se intensifica, por esta razón la eficiencia energética se convierte en un pilar fundamental para toda industria.

En este artículo de Vibrothermography, se mostrará al lector como la termografía puede ser una excelente aliada a la hora de realizar evaluaciones de eficiencia energética dentro de cualquier organización.

El caso acá presentado muestra las pérdidas energéticas que se estaba teniendo en un horno de fundición que tenía serios defectos en los revestimientos de este.



Horno de fundición con altas pérdidas energéticas

Realizando una inspección termográfica en un horno de fundición de aluminio se detectó fisuras en distintas áreas del horno (ver figura 1), estas tenían una temperatura de 320,0 °C, mientras que el área de la pared en buen estado tenía una temperatura promedio de 46,6 °C, es decir se tenía un delta de 274,4 °C.

Esta fisura se debía a la falla del material aislante de la pared del horno.

Sin embargo, se quería conocer cuanto era la pérdida de energía (por ende, dinero) que la organización estaba teniendo al operar el horno en dicha condición. Para conocer esto era necesario conocer el calor que se disipa por convección al ambiente, así como el calor latente y sensible necesario para la fundición del aluminio.

En total se encontraron 32 fisuras con una longitud promedio de 0.85 m y un espesor de 0,02 m.

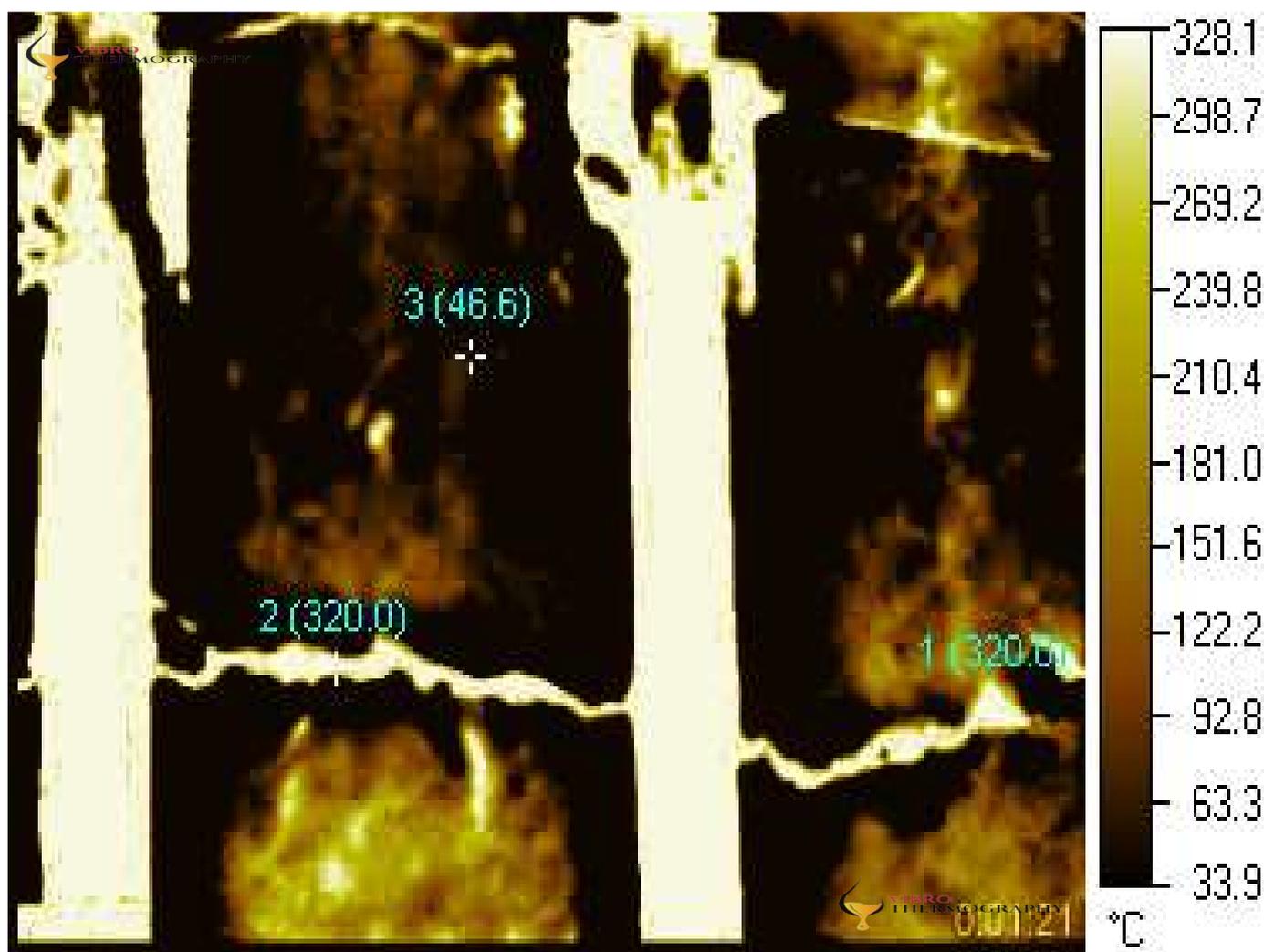


Figura 1 – Termografía de un horno de fundición
Fuente: Vibrothermography

La termografía puede ser utilizada para conocer de manera empírica la eficiencia energética de un equipo, en este caso un horno industrial. Para la evaluación de la eficiencia energética es necesario definir los conceptos de Calor Latente y Calor Sensible.

Definición de Calor Latente y Calor Sensible

Calor Sensible: El calor sensible de una sustancia se define como la cantidad de energía (julios o calorías) necesaria para cambiar la temperatura de exactamente 1 g de una sustancia por exactamente 1 °C.

Calor Latente: La cantidad de calor absorbido o liberado cuando una sustancia cambia su estado físico a temperatura constante, por ejemplo, de un sólido a un líquido en su punto de fusión, o de un líquido a un gas en su punto de ebullición.



Figura 02 – Calentamiento de agua dentro del bol.

Entendiendo el Calor Latente y Calor Sensible

