



TESIS DOCTORAL

**VALORACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN DE GASES EN
INDUSTRIAS VINÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE BADAJOZ**

CARMEN VICTORIA ROJAS MORENO

BADAJOZ

2015



TESIS DOCTORAL

**VALORACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN DE GASES EN
INDUSTRIAS VINÍCOLAS DE LA PROVINCIA DE BADAJOZ**

CARMEN VICTORIA ROJAS MORENO

**Departamento de Ingeniería Mecánica,
Energética y de los Materiales**

Conformidad de los Directoras:

Fdo.: María Teresa MirandaGarcía-Cuevas

Fdo.: Irene Montero Puertas

A mi padre

Nada humano me es ajeno.

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero manifestar mi más sincero agradecimiento a mis dos directoras, las doctoras Teresa Miranda e Irene Montero, por su inestimable ayuda, no sólo durante la realización de este trabajo sino en todo lo que ha supuesto esta andadura profesional, inesperada y desconocida para mí.

Muchas gracias por vuestro apoyo, comprensión y paciencia, pero especialmente por todo aquello que nos une más allá del terreno profesional.

A mis compañeros de Departamento, Nacho, Sergio y en concreto a Francisco Sepúlveda, sin cuya colaboración este trabajo, posiblemente, no hubiera llegado a concluir.

A todos los profesionales de la Seguridad y Salud, y empresas del sector vinícola, que han contribuido de forma desinteresada en este trabajo, y en particular, a todos aquellos que de alguna manera, estuvieron a mi lado en los momentos de inseguridad, angustia, ansiedad y cansancio.

Finalmente, a toda mi familia, que ha sufrido conmigo durante estos años difíciles e interminables, con todos ellos quiero disculparme por el tiempo del que les he privado durante la realización de este trabajo.

Y en especial a mis sobrinas, Mencía y Coral, por ser la alegría de mi vida y por sacar lo mejor de mí, incluso lo que no sabía que podía dar.

ABSTRACT

The objective of this study is the evaluation of the risk of inhalation of gases in wine industries of the province of Badajoz.

It is part of the information obtained through direct observation in different industries, along with surveys and personal interviews with workers. This study provides us with guidance on possible exposures to these risks during the implementation of the various production processes carried out in the wine industry.

This leads us to focus work on the assessment of the levels of gases while performing certain tasks or certain areas of the plant or equipment to which workers have access for production reasons. These gases generated by the fermentation of the must used to make wine, represent the largest existing health risk not only for the consequences that may result from exposure but also because it is difficult to detect if it does not have the necessary equipment.

The results obtained in this study show the assessment of inhalation exposure to the gases generated in the possible existing situations, including apparently no problem for the safety and health of the workers and those who have traditionally been considered the most problematic in this respect, proposing in cases that require corrective or preventive action to improve working conditions in the wine sector measures.

Key-words:

Assessment, gas, inhalation, elaboration, wine.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio consiste en la valoración del riesgo por inhalación de gases en industrias vinícolas de la provincia de Badajoz.

Se parte de la información obtenida mediante la observación directa en diferentes industrias, junto con las encuestas y entrevistas personales realizadas a los trabajadores de las mismas. Estas nos orientan sobre las posibles exposiciones a estos riesgos durante la realización de las diferentes fases del proceso productivo llevado a cabo en las industrias vinícolas.

Esto nos lleva a centrar el trabajo en la valoración de los niveles de gases existentes durante la realización de determinadas tareas o determinadas zonas de las instalaciones o equipos a las que acceden los trabajadores por razones de producción. Estos gases generados por la propia fermentación del mosto para dar lugar al vino, representan el mayor riesgo higiénico existente, no solo por las consecuencias que pueden derivarse de su exposición sino por la dificultad para detectarlos si no se dispone de los equipos necesarios.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran la valoración de la exposición por inhalación a los gases generados en las posibles exposiciones existentes incluyendo entre ellas las que aparentemente no representan ningún problema para la seguridad y salud de los trabajadores y aquellas que tradicionalmente se han considerado las más problemáticas en este sentido, proponiendo en los casos que lo requieran medidas correctoras o preventivas para la mejora de las condiciones de trabajo en las industrias del sector vinícola.

Palabras clave:

Valoración, gases, inhalación, elaboración, vino.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	15
1.1	Generalidades.....	15
1.2	Objetivos del trabajo	19
2.	ANÁLISIS DEL SECTOR.....	21
2.1	Importancia del vino en la historia.....	21
2.2	Evolución del mercado mundial y europeo del vino en los últimos años	22
2.3	Evolución del mercado español del vino en los últimos años	26
2.4	El vino en Extremadura en los últimos años.....	28
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL VINO. INSTALACIONES, MAQUINARIA Y EQUIPOS	33
3.1	Descripción general del proceso productivo	33
3.2	Procesos de vinificación.....	34
3.2.1	Control de la maduración en campo.....	34
3.2.2	Vendimia	34
3.2.3	Recepción en bodega y toma de muestras	34
3.2.4	Tratamiento mecánico de la vendimia y corrección.....	35
3.2.5	Encubado	36
3.2.6	Fermentación alcohólica	36
3.2.6.1	Fermentación alcohólica en tintos.....	37
3.2.6.2	Fermentación alcohólica en blancos	38
3.2.6.3	Fermentación alcohólica en rosados	39
3.2.6.4	Tareas auxiliares durante el proceso de fermentación alcohólica	39
3.2.7	Descube	40
3.2.8	Fermentación maloláctica	40
3.2.9	Prensados	41
3.2.10	Trasiegos.....	41
3.2.11	Clarificación y filtrado	42
3.2.12	Depósitos de envejecimiento	42
3.2.13	Crianza	42
3.2.14	Embotellado.....	43
3.3	Esquemas de elaboración.....	43

