



Evaluación y análisis estadístico del funcionamiento de calderas y recipientes sometidos a presión. Una experiencia argentina.

Julio A. Gaitán, Arnoldo M. Reutemann, Claudio H. Filippa
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe,
Departamento de Ingeniería Mecánica
Lavaisse 610, Santa Fe, Santa Fe, S 3004 EWB, Argentina.
Tel. (54-342) 460-1579 / 2390 / 8585 int. 227
Fax (54-342) 469-0348
jgaitan@frsf.utn.edu.ar

Resumen

La evaluación de calderas y equipos a presión, y su integridad funcional, constituyen una necesidad insoslayable para las industrias, pues ello está íntimamente relacionado con factores muy importantes tales como, su seguridad operativa, confiabilidad, contaminación ambiental y productividad del proceso industrial. Partiendo de algunos estudios ya desarrollados y del resultado de un gran número de inspecciones realizadas en seis provincias argentinas, este Trabajo focaliza su atención en el análisis estadístico de algunos datos e indicadores inherentes al estado del citado equipamiento. Para ello se ha conformado una Base de Datos codificada, de simple utilización, destinada a gestionar la información obtenida, la que permite visualizar en una hoja de cálculo cada uno de los casos, con la finalidad del análisis sistematizado de la información extractada y su correspondiente estudio estadístico integrado. De esta forma no sólo se pueden observar en pantalla las características generales y particulares de cada equipo inspeccionado, sino también, lograr parámetros relativos a espesores medidos, coeficientes de seguridad, controles de nivel, calibrado de válvulas de seguridad y otros, de no menor importancia funcional, dentro del contexto de las calderas y recipientes sometidos a presión. Al respecto, detallando algunos resultados importantes obtenidos, puede señalarse que más del 40% de los equipos relevados son de procedencia desconocida, es decir, es imposible determinar su origen, marca y código de fabricación. Asimismo, un paradigma básico consiste en que más de un tercio de los equipos inspeccionados, no poseen válvula de seguridad por sobre presión accidental.

1. Introducción

Dado que en nuestro País no se tiene conocimiento de datos estadísticos inherentes al estado funcional de calderas y recipientes a presión, se propone, a través de una investigación metodológica, estudiar el estado operativo de una muestra de ellos, a fin de obtener un estado real de la situación que permita el análisis y planteo de políticas estratégicas a efectos de lograr, no sólo mejoras en los procesos productivos, sino también asegurar la fiabilidad de los equipos. Tomando como antecedente técnico algunos estudios preexistentes ^{(1) (2) (3)}, este Trabajo que forma parte del Proyecto RESECA, Proyecto 25/O097 de la Secretaría de Ciencia y Tecnología - Universidad

Tecnológica Nacional, se sustenta en casos reales que permiten observar diferentes patologías y situaciones operativas que se repiten con una asiduidad casi sistemática. Por otra parte, a través de la investigación llevada a cabo a lo largo de varios años, la asistencia técnica realizada a numerosas industrias y los resultados obtenidos, muchos de ellos sorprendentes y alarmantes ⁽⁴⁾, se observa que en el caso de recipientes a presión, existe una directa relación causa-efecto que parece estar relacionada con un incipiente desarrollo normativo.