Para entender mejor las definiciones de Calor Latente y Calor Sensible, se puede tomar el siguiente ejemplo. Se quiere hervir un bol con agua (figura 02), el agua inicialmente está a 25 °C y 1 Atm. El calor sensible, es la energía necesaria para llevar la masa de agua contenida en el bol desde los 25 °C a 100 °C, mientras que el calor latente es la energía necesaria para que ocurra el cambio de fase del agua, es decir, la energía para que toda la masa de agua pase de líquida a vapor (se evapore el agua)

Definido los conceptos de “Calor Latente y Calor Sensible” se determina la energía disipada al ambiente en el horno de fundición de Aluminio.

Calor Sensible Aluminio (Cs):

$$910 \text{ J/Kg} \cdot \text{°C}$$

Calor Latente Aluminio (Cl):

$$350 \text{ J/Kg}$$

Temperatura de Fusión Aluminio (Al):

660 °C

Temperatura ambiente: 25 °C

La energía para fundir 1.000 kg de aluminio será:

$$QT = Q1 + Q2$$

QT = Calor Total

Q1 = Calor Sensible Total

Q2 = Calor Latente Total

$$Q1 = Cs \times m \times \Delta T$$

$$Q1 = (910 \text{ J/Kg} \cdot \text{°C}) \times (1.000 \text{ Kg}) \times (660 \text{ °C} - 25 \text{ °C})$$

$$Q1 = 577.850 \text{ KJ}$$

$$Q2 = Cl \times m$$

$$Q2 = (350 \text{ J/Kg}) \times (1.000 \text{ Kg})$$

$$Q2 = 350 \text{ KJ}$$

$$QT = 578.200 \text{ KJ}$$

La energía total que se necesita para fundir 1.000 Kg de aluminio es de 578.200 KJ **Nota:** esta es la energía necesaria para fundir aluminio puro, es decir, sin otros elementos químicos, sin embargo, en la práctica se estima que el aluminio de chatarra consume en promedio 650 KW-H/Ton para fundirse.



Figura 03 – Horno de Fundición de Aluminio

Fuente: Vibrothermography

Energía Disipada al Ambiente (Convección)

Temperatura de superficie: 320 °C

Temperatura ambiente: 25 °C

Longitud de grieta: 0,85 m

Espesor de grieta: 0,02 m

Cantidad de grieta: 32

Coefficiente convectivo del aire (h):

$$18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

PT = Potencia Total disipada (W)

$$PT = h \times A \times (Ts - Ta)$$

h = Coeficiente convectivo del aire

A = Área de disipación de calor

Ts = Temperatura de superficie

Ta = Temperatura de ambiente

$$PT = (18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}) \times (0,02\text{m} \times 0,85\text{m} \times 32) \times (320\text{°C} - 25\text{°C})$$

