

**APROXIMACION AL ESTUDIO DEL RIESGO
DEL BLEVE Y SUS EFECTOS EN LOS
GENERADORES MARINOS DE VAPOR Y LOS
TANQUES DE CARGA DE LOS BUQUES LNG-
LPG. APLICACION COMPARATIVA DE LAS
NORMAS QUE LO REGULAN Y PREVIENEN.**

Autor: German de Melo Rodriguez
Director: Emilio Eguia López

Barcelona, mayo de 1994

A mi Esposa e Hijos, por su
comprensión e inestimable
ayuda.

AGRADECIMIENTOS

-Al **Dr. D. Emilio Eguia López**, por dirigirme esta Tesis, ayudarme y aconsejarme durante el largo tiempo de su elaboración.

-A **todos mis amigos y compañeros**, -que no enumero para no olvidar a ninguno- y, que, creyendo en mi, me han aconsejado, animado y ayudado, durante todo este tiempo.

INDICE

Pág.

1.-	Introducción.	
1.1.-	Antecedentes.	1
1.2.-	Objetivo general.	4
2.-	Estado actual de los conocimientos.	
2.1.-	Explosión de los vapores que se expanden al hervir un líquido (BLEVE -Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion-).	9
2.2.-	Condiciones necesarias para que se produzca el fenómeno "BLEVE".	
2.2.1.-	líquidos sobrecalentados y gases licuados.	
	Teoría de los líquidos sobrecalentados.	12
2.2.2.-	Descenso brusco de la presión.	19
2.2.2.1.-	Influencia de las válvulas de alivio o de seguridad y de los discos de ruptura en los BLEVES.	23
2.2.3.-	Creación de la nucleación espontánea por sobrecalentamiento de líquidos.	27
2.2.3.1.-	Teoría de la nucleación (homogénea).	

2.2.3.1.1.-Límite termodinámico de sobrecalentamiento.	31
2.2.3.1.2.- Límite cinético de sobrecalentamiento.	37
2.3.- Mecanismo de la explosión de vapor con agua.	
2.3.1.- Determinación del volumen de agua vaporizado.	56
2.3.2.- Experiencias y procedimientos realizados.	61
2.4.- Estudio y cálculo de la línea límite de sobrecalentamiento.	
2.4.1.- Fundamentos teóricos.	69
2.4.2.- Ecuación de Antoine.	
2.4.2.1.- Curvas de presión de vapor.	73
2.4.3.- Cálculo de la tangente en el punto crítico (línea límite de sobrecalentamiento).	75
2.5.- La prevención de las explosiones "BLEVE".	
2.5.1.- Sistemas de prevención de las explosiones "BLEVE".	77
2.5.2.- Técnicas preventivas.	
2.5.2.1.- Sistemas pasivos.	80
2.5.2.1.1.- Distancia mínima de separación.	80
2.5.2.1.2.- Contención y	

	disposición derrames.	83
2.5.2.1.3.-	Aislamiento y protección de estructuras.	89
2.5.2.1.4.-	Aptitud del buque para conservar la flotabilidad.	93
2.5.2.2.-	Sistemas activos.	109
2.5.2.2.1.-	Despresurización de emergencia (evacuación rápida del líquido).	109
2.5.2.2.2.-	Limitación del flujo de calor incidente.	111
2.5.2.2.3.-	Actuación sobre los mecanismos iniciadores.	129
2.5.2.2.4.-	Diseño correcto de la válvula de seguridad y discos de ruptura.	129
2.5.2.2.5.-	Introducción de mallas que retardan la aparición del BLEVE.	131

2.5.2.2.6.- Adicción al fluido de
núcleos iniciadores
de la ebullición. 133

2.6.- Las explosiones "BLEVE" en Cisternas transportadas
por carretera.

2.6.1.- Accidente de los Alfaques (Tarragona). 134

2.7.- Las explosiones BLEVE en instalaciones terrestres.