2. Descripción del proceso

2.1 Base de datos

Como ya se señalara, se conformó una base de datos que incluye aproximadamente doscientos equipos de diferente procedencia. El Sistema consta de un entorno Microsoft Excel ⁽⁵⁾ de fácil e intuitiva interacción que permite la búsqueda de los distintos registros mediante el uso de botones ubicados en la parte inferior de la ficha correspondiente, con las opciones de grabar y/o imprimir la información registrada, como así también crear un nuevo registro. De este Registro General, en el que se encuentra la nómina de todos los casos relevados incluidos en la base de datos, se puede en forma sencilla, obtener las características básicas de cada uno de ellos, como se indica en Figura 1, donde se observa la primera pantalla del citado Registro con un detalle de los equipos 001 al 028.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Equipo	Industria	Capacidad térmica o volumen	Presión de trabajo	Edad	Marca	Ubicación	Tipo de fluido	Combustible
1									
2	001 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	19 m ²	500 kPa	desconocida	Arrigoni	Santa Fe	vapor saturado	aceite
3	002 - Caldera humotubular 2 PH	de procesos	10 m ²	500 kPa	desconocida	Peña	Santa Fe	vapor saturado	gas-oil
4	003 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	93m ²	880kPa	32 años	Mellor Goodwin	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
5	004 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	100m ²	800kPa	desconocida	Gonella	Santa Fe	vapor saturado	gas natural
6	005 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	200m ²	1000kPa	15 años	Salcor Caren	Santa Fe	vapor saturado	gas natural
7	006 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	15m ²	600kPa	desconocida	desconocida	Santa Fe	vapor saturado	leña
8	007 - Caldera acuotubular	alimenticia	160m ²	1100kPa	34 años	Mellor Goodwin	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
9	008 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	30m ²	600kPa	31 años	Fontanet	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
10	009 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	45m ²	700kPa	desconocida	Gonella	Santa Fe	vapor saturado	leña
11	010 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	35m ²	500kPa	desconocida	Gonella	S. del Estero	vapor saturado	leña
12	011 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	30m ²	600kPa	31 años	Fontanet	Santa Fe	vapor saturado	leña
13	012 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	125m ²	1.080kPa	27 años	Caren Walther	B. Aires	vapor saturado	gas natural
14	013 - Caldera humotubular 2 PH 1R	alimenticia	30m ²	600kPa	31 años	Fontanet	Santa Fe	vapor saturado	leña
15	014 - Caldera acuotubular	alimenticia	660m ²	3.200kPa	20 años	Caren	Santa Fe	vapor saturado	gas / fuel oil
16	015 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	30m ²	700kPa	28 años	desconocida	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
17	016 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	65m ²	860kPa	31 años	Caren	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
18	017 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	10m ²	700kPa	30 años	Peña	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
19	018 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	10m ²	700kPa	30 años	Peña	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
20	019 - Caldera acuotubular	alimenticia	100m ²	800kPa	30 años	Fab. Arg. Cal.	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
21	020 - Caldera humotubular 2 PH	de procesos	25m ²	600kPa	31 años	Fontanet	Santa Fe	vapor saturado	aceite
22	021 - Recipiente cilindrico - Tanque	alimenticia	0,45m ³	1.200kPa	1 año	desconocida	Santa Fe	amoníaco	
23	022 - Recipiente cilindrico - Separ.	alimenticia	0,014m ³	1.600kPa	1 año	Gram	Santa Fe	aceite y amon.	
24	023 - Recipiente cilindrico - Tanque	alimenticia	2,43m ³	1.200kPa	1 año	Gram	Santa Fe	amoníaco	
25	024 - Recipiente cilindrico - Inter.	alimenticia	0,27m ³	2.200kPa	1 año	Gram	Santa Fe	amoníaco	
26	025 - Recipiente cilindrico - Inter.	alimenticia	0,27m ³	2.200kPa	1 año	Gram	Santa Fe	amoníaco	
27	026 - Caldera humotubular 3 PH 1R	alimenticia	65m ²	800kPa	32 años	Caren	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
28	027 - Caldera humotubular 2 PH 2R	alimenticia	30m ²	500kPa	33 años	Fontanet	Santa Fe	vapor saturado	leña
29	028 - Caldera humotubular 2 PH	alimenticia	50m ²	700kPa	desconocida	Gonella	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
30	029 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	100m ²	900kPa	30 años	Gonella	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30

Figura 1. Registro General

Una ventaja adicional del mismo consiste en el filtrado de la información contenida.