Potencia Total disipada (W)

$$PT = 2888,64 \text{ W}$$

Energía Desperdiciada

De los parámetros calculados podemos determinar la cantidad de energía disipada del horno al ambiente. Asumiendo un promedio de 8.000 horas de funcionamiento al año del horno tendríamos:

$$PT \text{ (anual)} = 2888,64 \text{ W} \times 8.000 \text{ h}$$

$$PT \text{ (anual)} = 23109,12 \text{ KW-H}$$

Es decir, que a un costo promedio de 0,07 \$/KW-H, el dinero desperdiciado será de:

$$\text{\$desperdiciado} = PT \text{ (anual)} \times 0,05 \text{ \$/KW-H}$$

$$\text{\$desperdiciado} = 23109,12 \text{ KW-H} \times 0,07 \text{ \$/KW-H}$$

$$\text{\$desperdiciado} = 1617,64 \text{ \$/Año}$$

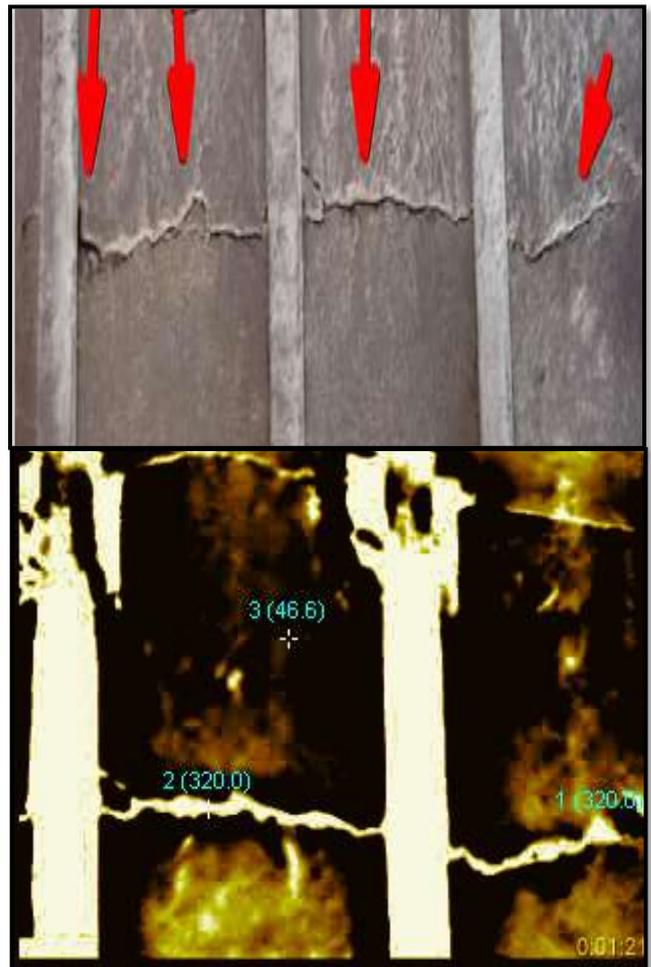


Figura 04 – Grietas del Horno de Fundición de Aluminio, temperatura 320 °C

**Total de Aluminio
que se pudo fundir con la
energía desperdicia**

Potencia Total disipada (W)

$$PT = 2.888,64 W$$

$$QT = 650 KW-H/Ton$$

$$ET (anual) = 2,88864 KW \times 8.000 h$$

$$ET (anual) = 23.109,12 KW-H$$

$$ET (anual) = \text{Energía Total Anual en KW-H}$$

Con la energía desperdiciada en un año se calcula la cantidad de aluminio que se podría fundir

T-AI (anual) = Total de aluminio fundido en un año

$$T-AI (anual) = ET (anual) / QT$$

$$T-AL = 35,55 TON$$

Del estudio de termografía realizado del horno de fundición de aluminio se tuvo las siguientes conclusiones:

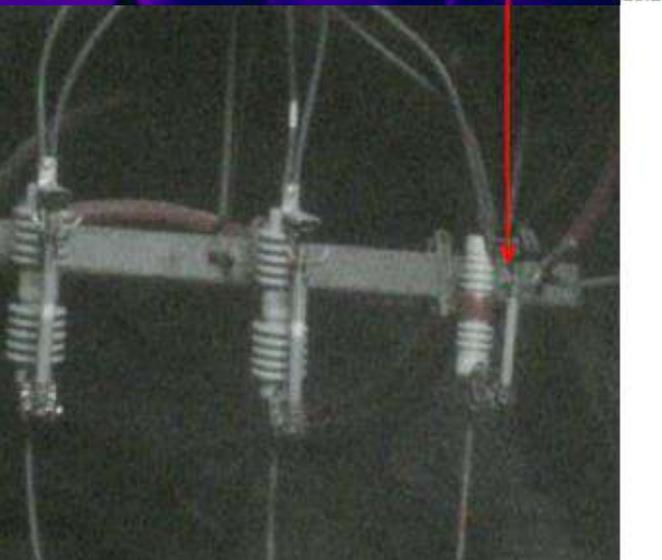
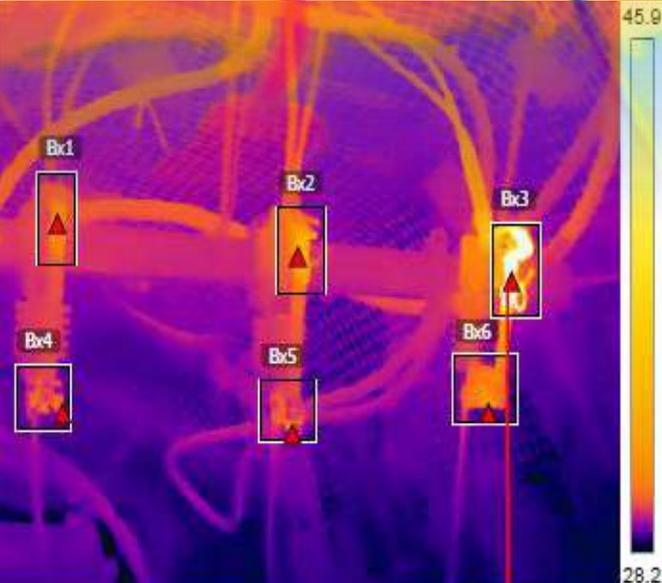
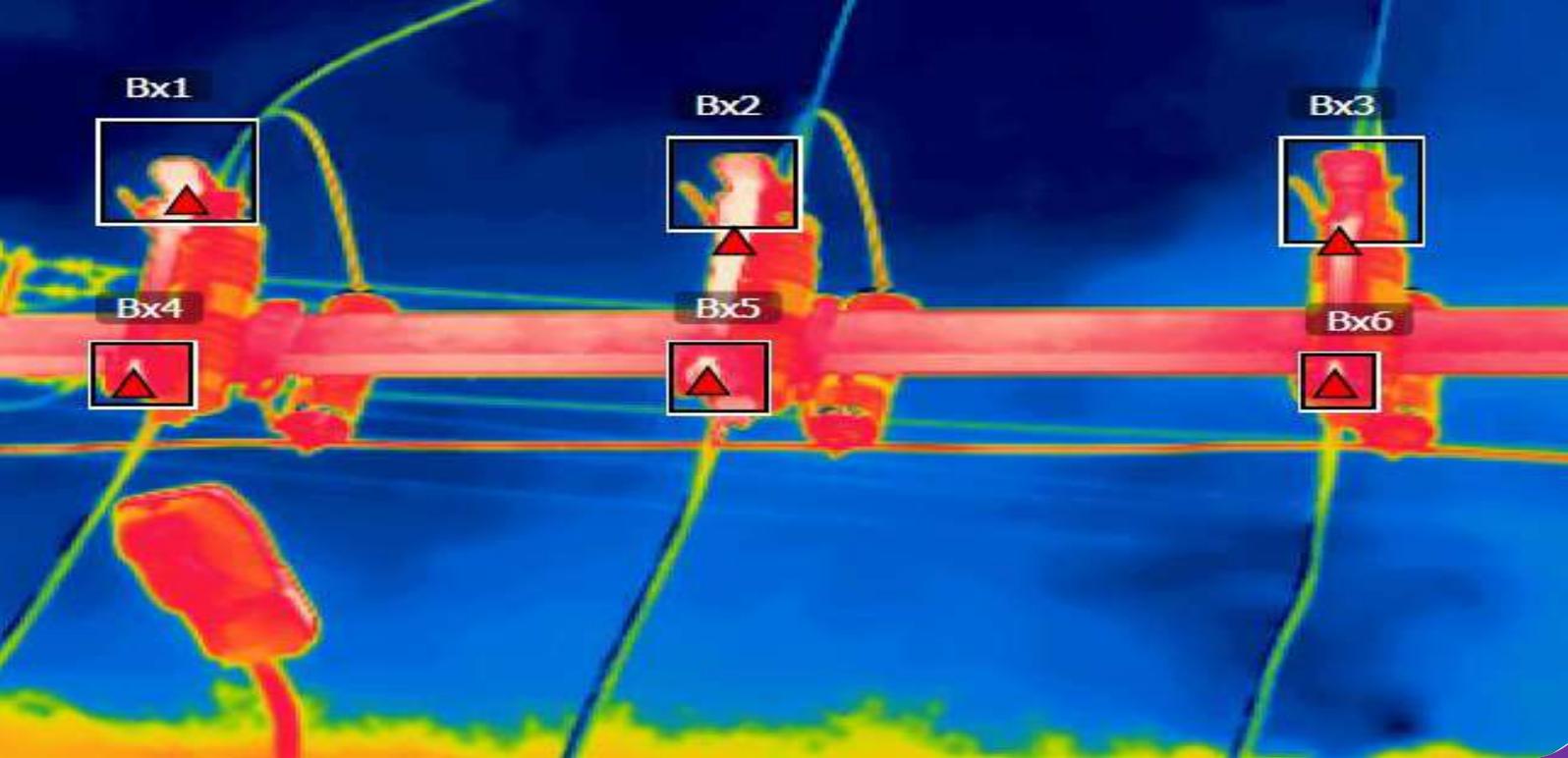
- *La cantidad de dinero que se desperdicia al año por la energía que se disipa de las fisuras es de **1617,64 \$/año.***
- *La cantidad de aluminio que se pudo haber fundido con la energía desperdiciada fue de **35,5 Ton/año.***