3.4	Descripción de instalaciones, maquinaria y equipos	44
3.4.1	Descripción general de las instalaciones	44
3.4.2	Elementos y equipos empleados en el proceso de vinificación	45
3.4.3	Tolvas de recepción.....	45
3.4.4	Estrujadoras.....	46
3.4.5	Despalladoras o desgranadoras	48
3.4.6	Evacuadores de raspones	49
3.4.7	Escurridores.....	49
3.4.8	Prensas.....	50
3.4.9	Transporte de la vendimia.....	52
3.4.10	Dosificadores de sulfuroso.....	53
3.4.11	Extracción y almacenamiento de orujo.....	54
3.4.12	Elementos y equipos de fermentación y almacenamiento	54
3.4.13	Imágenes de máquinas y equipos	56
4.	MÉTODOS DE VALORACIÓN CUANTITATIVA DE AGENTES QUÍMICOS.....	61
4.1	Introducción	61
4.1.1	Valoración cualitativa de agentes químicos por inhalación.....	62
4.1.2	Valoración cuantitativa de agentes químicos por inhalación	64
4.1.2.1	Criterios generales	67
4.1.2.2	Procedimiento de evaluación cuantitativa.....	72
4.1.2.3	Valoración de la exposición por comparación con los valores límite.....	75
4.1.2.4	Valoración de la exposición para mezcla de compuestos.....	81
4.1.2.5	Valoración de la exposición semanal	81
4.1.2.6	Índice de exposición de la sustancia. Interpretación de resultados.....	82
4.1.2.7	Tipos de muestreo. Estrategias de medición de agentes químicos	84
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	101
5.1	Introducción	101
5.2	Materiales seleccionados	101
5.2.1	Justificación de los riesgos analizados	101
5.2.2	Selección de la muestra de estudio.....	102
5.2.2.1	Tipología A.....	105
5.2.2.2	Tipología B.....	106
5.2.2.3	Tipología C.....	107
5.2.2.4	Tipología D	108
5.2.2.5	Tipología E.....	109
5.2.3	Selección del sistema de toma de muestras	114
5.2.4	Selección de los puntos de medición.....	114
5.2.5	Selección del periodo de muestreo y tiempo de muestreo.....	114
5.2.6	Equipos utilizados para la valoración de los riesgos seleccionados.....	115

5.3	Métodos utilizados	116
5.3.1	Procedimiento de evaluación cuantitativa.....	117
5.3.1.1	Introducción.....	117
5.3.1.2	Datos sobre los agentes químicos.....	118
5.3.1.3	Identificación de factores de exposición y procedimiento de medición	120
5.3.1.4	Selección de la estrategia de medición	121
5.3.2	Análisis general de la situación mediante la valoración de la exposición instantánea en la jornada de trabajo.....	121
5.3.3	Análisis de jornadas completas de trabajo y comparación con los valores límite de exposición.....	123
5.3.4	Análisis de tareas	127
5.3.4.1	Tareas más características en los procesos de elaboración de los vinos.....	127
5.3.4.2	Metodología.....	130
5.3.5	Diseño de medidas correctoras.....	131
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	133
6.1	Introducción	133
6.2	Análisis general de la situación mediante la valoración de la exposición instantánea en distintas jornadas de trabajo.....	133
6.2.1	Tipología A	134
6.2.2	Tipología B.....	135
6.2.3	Tipología C.....	137
6.2.4	Tipología D.....	139
6.2.5	Tipología E.....	140
6.3	Análisis de jornadas completas de trabajo y comparación con los valores límite de exposición .	141
6.3.1	Comparación con los valores límite de exposición diaria.....	142
6.3.1.1	Análisis de probabilidad	145
6.3.2	Comparación con los valores límite de corta duración.....	146
6.4	Análisis de las tareas.....	155
6.4.1	Tareas características en la elaboración de vino tinto	155
6.4.1.1	Descube de depósitos de maceración	156
6.4.1.2	Descube y limpieza de depósitos subterráneos	157
6.4.1.3	Limpieza de depósitos de maceración.....	162
6.4.1.4	Limpieza de depósitos subterráneos	173
6.4.1.5	Descube y limpieza de depósitos autovaciantes	177
6.4.2	Tareas características en la elaboración de vino blanco.....	183
6.4.2.1	Limpieza de depósitos de almacenamiento de diferentes capacidades.....	185
6.4.2.2	Limpieza de depósitos de almacenamiento con la misma capacidad y diferentes tiempos de ventilación.....	188
6.4.2.3	Limpieza de depósitos de almacenamiento con la misma ventilación y diferentes capacidades	189
6.4.3	Tarea característica en la elaboración de mosto.....	191