2.2 Análisis del equipo

Como puede observarse en Figura 2, en una sola pantalla se denotan todos los datos del equipo analizado. En la parte superior, sus características básicas, es decir, clase, tipo de industria, capacidad térmica o volumétrica, presión de trabajo, edad, marca de fábrica, en qué Provincia se halla ubicado, tipo de fluido que contiene y combustible utilizado, si correspondiere.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Equipo	Industria	Capacidad térmica o volumen	Presión de trabajo	Edad	Marca	Ubicación	Tipo de fluido	Combustible
2	077 - Caldera humotubular 3 PH	alimenticia	125m ³	900kPa	29 años	Salcor	Santa Fe	vapor saturado	fuel-oil 70/30
3									
4									
5									
6									
7	ANÁLISIS SITUACIONAL								
8		diámetro	mínimo espesor medido	espesor de cálculo	coeficiente de seguridad	cantidad			
9	Componente/ Instrumento								
10	CUERPO CILINDRICO	2.295mm	17,70mm	17,27mm	2%				
11	HOGAR LISO								
12	HOGAR CORRUGADO	875mm	11,91mm	8,14mm	32%				
13	PLACA TUBULAR ANTERIOR	2.295mm	13,30mm	21,54mm	menos 62%				
14	PLACA TUBULAR POSTERIOR	2.295mm	22,85mm	20,91mm	9%				
15	CABEZAL ANTERIOR / SUPERIOR								
16	CABEZAL POSTERIOR / INFERIOR								
17	VALVULAS DE SEGURIDAD	83mm							dos
18	VALVULAS CALIBRADAS	NO							
19	INDICADORES DE NIVEL	9,5mm							dos
20	CONTROL MAGNETICO DE NIVEL	19mm							uno
21	CONTROL CONDUCTIVO DE NIVEL	19mm							uno
22	MANOMETROS	19mm							uno
23	BOMBAS DE AGUA	51mm x 51mm							dos
24	INYECTOR	NO							
25	PRESOSTATO a 900kPa	13mm							uno
26	PRESURETROL diferencial 100kPa	13mm							uno
27	TERMOMETRO	NO							
28	TAPON FUSIBLE	25mm							uno
29	CONCLUSIONES								
30	EQUIPO REGISTRADO	NO							
31									
32	ESTADO FUNCIONAL	muy bueno							
33		bueno							
34		regular							
35		malo							
36	SE DISMINUYO PRESION	retiró servicio							
37									

Figura 2. Principales características del equipo 077.

Se indican a continuación, los parámetros funcionales observados en el momento de la inspección y los resultados obtenidos, a saber, espesores medidos en el cuerpo cilíndrico, hogar, placas tubulares, y sus respectivos coeficientes de seguridad calculados a partir de ellos, como así también el equipamiento auxiliar e instrumentos de seguridad y control. En la parte inferior de la ficha, mediante una valoración de tipo cualitativa, se encuentran las conclusiones derivadas de la inspección y/o auditoría solicitada, y si fuese necesario, la correspondiente disminución de la presión de trabajo y el eventual retiro de servicio del equipo ensayado. Una fortaleza evidente de esta sistematización, es que asegura la privacidad de los casos analizados, como asimismo su tratamiento estadístico integral a efectos de posibilitar el establecimiento de correlaciones funcionales, que signifiquen un aporte importante al estudio y diagnóstico de la confiabilidad de los equipos sometidos a presión y calderas, con la finalidad de consolidar la masa de información en marcos formales.

3. Análisis estadístico

3.1 Conformación de la muestra

En lo referido al tipo de industria y equipamiento considerado, y a efectos de su mejor comprensión y alcance, se detallan en Figura 3 y Figura 4, la composición del modelo estudiado.

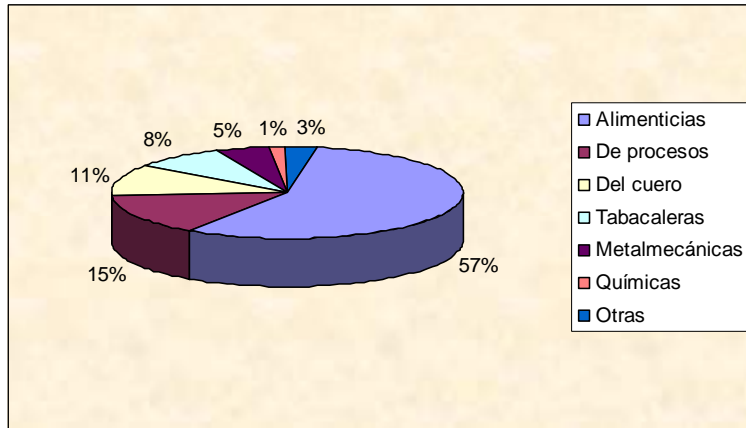


Figura 3. Distribución por industrias.

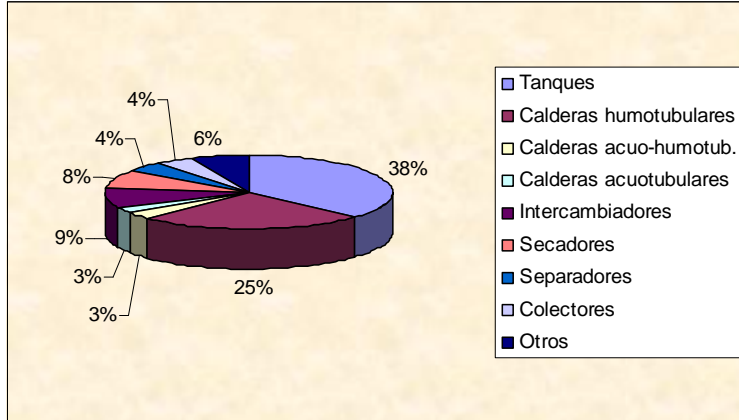


Figura 4. Equipos a presión.