El estudio termográfico solo está evaluando la cantidad de dinero desperdiciado por pérdida de calor, pero cabe resaltar que este valor puede dispararse al tener fallas mayores que saque de operación al horno teniendo pérdida de dinero muy altas.

Este estudio fue clave para que la Gerencia de la Organización, realizara las reparaciones del material aislante y daños ocultos en el horno para evitar el continuo desperdicio de dinero por energía no utilizada y devolver la confiabilidad operacional al equipo.

Todo horno debería ser inspeccionado con termografía con un rango de frecuencia de seis (06) a doce (12) meses, con esto se conocerá si se tiene pérdidas de calor, que puede estar generando un despilfarro de dinero, así como aumentando nuestra huella de carbono por el uso innecesario de recursos.





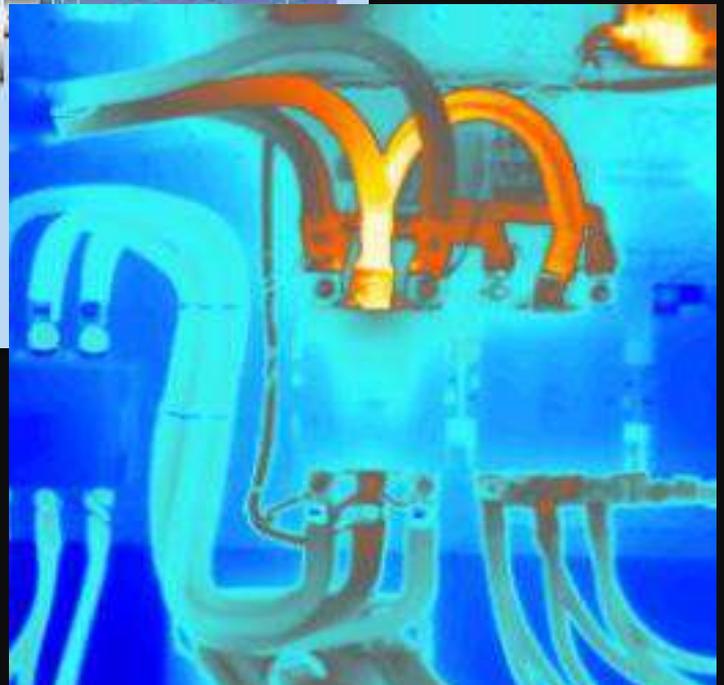
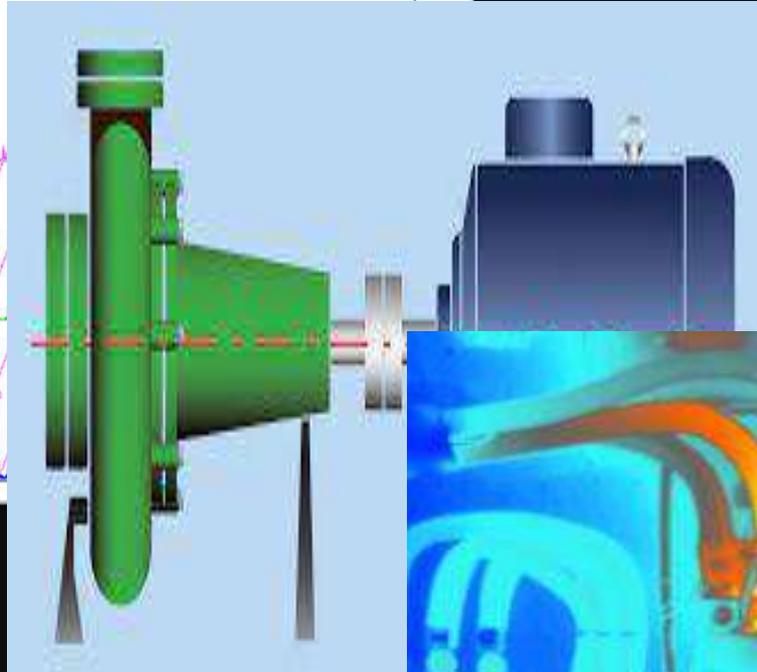
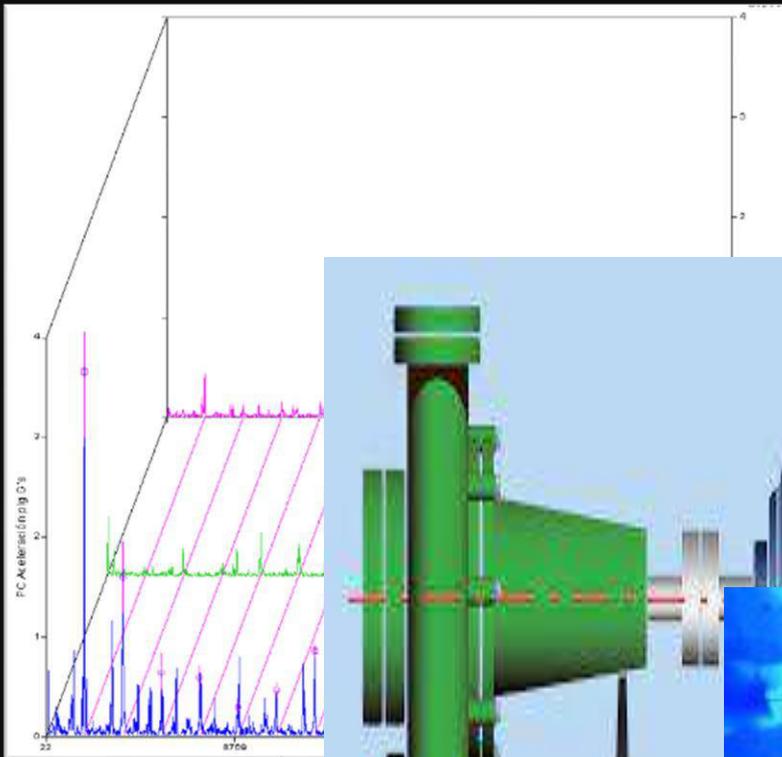
Vibro Thermography

Termografía Infrarroja Nivel I
Basada en Confiabilidad

*Actualiza tus conocimientos
y aumenta la Confiabilidad
de tu organización al
implementar un programa de
termografía basado en
Confiabilidad.*

Vibro Thermography

Cálculo de la Frecuencia de Mantenimiento Predictivo MPd



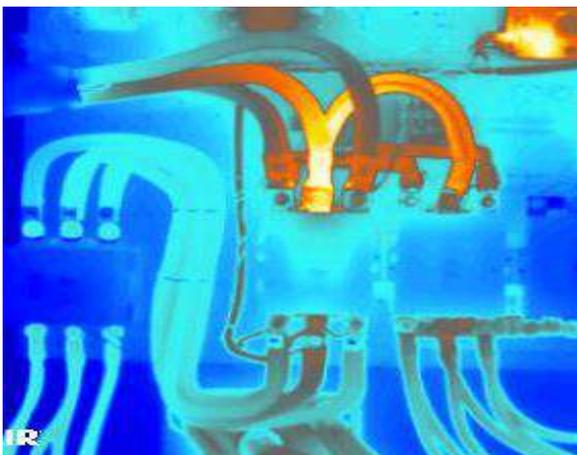
Cálculo de la Frecuencia de Mantenimiento Predictivo MPd