6.4.4	Tareas auxiliares en las proximidades a bocas de depósito.....	192
6.4.4.1	Incorporación de SO ₂	193
6.4.4.2	Control de ciclo de remontado.....	194
6.4.4.3	Otros controles del proceso.....	195
6.4.5	Tareas de puesta a punto y reparación de equipos.....	196
6.5	Propuesta de medidas correctoras.....	198
6.5.1	Medidas generales.....	198
6.5.2	Medidas específicas.....	199
6.5.2.1	Medidas preventivas en la elaboración de vino tinto.....	199
6.5.2.2	Medidas preventivas en la elaboración de vino blanco.....	201
6.5.2.3	Medidas preventivas en la elaboración de mosto.....	201
6.5.2.4	Medidas preventivas para las tareas auxiliares en las proximidades a bocas de depósito.....	202
6.5.2.5	Medidas preventivas para las tareas de puesta a punto y reparación de equipos.....	202
7.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	205
7.1	Conclusiones del análisis de la jornada laboral en una bodega.....	205
7.2	Conclusiones del análisis de las tareas.....	207
7.2.1	Conclusiones de las tareas características en la elaboración de vino tinto.....	208
7.2.2	Conclusiones de las tareas características en la elaboración de vino blanco.....	209
7.2.3	Conclusiones de la tarea característica en la elaboración de mosto.....	210
7.2.4	Conclusiones de otras tareas del proceso de elaboración de los distintos vinos en el periodo central de campaña.....	210
7.3	Líneas futuras de investigación.....	211
8.	CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH.....	213
8.1	Conclusions about the work day analysis in a cellar.....	213
8.2	Conclusions about the task analysis.....	215
8.2.1	Conclusions about the red wine production tasks.....	215
8.2.2	Conclusions about the white wine production tasks.....	217
8.2.3	Conclusions about the must production tasks.....	217
8.2.4	Conclusions about the other tasks associated with the production of different wines during the central timeframe of the campaign.....	218
8.3	Future research.....	218
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Principales vendedores de vino a nivel mundial.....	25
Figura 2.2. Superficies de viñedo respecto a la superficie geográfica provincial.....	28
Figura 3.1. Procesos de vinificación.....	44
Figura 3.2. Equipos de la zona de recepción y descarga.....	56
Figura 3.3. Equipos de la zona de procesado.....	57
Figura 3.4. Equipos de la zona de fermentación y almacenamiento (I).....	58
Figura 3.5. Equipos de la zona de fermentación y almacenamiento (II).....	59
Figura 3.6. Equipos de la zona de crianza y envasado.....	59
Figura 4.1. Desviación estándar geométrica en función de la probabilidad.....	70
Figura 4.2. Diagrama del procedimiento de evaluación cuantitativa.....	72
Figura 4.3. Diagrama de flujo para la prevención de riesgos relacionados con agentes químicos.....	83
Figura 4.4. Tipos de muestreo.....	84
Figura 4.5. Valor más probable de la media.....	89
Figura 4.6. Valor del límite superior del intervalo.....	90
Figura 4.7. Valor del límite inferior del intervalo.....	90
Figura 4.8. Procedimiento de evaluación cuantitativa de exposición por comparación con el VLA-EC.....	92
Figura 5.1. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de vino tinto.....	103
Figura 5.2. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de vino blanco.....	103
Figura 5.3. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de vino rosado.....	104
Figura 5.4. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de mosto.....	104
Figura 5.5. Distribución en planta de Tipología A.....	106
Figura 5.6. Distribución en planta de Tipología B.....	107
Figura 5.7. Distribución en planta de Tipología C.....	108
Figura 5.8. Distribución en planta de Tipología D.....	109
Figura 5.9. Distribución en planta de Tipología E.....	110
Figura 5.10. Procedimiento de evaluación cuantitativa de exposición agentes químicos por inhalación.....	118
Figura 6.1. Niveles de O ₂ , CO ₂ y SH ₂ en la jornada completa 1 (izq.) y 6 (dcha.) de la Tipología A.....	134
Figura 6.2. Niveles de O ₂ , CO ₂ y SH ₂ en una jornada completa de la Tipología B.....	136
Figura 6.3. Niveles de SO ₂ de la jornada completa 2 de la Tipología B.....	137

Figura 6.4. Niveles de O ₂ , CO ₂ y SH ₂ en una jornada completa de la Tipología C.....	138
Figura 6.5. Niveles de O ₂ y CO ₂ en una jornada completa de la Tipología D.	139
Figura 6.6. Niveles de SH ₂ en la jornada completa 4 de la Tipología D.	140
Figura 6.7. Niveles de O ₂ en una jornada completa de la Tipología E.....	140
Figura 6.8. Niveles de CO ₂ y SH ₂ en una jornada completa de la Tipología E.....	141
Figura 6.9. Concentración media diaria de CO ₂	142
Figura 6.10. Concentración media diaria de SO ₂	143
Figura 6.11. Concentración media diaria de SH ₂	144
Figura 6.12. Gráfico de identificación de períodos de máxima exposición para el CO ₂ en la Jornada 1.....	147
Figura 6.13. Periodos de mayor intensidad de presencia de CO ₂ en Jornada 1.	148
Figura 6.14. Gráfico de identificación de períodos de máxima exposición para el SH ₂ en la Jornada 1.	149
Figura 6.15. Gráfico de identificación de períodos de máxima exposición para el CO ₂ en la Jornada 2.....	149
Figura 6.16. Periodos de mayor intensidad de presencia de CO ₂ en Jornada 2 (I).....	150
Figura 6.17. Periodos de mayor intensidad de presencia de CO ₂ en Jornada 2 (II).	151
Figura 6.18. Identificación de periodos de máxima exposición para el SO ₂ en la Jornada 2. Detalle del mismo.....	151
Figura 6.19. Identificación de períodos de máxima exposición para el SH ₂ en la Jornada 2. Detalle del mismo.....	152
Figura 6.20. Identificación de período de máxima exposición para el SH ₂ . en la Jornada 6. Detalle del mismo.....	155
Figura 6.21. Imágenes correspondientes a un descube de depósito de maceración de fondo plano.	156
Figura 6.22. Concentración de CO ₂ y SH ₂ durante el descube de un depósito de maceración.	156
Figura 6.23. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de descube de vino prensa en depósitos subterráneos de dos días distintos.	158
Figura 6.24. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de descube de vino prensa en depósitos subterráneos de dos días distintos.	158
Figura 6.25. Imágenes correspondientes al descube de un depósito subterráneo de vino con destino a alcohólicas.....	160
Figura 6.26. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de descube de vino tinto en depósitos subterráneos en final de campaña.....	160
Figura 6.27. Comparación de concentración de SH ₂ en tareas de descube de vino tinto en depósitos subterráneos en final de campaña.....	161
Figura 6.28. Concentración de O ₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino tinto.....	163
Figura 6.29. Concentración de CO ₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino tinto.....	163
Figura 6.30. Imágenes de limpieza de depósito de maceración de fondo plano.....	164
Figura 6.31. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto en depósitos de maceración.....	165

Figura 6.32. Comparación de concentración de SH ₂ en tareas de limpieza de vino tinto en depósitos de maceración.....	165
Figura 6.33. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto con y sin ventilación previa.	166
Figura 6.34. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto con distinta duración.	168
Figura 6.35. Concentración de O ₂ y CO ₂ durante la ventilación previa de un depósito de vino tinto Ganimede.....	169
Figura 6.36. Concentración de CO ₂ durante la ventilación previa de un depósito de vino tinto Ganimede.	169
Figura 6.37. Concentración de SH ₂ durante la ventilación previa de un depósito de vino tinto Ganimede.	169
Figura 6.38. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto en depósitos de maceración en distintas condiciones de ventilación.....	170
Figura 6.39. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto en distintos estados de fermentación.	172
Figura 6.40. Comparación de concentración de SH ₂ en tareas de limpieza de vino tinto en distintos estados de fermentación.	172
Figura 6.41. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto desde exterior e interior.	174
Figura 6.42. Concentración de O ₂ y CO ₂ durante la ventilación previa de un depósito subterráneo de vino tinto.....	175
Figura 6.43. Concentración de CO ₂ durante la ventilación previa de un depósito subterráneo de vino tinto.	175
Figura 6.44. Concentración de SH ₂ durante la ventilación previa de un depósito subterráneo de vino tinto.	176
Figura 6.45. Comparación de concentración de CO ₂ en tareas de limpieza de vino tinto con distinta duración.	176
Figura 6.46. Imágenes de descube y limpieza de depósito autovaciante.	177
Figura 6.47. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de limpieza de autovaciantes con tubos remontado abierto y cerrado.	178
Figura 6.48. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de limpieza de autovaciantes con tubos remontado abierto y cerrado.	178
Figura 6.49. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de limpieza de 6 autovaciantes en situaciones más y menos favorables.	180
Figura 6.50. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de limpieza de 6 autovaciantes en situaciones más y menos favorables.	180
Figura 6.51. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de limpieza y descube de autovaciantes en situación de ventilación más favorable con atascos y ventilación menos favorable sin atascos.....	181