3.2 Distribución por presiones y edades

Teniendo en cuenta las presiones de operación, el equipamiento analizado puede agruparse de la siguiente manera:

- menores de 500kPa → 24.2%
- 500kPa hasta 1000kPa → 55.4%
- 1000kPa hasta 2000kPa → 18.5%
- mayores de 2000kPa → 1.9%

En la Figura 5, puede observarse la configuración por edades, resaltándose notoriamente que más de la mitad de los equipos son de edad desconocida.

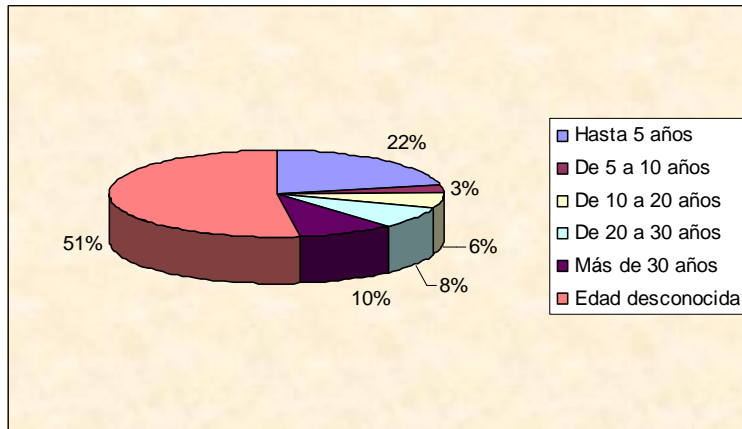


Figura 5. Distribución por edades.

4. Seguridad y fiabilidad

4.1 Coeficientes de seguridad

Una parte importante de este estudio, lo constituye la comparación de los mínimos espesores de pared medidos por método ultrasónico en estos equipos a presión, respecto al cálculo formal mediante la aplicación de criterios de diseño basados en un código internacional. De esta forma, para el caso de cuerpos cilíndricos de calderas, hogares, placas tubulares, cabezales de tanque y recipientes a presión esféricos, se determina el correspondiente coeficiente de seguridad. Los datos globales obtenidos, se indican en el diagrama de Figura 6.

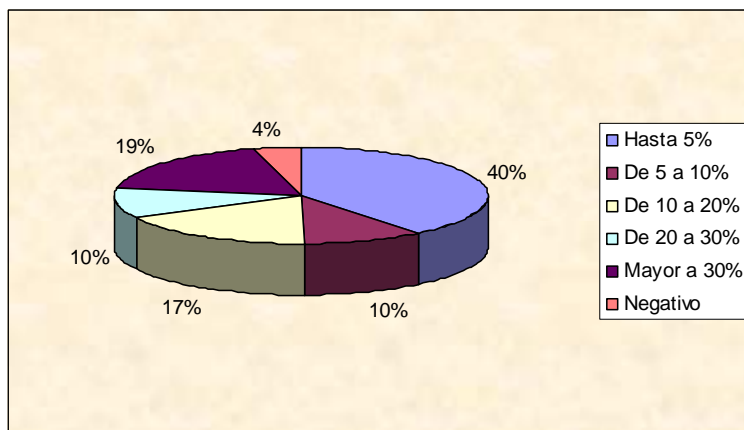


Figura 6. Coeficientes de seguridad.

Se destaca que casi la mitad del equipamiento muestreado, presenta espesores de pared con un coeficiente menor al cinco por ciento y en algunos casos negativos, lo que implica que muchos de ellos no deberían estar en servicio.

4.2 Fiabilidad operativa

Se estima que la mayor sorpresa obtenida a partir del análisis estadístico y resultados obtenidos, lo constituye el rubro manómetros y válvulas de seguridad. Respecto a éstas, se denota que el 36% de los equipos estaban operando sin sus correspondientes válvulas de alivio por sobre presión. Asimismo, aproximadamente un cuarenta por ciento de los mismos funcionaban con sus válvulas descalibradas, como se indica en Figura 7. También se señala que la totalidad de los recipientes que contienen amoníaco, 15% de la muestra, ventean sus válvulas de seguridad al medio ambiente, lo que entraña un total desconocimiento de las normativas de higiene y seguridad industrial en vigencia, y reglamentaciones de protección al medio ambiente.