La determinación de la frecuencia de inspección por MPd debe estar en función de la curva P-F e historial de mantenimientos del equipo, es decir, esto involucra tener una gran cantidad de datos que en algunos casos no se tienen, así que una forma empírica para la determinación de la frecuencia optima de una técnica de mantenimiento predictivo se determina por medio de la ecuación:

$$FMPd = 1 / (FC \times FF \times FP \times FIP)$$

Esta ecuación está en función de cuatro (04) parámetros los cuales son:

- **FC = Factor de Costo**
- **FF = Factor de Falla**
- **FP = Factor de Probabilidad**
- **FI = Factor de Impacto Productivo**



FC = Factor de Costo

Se define como el costo de una inspección predictiva dividido por el costo de no detectar la falla.

$$FC = F_{Insp} / F_{ND}$$

F_{Insp} = Factor inspección

F_{ND} = Factor de no detección

El F_{Insp} es el costo de la inspección predictiva, por ejemplo, una evaluación termográfica, cuesta aproximadamente US\$ 20 (costo de personal + degradación del equipo + calibración).

El F_{ND} es el costo de no detectar la falla, por ejemplo, si no se detecta un punto caliente en un transformador, la falla de este puede dar un costo de US\$ 40000.

FF = Factor de Falla

Se define como la cantidad de modos de falla que se puede detectar entre la tasa de falla.

$$FF = CM / \lambda$$

CM = Cantidad de modo de fallo que se puede detectar con la técnica predictiva

λ = cantidad de falla por año del equipo a inspeccionar

“La unidad FC es años por inspección”

FP = Factor de Probabilidad

El FP está basado en la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Poisson con media igual a λ

$$FP = - \text{Ln} (1 - e^{-\lambda})$$

λ = cantidad de falla por año del equipo a inspeccionar

“La unidad FP es adimensional”

FIP = Factor de Impacto Productivo

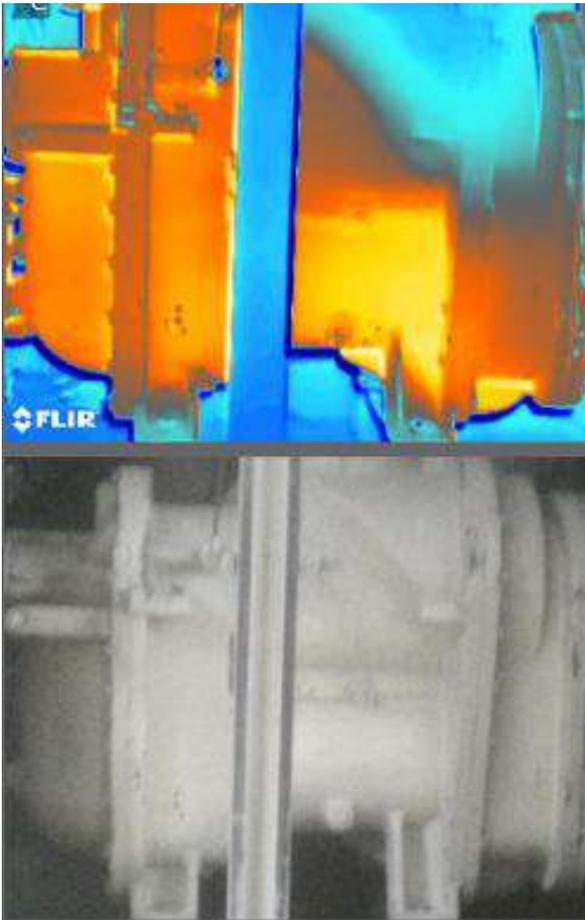
El FIP está relacionado al impacto productivo (paro de producción) que ocasionaría el equipo si sale de operación

“La unidad FIP es adimensional”

Impacto	Valor FIP
No hay Paro Producción	1.0
10% Paro Producción	0.9
20% Paro Producción	0.8
30% Paro Producción	0.7
40% Paro Producción	0.6
50% Paro Producción	0.5
60% Paro Producción	0.4
70% Paro Producción	0.3
80% Paro Producción	0.2
90% Paro Producción	0.1

Ejemplo de Cálculo de Frecuencia de Mantenimiento Predictivo MPOD

Se tiene un conjunto motor-compresor por acople directo, cuya tasa de falla es de 1 cada 4 años, el costo de inspección de vibración es US\$ 40 y el costo de no detectar la falla es de US\$ 40000, la cantidad de modos de falla que se puede detectar por vibraciones son 20 y la salida operativa del equipo no afecta la producción ya que tiene un equipo de Stand By, FIP = 1.