Figura 6.52. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de limpieza y descube de autovaciantes en situación de ventilación más favorable con atascos y ventilación menos favorable sin atascos.....	182
Figura 6.53. Tareas de limpieza en depósitos de almacenamiento donde se produce la fermentación del vino blanco.	183
Figura 6.54. Concentraciones de O ₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino blanco.	184
Figura 6.55. Concentraciones de CO ₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino blanco.....	184
Figura 6.56. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.	185
Figura 6.57. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.	186
Figura 6.58. Comparación de concentraciones de SO ₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.	186
Figura 6.59. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de limpieza de vino blanco con distinta ventilación.....	188
Figura 6.60. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de limpieza de vino blanco con distinta ventilación.....	188
Figura 6.61. Comparación de concentraciones de CO ₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de diferente capacidad y misma ventilación.	190
Figura 6.62. Comparación de concentraciones de SH ₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de diferente capacidad y misma ventilación.	190
Figura 6.63. Concentración de CO ₂ durante la incorporación de SO ₂ al proceso.....	191
Figura 6.64. Concentración de SO ₂ durante la incorporación de SO ₂ al proceso.	192
Figura 6.65. Concentraciones de SO ₂ para distintos procesos de elaboración de vino.	193
Figura 6.66. Concentraciones de CO ₂ durante la tarea de ciclo de remontado (1).....	194
Figura 6.67. Concentraciones de CO ₂ durante la tarea de ciclo de remontado (2).....	195
Figura 6.68. Control del llenado de un depósito de vino tinto autovaciante.....	195
Figura 6.69. Control de nivel de un depósito de vino blanco (izq.) y tinto (dcha.).....	196
Figura 6.70. Tarea de puesta a punto de prensa continua en proximades a una boca de depósito subterráneo.	197
Figura 6.71. Tarea de reparación de intercambiador en proximades a una boca de depósito subterráneo..	197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Evolución de la superficie de viñedo a nivel mundial (mha).	23
Tabla 2.2. Evolución de la producción mundial de vino (mHa).....	24
Tabla 2.3. Evolución de la superficie de viñedo (ha) en España entre 2004 y 2013.....	27
Tabla 2.4. Superficies de viñedo (ha) en España en 2014.....	27
Tabla 2.5. Evolución de la superficie de viñedo (ha) en Extremadura entre 2004 y 2013.	29
Tabla 2.6. Superficies de viñedo (ha) en Extremadura en 2014.....	29
Tabla 2.7. Evolución de la producción vinícola (mT) en Extremadura entre 2012 y 2014.....	30
Tabla 2.8. Número de empresas del sector vinícola extremeño.	30
Tabla 2.9. Número de empresas del sector vinícola extremeño por figura jurídica.....	30
Tabla 2.10. Número de empresas del sector vinícola extremeño por tramos de personal.....	31
Tabla 2.11. Número de empresas exportadoras e importadoras de vino en Extremadura.	31
Tabla 3.1. Tipos de prensas empleadas en bodegas.....	50
Tabla 4.1. N° de Trabajadores a Muestrear Pertenecientes a un GHE.	74
Tabla 4.2. Número mínimo de mediciones por jornada.	75
Tabla 4.3. Valores del coeficiente de variación.....	86
Tabla 5.1. Contaminante y origen.	102
Tabla 5.2. Maquinaria e instalaciones de la Tipología A.	106
Tabla 5.3. Maquinaria e instalaciones de la Tipología B.....	107
Tabla 5.4. Maquinaria e instalaciones de la Tipología C.....	108
Tabla 5.5. Maquinaria e instalaciones de la Tipología D.....	109
Tabla 5.6. Maquinaria e instalaciones de la Tipología E.	110
Tabla 5.7. Epígrafes y contenido de algunas preguntas de la encuesta realizada.	112
Tabla 5.8. Probabilidad de que al menos 1 de los trabajadores muestreados dentro del GHE sea de máxima exposición.....	113
Tabla 5.9. Distribución de la entrada de uva en una campaña de un año tipo.	114
Tabla 5.10. Especificaciones de los sensores del IBRID MX6.....	116
Tabla 5.11. Especificaciones de los sensores del TESTO 350XL.....	116
Tabla 5.12. Datos de los agentes contaminantes a evaluar.	119
Tabla 5.13. Valores límite de los agentes contaminantes a evaluar.	119