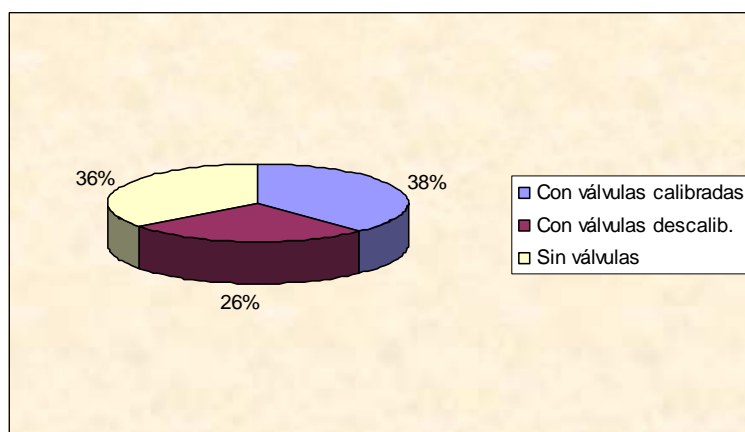


Figura 7. Válvulas de seguridad.

En el diagrama de Figura 8, se observa la distribución porcentual en función del estado operativo de los manómetros. Se aprecia que el sesenta por ciento del equipamiento no tenía montado este instrumento de control o su funcionamiento era defectuoso.

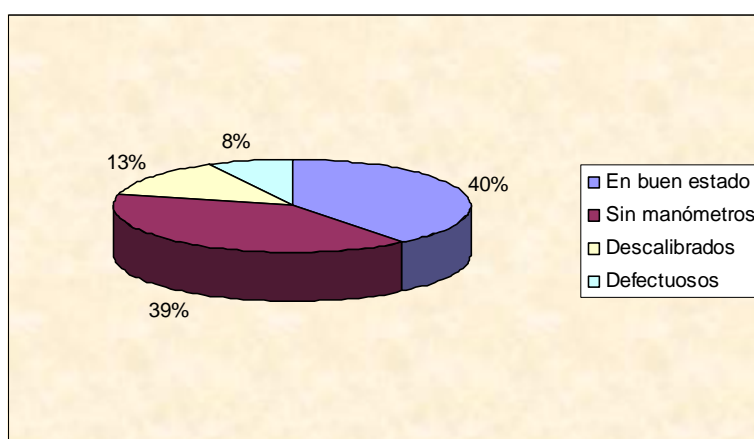


Figura 8. Manómetros.

Respecto a seguridad y fiabilidad, puede agregarse que aproximadamente el setenta por ciento de la muestra analizada no posee presostato de control.

5. Conclusiones

Si bien el presente estudio fue realizado sobre una muestra aleatoria de equipos a presión ubicados en seis provincias de la República Argentina, se estima se trata de una realidad tangible extensible a todo el territorio de nuestro País. No debe pasarse por alto el hecho de que los equipos inspeccionados, lo fueron a solicitud de las respectivas empresas, desconociéndose el estado real en que se encuentran aquellos ubicados en industrias que no solicitan el asesoramiento de profesionales especializados en el tema. La importancia en el ámbito de la actividad industrial respecto a los resultados obtenidos en esta evaluación y análisis, radica en que permite la disposición y utilización práctica de una importante masa de conocimientos en un área muy crítica como es la de "calderas y recipientes sometidos a presión". Constituye asimismo, un aporte de relevancia inherente al desarrollo socioeconómico de nuestra sociedad con el objeto de minimizar los riesgos causados por derrames y contaminación ambiental, a efectos de proteger y preservar el presente y futuro de la población, la que por ende se constituye en destinataria directa del estudio.

Referencias

1. P. Bórtoli y J. Gaitán, © "Análisis de falla de materiales en la industria de procesos", Software Argentino Patente 212.928, Septiembre 2002.
2. P. Brambilla, "Inspeção de caldeiras", ISQI, pp. 1-168, Brasil, Mayo 1998.
3. J. Gaitán y C. Gaitán, "Diagnóstico metodológico y análisis estadístico del estado funcional de calderas y equipos a presión", CAIP'2005 Proceedings, pp 185-188, Portugal, Septiembre 2005.
4. J. Gaitán, "Inspección, estudio y diagnóstico de falla en la cámara de retorno de una caldera leñera", III Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica Proceedings, pp 132-136, Cuba, Noviembre 2004.
5. Microsoft Excel ®, Software Microsoft, 1998.