$$FC = F_{insp} / F_{ND}$$

$$FC = US\$ 40 / US\$ 40000 = 0,0010$$

$$FF = CM / \lambda$$

$$\lambda = 1/4 = 0,2500$$

$$FF = 20 / 0,2500 = 80 \text{ año/inspección}$$

$$FP = -Ln(1 - e^{-\lambda})$$

$$FP = 1,5087$$

$$FIP = 1 \text{ (No hay paro de producción)}$$

$$FMPd = 1 / (FC \times FF \times FP \times FIP)$$

$$FMPd = 1 / (0,0010 * 80 * 1,5087 * 1,0000)$$

$$FMPd = 8,2852 \text{ Inspecciones/Año}$$

Del ejemplo dado la Frecuencia optima de mantenimiento predictivo es de 8,2852 Inspecciones al mes, es decir una medición de vibraciones cada 45 días, sería algo adecuado, según los datos que se tienen del equipo y del cálculo realizado.

Nota: Con una inspección cada 44 días se tiene un costo por vibraciones de US\$ 165,70 al año, el cual es el 0,4143% del costo total por no detectar una falla, es decir, la inversión es rentable.

Vibro **Thermography**

*Capacítate en nuestro
próximo curso:*

***Diagnóstico de fallas de
motores eléctricos***

***Para mayor información
capacitacion@vibrothermography.com
Curso de Lubricación, Motores Eléctricos,
Vibración, Termografía, Confiabilidad***

LA LUBRICACIÓN Y SUS PELIGROS

La lubricación presenta peligros muy propios de la actividad, uno de estos, son las pistolas de grasas, pues de no ser utilizadas de manera adecuada, pueden causar graves daños. Las pistolas de engrase trabajan con altas presiones, ya que se requiere que la grasa llegue a lugares de pequeña superficie por lo que se necesita una gran presión de trabajo y esto genera un serio peligro de que se materialicen lesiones graves.

PELIGROS DE PISTOLAS DE ENGRASE

- ✓ La lesión más típica es en la mano no dominante, pero ha habido incidentes en otras extremidades, así como, en el rostro y en el abdomen.
- ✓ Muchas personas afectadas ignoran estas lesiones y con el tiempo se complican con hinchazón que afecta la extremidad.
- ✓ Se estima que del 30 al 40 por ciento de las lesiones con pistolas de engrase terminan en amputación si no se busca atención médica de inmediato.



Figura 01 – En la imagen se observa un dedo con inflamación severa, la causa fue que, al manipular la boquilla de la pistola de engrase, la grasa salió a alta presión de la pistola penetrando el dedo medio del técnico

Fuente: Safequarry

SEGURIDAD EN LA LUBRICACIÓN

- ✓ Inspeccione el equipo antes de cada uso para asegurar que está en condiciones normales y sin daño.
- ✓ Verifique que los puntos de engrase estén debidamente apretados.
- ✓ Utilice guantes adecuados al utilizar cualquier equipo con energía potencial almacenada.
- ✓ Incluso equipo de baja presión tiene el potencial de causar inyección hidráulica en el tejido.
- ✓ Tenga mucho cuidado con mangueras hidráulicas bajo presión.
- ✓ Siga los protocolos de seguridad y procedimiento lubricación de su organización
- ✓ Tenga capacitación y charlas de seguridad constante con su personal.
- ✓ Solicite a su proveedor de pistolas de lubricación manuales y precauciones de uso.

Figura 02 – Lesión en la mano por inyección de grasa
Fuente: Safequarry



Figura 02 - Un operador estaba tratando de liberar una pistola de engrase manual que se había quedado atascada con el niple de engrase de una bomba, luego de haber bombeado la pistola varias veces. Mientras sujetaba la manguera, la misma se rompió, inyectándole grasa en el dedo meñique. El operador solo sintió un pinchazo en el dedo y al vérselo notó un hueco pequeño. Al apretarlo salió aproximadamente una cucharadita de grasa. No tenía guantes puestos en el momento.

La atención médica condujo a una cirugía larga, que involucró remover una vena afectada y reemplazarla con una vena artificial. La operación fue exitosa, luego el paciente estuvo en monitoreo médico y rehabilitación.



Vibro

Thermography

Capacítate con nosotros

Vibraciones

Termografía

Lubricación

Confiabilidad

Motores eléctricos

www.vibrothermography.com