Tabla 5.14. Valores límite utilizados para los agentes contaminantes a evaluar.....	120
Tabla 5.15. Valores límite del oxígeno.....	120
Tabla 6.1. Valoración de la exposición por comparación con VLA-ED para el CO ₂	142
Tabla 6.2. Valoración de la exposición por comparación con VLA-ED para el SO ₂	143
Tabla 6.3. Valoración de la exposición por comparación con VLA-ED para el SH ₂	144
Tabla 6.4. Índice total de exposición de las sustancias por jornadas.....	145
Tabla 6.5. Índice total de exposición de las sustancias por jornadas.....	145
Tabla 6.6. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 1.....	148
Tabla 6.7. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos y concentraciones de SO ₂ y SH ₂ para periodos de 15 minutos en Jornada 2.....	152
Tabla 6.8. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 3.....	153
Tabla 6.9. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos y concentraciones de SH ₂ para períodos de 15 minutos en Jornada 4.....	153
Tabla 6.10. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 5.....	153
Tabla 6.11. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos y concentraciones de SH ₂ para períodos de 15 minutos en Jornada 6.....	153
Tabla 6.12. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 7.....	153
Tabla 6.13. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 8.....	154
Tabla 6.14. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 9.....	154
Tabla 6.15. Concentraciones de CO ₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 10.....	154
Tabla 6.16. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante la tarea de descube de un depósito de maceración.....	157
Tabla 6.17. Concentraciones y dosis de CO ₂ , SO ₂ y SH ₂ durante la tarea de descube de un depósito subterráneo de vino prensa.....	159
Tabla 6.18. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante la tarea de descube de un depósito subterráneo de vino destinado a la alcoholera.....	161
Tabla 6.19. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante la tarea de limpieza con tubo de remontado abierto y cerrado.....	165
Tabla 6.20. Concentraciones y dosis de CO ₂ durante la tarea de limpieza.....	166
Tabla 6.21. Concentraciones y dosis de CO ₂ durante la tarea de limpieza con duraciones diferentes.....	168
Tabla 6.22. Concentraciones y dosis de CO ₂ durante la tarea de limpieza de un depósito Ganimede y uno convencional o de maceración.....	170
Tabla 6.23. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante la tarea de limpieza de un depósito de maceración en distintos estados de fermentación.....	172
Tabla 6.24. Concentraciones y dosis de CO ₂ durante la tarea de limpieza de un depósito subterráneo desde exterior e interior.....	174

Tabla 6.25. Concentraciones y dosis de CO ₂ durante la tarea de limpieza de un depósito subterráneo desde interior en final de campaña	177
Tabla 6.26. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante el descube y limpieza de autovaciantes.....	179
Tabla 6.27. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante el descube y limpieza de 6 autovaciantes en situaciones más y menos favorables.	180
Tabla 6.28. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ en tareas de limpieza y descube de autovaciantes en situación de ventilación más favorable con atascos y ventilación menos favorable sin atascos.....	182
Tabla 6.29. Concentraciones y dosis de CO ₂ , SO ₂ y SH ₂ durante la limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.	187
Tabla 6.30. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante la limpieza de vino blanco con distinta ventilación.....	189
Tabla 6.31. Concentraciones y dosis de CO ₂ y SH ₂ durante la limpieza de vino blanco en depósitos de diferente capacidad y misma ventilación.	191
Tabla 6.32. Concentraciones y dosis de SO ₂ para distintos procesos de elaboración de vino.....	193
Tabla 6.33. Concentraciones y dosis de CO ₂ para las distintas tareas de puesta en punto y reparación.....	197

NOMENCLATURA

AFS: Sociedad Alemana para la Investigación, "Deutsche Forschungsgemeinschaft".

ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (American Conference on Governmental Industrial Hygienists).

DFG: La Sociedad Alemana para la Investigación, "Deutsche Forschungsgemeinschaft".

DTG: Desviación típica geométrica.

ED: Exposición diaria.

EC: Exposición a corta duración.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency).

GHE: Grupo Homogéneo de Exposición.

HSC: Comisión de Salud y Seguridad, "Health and Safety Commission"

HSE: Health and Safety Executive.

INSHT: Instituto Nacional Seguridad e Higiene en el Trabajo.

ISO: Organización Internacional de Normalización.

MAK: Valores límite para concentraciones promediadas para toda la jornada de trabajo.

NIOSH: National Institute Occupational Safety and Health.

NTP: Nota Técnica de Prevención.

OEL: Límite de exposición ocupacional (Occupational Exposure Limit).

OMS: Organización Mundial de la Salud (World Health Organization).

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

PEL: Permissible Exposure Limits.

REL: Recommended Exposure Limits.

TWA: Tiempo medio ponderado (Time weighted average).

VL: Valor límite.

VLA: Valor límite ambiental.

VLA-ED: Valor límite ambiental-exposición diaria.

VLA-EC: Valor límite ambiental-exposición de corta duración.

VLB: Valor límite biológico.

UNE: Norma Europea.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Cada 15 segundos, en cualquier parte del mundo un trabajador muere como consecuencia de accidentes de trabajo o enfermedades profesionales. En esos mismos 15 segundos, 160 trabajadores son víctimas de accidentes de trabajo [1].

Muchos de estos accidentes o enfermedades profesionales están generados por la exposición a contaminantes gaseosos presentes en la atmósfera como resultado de actividades humanas [2] [3] [4].

Hay que destacar la diversidad de actividades donde pueden generarse contaminantes que dan lugar al riesgo de exposición por inhalación a agentes químicos. Entre estas, y para resaltar dicha diversidad, se exponen algunas de ellas con los gases y/o partículas generados en su proceso productivo, que conllevan un riesgo añadido para la seguridad y salud de los trabajadores expuestos [5]:

1. Industrias alimentarias, como la producción intensiva de carne vacuna, donde el alto retorno de excretas al suelo dan lugar a emisiones de amoníaco y dióxido de carbono principalmente [6], o la industria de la harina de aceite de arenques y peces, donde la descomposición de las proteínas del pescado genera elementos volátiles como el sulfuro de hidrógeno, amoníaco o dióxido de carbono [7] [8].
2. Agricultura, como la aplicación de compost de champiñones en tierras agrícolas, donde hay que destacar la exposición a sulfuro de hidrógeno incluso en tareas realizadas al aire libre [9] [10], almacenamiento de forraje verde [10] o aplicación de plaguicidas en cultivos de algodón [11].
3. Centales eléctricas de biomasa, donde la combustión emite contaminantes al aire, en forma de gases, compuestos volátiles y materia particulada. Entre los gases detectados cabe destacar monóxido de carbono, amoníaco, dióxido de azufre, etc. [12].
4. Industrias como la fabricación de neumáticos, donde la exposición a dióxido de azufre y humos de caucho son uno de los principales riesgos higiénicos detectados en este sector [13]; trabajos de soldadura [14] o fabricación de estireno [15].
5. Industria metalúrgica donde se queman óxidos de azufre, dando lugar a grandes cantidades de dióxido de azufre [16], o trabajos en la minería del oro con exposición a vapores de mercurio

- [17].
6. Aserraderos, donde la exposición a polvo de madera da lugar a patologías respiratorias e inmunológicas del personal expuesto [18].
 7. Joyería: esta industria, que en principio no parece problemática, presenta una serie de riesgos higiénicos singulares debido a la naturaleza de las materias primas utilizadas [19].
 8. Sector sanitario, donde se tiene un exhaustivo control ambiental y biológico, como en el caso de la utilización del óxido de etileno como agente esterilizante [20] [21] [22].
 9. Vertederos, como la presencia de agentes biológicos en centros de clasificación de residuos en vertederos [23].