2.7.1.- Accidente de San Juaníco en México. 145

2.7.2.- Accidente de la refinería de Feyzin,
Francia. 148

2.8.- Explosiones "BLEVE" en transporte marítimo.

2.8.1.- En buques de transporte de gases licuados.151

2.8.2.- En calderas marinas.

2.8.2.1.- Explosión de la caldera de vapor
del S/S Kingswood's. 152

2.8.2.2.- Explosión de la caldera del S/S
Rifleman. 154

2.9.- Bases de datos sobre accidentes de BLEVE.

2.9.1.- IMO.	156
2.9.2.- Mhidas.	158
2.9.3.- Lloyd's Register of Shipping.	159
2.9.4.- Facts.	160
2.9.5.- Sonata.	161
3.- Objetivos.	162
4.- Metodología.	
4.1.- Medios utilizados.	
4.1.1.- Programa de cálculo.	166
4.1.2.- Buque tipo de transporte de gases licuados.	167
4.1.3.- Caldera tipo marina.	174
4.1.4.- Reglas del Lloyd's Register of Shipping para la construcción de calderas de vapor.	186
4.1.5.- Código IMO para la construcción y el equipo de buques que transportan gases licuados.	187
4.2.- Plan de cálculo.	
4.2.1.- Riesgos de colisión de un buque de transporte de gases licuados, y determinación de los daños en la estructura del mismo.	188

4.2.2.- Incendio en las inmediaciones del buque y efecto del fuego sobre el casco, y el aislamiento del tanque.	201
4.2.3.- Cálculo del aumento de la temperatura de los cascos del buque, y del calor cedido a la carga.	210
4.2.4.- Volumen máximo de gas licuado a transportar.	225
4.2.5.- Cálculo del aumento de la presión del tanque como consecuencia del calor comunicado a la carga.	227
4.2.6.- Cálculo del diámetro de la bola de fuego.	233
4.2.7.- Cálculo del tiempo de la bola de fuego.	238
4.2.8.- Cálculo de la altura de la bola de fuego.	240
4.2.9.- Radiación térmica.	
4.2.9.1.- Poder emisivo de la superficie de la llama.	241
4.2.10.- Incendio en las cámaras de máquinas y/o calderas.	245
4.2.11.- Casuística de accidentes en las calderas marinas.	
4.2.11.1.- Corrosión en calderas: lado agua.	253
4.2.11.2.- Corrosión en las calderas: lado tubo.	256

4.2.11.3.- Incrustaciones y fangos.	258
4.2.11.2.- Grietas por corrosión en colectores.	259
4.2.12.- Cálculo de la energía en TNT desarrollada por una explosión de vapor.	260
5.- Resultados.	
5.1.- Análisis de la posibilidad de la expansión explosiva del vapor de un líquido hirviendo, en los buques de transporte de LNG-LPG.	262
5.2.- Análisis de la posibilidad de expansión explosiva del vapor de un líquido hirviendo en calderas marinas.	
5.2.1.- Análisis de los parámetros de funcionamiento de las válvulas de seguridad impuestos por las Sociedades de Clasificación para las calderas marinas, y comportamiento en el caso de una expansión explosiva del vapor de un líquido hirviendo.	267
5.3.- Efectos producidos en el entorno por una expansión explosiva del vapor de un líquido hirviendo.	
5.3.1.- Caso de producirse en un buque de transporte gas licuado, navegando,	

fondeado o en puerto.

6.- Discusión.

6.1.- Influencia de los elementos de seguridad para evitar una expansión explosiva del vapor de un líquido hirviendo. 278

6.2.- Análisis de las normas de construcción y equipamiento de un buque de transporte de gases licuados de la IMO. 282

7.- Conclusiones. 286

8.- Bibliografía.

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXO 3

ANEXO 4

ANEXO 5

ANEXO 6

ANEXO 7

ANEXO 8

ANEXO 9

Diagramas de propiedades de los gases licuados.