Además de los sectores anteriormente mencionados, de los cuales se han hecho estudios, y otros muchos no citados, la industria vinícola destaca como una de las más características en relación a la exposición de sus trabajadores a gases por inhalación [24] [25]. Dentro de los gases generados, por su especial peligrosidad, el dióxido de carbono ocupa un papel principal [26] [27], sin olvidar la exposición al dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno [28] [29] [30] [31] [32].

El estudio de la peligrosidad del dióxido de carbono empieza con J.B. van Helmot (siglos XVI-XVII), al que se atribuye la identificación del CO₂ como una sustancia independiente. Posteriormente, Joseph Black, en 1756, estudia sus propiedades, como la capacidad de extinción de llama o las convulsiones y muertes en animales expuestos a CO₂ salvo que se retirase inmediatamente, lo que demostraba sus efectos tóxicos. Henry Hickman, en 1820, estudió su empleo como anestésico, llegando a operar a un perro al que previamente había quedado inconsciente haciendo uso del propio CO₂ que exhalaba (intoxicación endógena).

John Snow identificó que la presencia de CO₂ tenía efectos perjudiciales no sólo por el desplazamiento de O₂, sino porque el CO₂ era tóxico en sí mismo [33]. Ya en 1838 un sereno murió en la iglesia de San Miguel, en Londres, debido a los gases emitidos por una estufa de carbón. Se atribuyó al "gas de ácido carbónico" (CO₂).

Esta toxicidad queda patente incluso en la propia naturaleza. El mayor número de muertes debidas a inhalación de CO₂ se produjo el 21 de Agosto de 1986 en un pueblo cerca del lago Nyos, junto al cráter de un volcán, en el noroeste de Camerún. Durante la noche, gases volcánicos con CO₂ se liberaron del lago, muriendo 1.700 personas. Otro caso parecido tuvo lugar en Turrialba (Costa Rica), donde el cráter de un volcán emanó dióxido de carbono y dióxido de azufre provenientes de su interior [34].

Desde 1958, en numerosos artículos se presentan casos de intoxicación por exposición a CO₂ [35], con el resultado de muerte en alguno de ellos [36], por la exposición laboral en el desarrollo de determinadas actividades.

Asimismo, la exposición a gases nocivos en la elaboración de vino se recoge en numerosos artículos, donde se exponen las consecuencias graves o mortales de esta exposición. En la mayoría de los casos, los accidentes ocurridos están relacionados con las tareas asociadas a depósitos o cubas de vinificación. Además, en este sector, y en concreto en las tareas antes mencionadas, hay que considerar el riesgo añadido de trabajar en numerosas ocasiones en lugares considerados como espacios confinados, como es el caso de los depósitos de fermentación [37] [38] [39].

Esta siniestralidad —baja pero de gravísimas consecuencias— se recoge también en la prensa [40] [41]. En Francia, en noviembre de 2008, dos personas murieron mientras pisaban uva de forma tradicional [42]; hace mucho menos tiempo, en la campaña de 2014, una enóloga de la localidad leonesa de Salas de los Barrios, murió por intoxicación de gases y precipitarse al interior de un depósito de vino en el que se estaba realizando un ciclo de remontado [43].

Estos espacios, independientemente de la actividad desarrollada en ellos, ocasionan en numerosas ocasiones accidentes de trabajo [44]. La revista *British Medical Journal*, en un artículo de 1958, detalla la muerte de dos personas y la intoxicación de otras seis por intoxicación con CO₂ en un contenedor de barco que transportaba cebollas [45].

Otro artículo, en 2002 en *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, detalla la muerte de una mujer sana de 35 años que quedó atrapada en una cámara de un banco y activó el sistema contraincendios de CO₂ con consecuencia de muerte. El artículo también menciona la muerte de un científico de 51 años que murió en un pequeño almacén no ventilado en el que se habían almacenado esa misma mañana 15 bloques de hielo seco. En 2005, en un colegio, el incendio de los fogones de la cocina situada en el sótano del edificio, más la activación del sistema contraincendios de CO₂, tuvieron como consecuencias un muerto y seis intoxicados por dióxido de carbono [46].

Estos dos factores, gases generados y espacios confinados, hacen del proceso de elaboración del vino una actividad potencialmente peligrosa, sobre todo en la realización de determinadas tareas. Algunos autores, como Martín del Moral et al. [47], afirman que anualmente se registran en este sector accidentes debidos a CO₂, que si bien son poco frecuentes, resultan casi siempre mortales.

Asimismo, la gran importancia del sector vitícola en España, en Extremadura y, dentro de ésta, en la provincia de Badajoz, donde se halla representada casi el 80% de las industrias del sector en la región, unida a la inexistencia de trabajos específicos de investigación en los que se realice el análisis de riesgos en el sector, han marcado el interés en este trabajo.

En Extremadura existen enormes dificultades para acceder a la información sobre la siniestralidad del sector vinícola. La Junta de Extremadura clasifica los sectores de actividad en cuatro categorías: agricultura, industria, construcción y servicios. Las bases de datos existentes proporcionan los datos así clasificados, lo

que conlleva una falta de información concreta debido a que la forma jurídica que pueden adoptar estas empresas es diversa, por lo que pueden encajarse en más de una categoría.

Por otro lado, en ocasiones pueden encontrarse anomalías en relación a la contratación de los trabajadores. Las plantillas que prestan sus servicios en las bodegas pueden pertenecer a una empresa que no es la titular de la misma, a empresas subcontratadas, o bien el personal estar dado de alta y contratado por otra empresa con vinculaciones societarias y/o económicas con la titular de la bodega (grupos empresariales).

Por último, hay que destacar que en muchas de estas empresas, que además tienen fincas en propiedad, los trabajadores están contratados en el régimen agrícola.

Aunque estos condicionantes acentúan la dificultad para la obtención de información acerca de la siniestralidad laboral del sector, cabe destacar que estos accidentes graves y sobre todo los mortales, casi en su totalidad, vienen derivados de la exposición de los trabajadores a los gases generados en el proceso de elaboración de los diferentes tipos de vino [37] [38] [39] [41] [42] [43].

En concreto, como principales factores que potencian esta situación de riesgo, se tienen los siguientes:

1. Concentración de la producción en el período de campaña, donde la actividad de las industrias alcanza el 100%.
2. Jornadas laborales amplias, superando las 8 horas laborales en la mayoría de los casos.
3. Concentración muy significativa de trabajadores durante la campaña que puede doblar e incluso triplicar su número con respecto al resto del año.
4. Aumento de la frecuencia en la realización de tareas propias del proceso productivo, en las que existe una elevada exposición a gases por inhalación, generados principalmente en la fase de fermentación del mosto hasta convertirse en vino.

Aunque tradicionalmente las tareas asociadas a la exposición a gases por inhalación son las específicas de limpieza de depósitos, donde se produce la reacción anteriormente mencionada en un espacio confinado, no hay que olvidar otra serie de tareas que, de entrada, no se contemplan habitualmente como originarias de riesgos importantes, pero que, sin embargo, podrían presentar niveles importantes de estos gases.

Es en este punto donde interviene el Grupo ENERMYT del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Extremadura, un grupo de investigación que enmarca sus actividades en el ámbito de las Energías Renovables, la Eficiencia Energética Seguridad y la Salud Laboral.

Dentro de las actividades del grupo relacionadas con la Seguridad y Salud Laboral, hay que destacar la implantación, gestión e impartición de gran parte de la docencia en el Máster Universitario en Seguridad y Salud Laboral desde el curso 2006/2007, además de trabajos de investigación propios [48] [49] y en

colaboración con la Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Beja [1] [50], los cuales se han ido materializando en la redacción de varias tesis doctorales.

En este sentido, y siguiendo el planteamiento de los trabajos de investigación del grupo ENERMYT, este trabajo pretende realizar, de forma exhaustiva, la valoración del riesgo por inhalación de gases en la industria vinícola de la provincia de Badajoz, centrándolo en dos de las zonas más características de la región, como son las subzonas de Matanegra y de Tierra de Barros. Como punto de partida de este estudio, se han tenido presentes resultados previos obtenidos, los cuales fueron recogidos en la ponencia presentada al Congreso Internacional de Prevención de Riesgos Laborales de 2012 (ORP 2012), titulada “Análisis de la presencia de atmósferas nocivas asociadas al proceso de elaboración del vino” [51].

De este modo y mediante acciones que van desde la generación de nuevos conocimientos hasta la transferencia de tecnología, se pretende incrementar la competitividad de las industrias vinícolas de la provincia y, en consecuencia, de la región y país, aportando soluciones a los problemas planteados y contribuyendo a la disminución del número y consecuencias de los accidentes del sector objeto del estudio.

1.2 Objetivos del trabajo

En base a lo expuesto en el apartado anterior, el objeto del presente trabajo es la valoración del riesgo por inhalación de gases en la industria vinícola de la provincia de Badajoz. Los objetivos específicos que se plantearon para su consecución fueron los siguientes:

- Análisis del sector. Caracterización de los tipos de bodegas presentes en la zona.
- Identificación y descripción de las principales fases en el proceso de elaboración del vino.
- Determinación de los gases más problemáticos en la actividad.
- Determinación de las tareas, focos o emplazamientos con riesgo potencial mediante:
 - Valoración de la evolución instantánea de las concentraciones a lo largo de la jornada de trabajo.
 - Valoración de la exposición diaria y valores límite de corta duración.
 - Valoración de los efectos aditivos de los distintos contaminantes a lo largo de las jornadas evaluadas.
- Determinación de las medidas correctoras o preventivas adaptadas a las condiciones de las diversas tareas.

Asimismo, el plan de trabajo seguido para la consecución de los objetivos planteados se expone a continuación:

- Análisis de la situación del sector vinícola en la provincia de Badajoz. Se identificaron la tipología de industrias, procesos productivos, regímenes de funcionamiento, número de trabajadores y tareas más características y auxiliares de los diferentes procesos de elaboración del vino, además de los posibles focos de emisión que suponen un riesgo añadido en la realización de algunas de ellas.
- Establecimiento de la metodología de análisis adaptada a los requerimientos de las instalaciones y definición de las variables a medir. Se seleccionó el método cuantitativo por su ventajas con respecto a otros métodos. Se realizaron medidas durante tres campañas consecutivas, para poder evaluar el riesgo de exposición por inhalación a los gases generados en las situaciones identificadas en el apartado anterior.
- Evaluación de los resultados obtenidos. Se realizó una valoración de jornadas completas de trabajo en el periodo más crítico, en concreto, el periodo central de campaña. El análisis se llevó a cabo mediante una comparación instantánea y, posteriormente, mediante una comparación con los valores límite de exposición diaria. Por último, se cuantificó el efecto combinado de todos los contaminantes existentes en el ambiente de trabajo.
- Establecimiento de las medidas correctoras o preventivas en función de los resultados anteriores, concretando la necesidad de implantar o validar medidas correctoras, preventivas u organizativas que contribuyan a la mejora de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores del sector vinícola en la provincia de Badajoz.

2. ANÁLISIS DEL SECTOR

2.1 Importancia del vino en la historia

La relación entre la vid y el hombre viene desde los tiempos más remotos. Antes del año 7.500 a.C., la uva ya formaba parte de la dieta humana, siendo recolectada por el hombre para su sustento de las vides silvestres que trepaban por los árboles en los bosques. El almacenamiento de las uvas como alimento de reserva para los meses de invierno llevó de forma fortuita e inevitable al descubrimiento del vino [52].

En el Mediterráneo, la vid encontró su hábitat ideal gracias a un clima propenso y adecuado para su cultivo. Como consecuencia de las relaciones comerciales de los griegos y los fenicios con los pueblos que habitaban el sur de la Península Ibérica, se divulgó el comercio y la cultura del vino desde el Mediterráneo oriental hasta el Mediterráneo occidental [53].

Con la invasión visigoda, los pueblos bárbaros arrasaron toda la cultura romana. Tras ellos llegaron los pueblos visigodos, más orientalizados y familiarizados con la tradición romana y, por tanto, consumidores del vino, los cuales llegaron a promulgar distintas leyes favorecedoras del cultivo de la vid tras convertirse al cristianismo [54].

Posteriormente y tras la invasión musulmana, los árabes asentados en Extremadura, a pesar de las prohibiciones del Corán, bebían vino de forma más o menos encubierta. En la reconquista, la vid debió experimentar un nuevo retroceso al ser arrasados los viñedos. Tras ella surgió una nueva viticultura en los territorios cristianos en torno a las ciudades y monasterios [55].

Posteriormente, las órdenes religiosas cambiaron el estilo de vida contemplativa, que habían venido practicando desde la edad media, hacia un nuevo concepto —“Ora et labora”—, provocando así que se desarrollara la agricultura en grandes extensiones de terreno, de las que eran propietarios los monasterios, y que los propios frailes atendían, siendo el cultivo de la vid uno de los más desarrollados.

Con el transcurso del tiempo, los monjes implantaron su cultura en diferentes materias en aquellos lugares en los que se establecieron, siendo una de ellas la viticultura. Más adelante y con el descubrimiento del nuevo mundo, la expansión de la viticultura fue aún mayor.

Durante el siglo XVII se desarrolló la viticultura en algunas poblaciones de la comarca de Tierra de Barros, que anteriormente eran cerealistas y ganaderas (Aceuchal, Fuente del Maestre, Villafranca de los Barros, Almendralejo, etc.).

Asimismo, a finales del siglo XVIII se plantó en Almendralejo una importante extensión de viñedos gracias a la política agraria de Carlos III. A partir de este momento comenzó el significativo desarrollo vitícola e industrial que experimentaría esta ciudad y toda la comarca de Tierra de Barros en el siglo XIX, transformándose en una de las comarcas más prósperas de Extremadura y España [54].

En la segunda mitad del siglo y como consecuencia de la destrucción de los viñedos franceses e italianos por la Filoxera, España se quedó sola exportando vinos al resto de Europa, dando lugar a un enorme incremento del cultivo de la vid y de la industria del vino en todo el país. Esta época dorada del vino afectó positivamente a los viñedos de Extremadura, en especial a los de la provincia de Badajoz y en particular a los de Tierra de Barros. A lo largo de la segunda mitad de este siglo, en Almendralejo se inició un proceso de modernización y de ampliación de la industria bodeguera. Ejemplo de ello fue la fundación de la primera empresa industrial moderna, tanto por la maquinaria empleada en el prensado de las uvas como por su complejidad industrial y modelo empresarial de gestión (Francisco Zarandieta). Prueba del interés de empresarios de otras regiones por el vino extremeño fue la implantación en Almendralejo de la que fuera la bodega más moderna de la época por la sociedad jerezana Riba, Rubio y Compañía en 1891, junto a la estación del ferrocarril con ramal propio para la exportación de sus vinos y alcoholes [54].

Málaga y Jerez, junto con los mercados del norte, fueron los principales destinos del vino extremeño, lo que explica la implantación en la Tierra de Barros de diferentes compañías jerezanas —como la anteriormente expuesta— y otras más que se instalarían posteriormente, así como del desarrollo alcoholero de la zona. El vino de calidad iría para el consumo de boca, mientras que el procedente de prensa se destilaría; ambos irían a los mercados jerezanos, no sólo para el encabezamiento de sus vinos, sino también para la fabricación de brandis.

En la actualidad, el sector vitivinícola español goza de gran importancia a nivel mundial, tanto por su relevancia en términos económicos como en términos sociales y medioambientales.

2.2 Evolución del mercado mundial y europeo del vino en los últimos años

En el año 2011, la superficie vitícola mundial era de 7.547.000 ha, superficie que disminuyó en el año 2012 hasta 7.436.000 ha. En Europa, la superficie de viñedo sufrió una reducción entre los años 2008 y 2012. Esta disminución vino propiciada por tres factores principales: la reestructuración del viñedo, el impacto de la crisis vitícola y el programa europeo de ayuda a los arranques.

Sin embargo, el ritmo de reducción del viñedo en la UE se ha ralentizado de forma notable. Entre 2011 y 2012, la superficie de viñedo comunitaria disminuyó en 54.000 ha, mientras que entre 2012 y 2013 solo se redujo en 19.000 ha [56] [57].

La disminución de la superficie del viñedo de la UE se compensó a nivel mundial por el mantenimiento o levísima disminución, en algunos casos, y el aumento en otros de las superficies plantadas en el resto del mundo. Así, mientras disminuyen las plantaciones en Europa o Australia, éstas se mantienen prácticamente invariables en EE.UU. y Sudáfrica, creciendo en países como Chile, Argentina o China. Esta evolución viene reflejada en cifras en la Tabla 2.1 [56] [57].

Tabla 2.1. Evolución de la superficie de viñedo a nivel mundial (mha).

País	2008	2009	2010	2011	2012	Previsión 2013	% S Total
España	1.165	1.113	1.082	1.032	1.018	1.018	13,69%
Francia	858	836	818	806	800	794	10,68%
Italia	825	812	795	776	759	752	10,11%
Portugal	246	244	244	240	236	229	3,08%
Rumanía	207	206	204	204	205	205	2,76%
Otros UE	491	479	474	461	482	483	6,50%
Total UE	3.792	3.692	3.654	3.554	3.500	3.481	46,81%
EEUU	402	403	404	407	407	408	5,49%
Turquía	518	515	514	508	497	504	6,78%
China	480	518	539	560	580	600	8,07%
Argentina	226	229	217	218	221	224	3,01%
Chile	198	199	200	200	205	207	2,78%
Sudáfrica	132	132	132	131	131	130	1,75%
Australia	173	176	171	170	162	158	2,12%
Total no UE	3.945	4.009	3.933	3.955	3.936	3.955	53,19%
Total mundial	7.737	7.702	7.672	7.547	7.436	7.436	100,0%

En el año 2012, la producción mundial de vino (sin contar zumo y mosto) fue de 254 millones de hl, un 4,7% menos que en el año 2011. Sin embargo, la evolución del año 2012 al 2013 fue la contraria, ascendiendo el total de la producción mundial a 278 millones de hl, lo que supuso un aumento con respecto al año anterior del 4,2%.

Italia es el primer país productor de vino con 44,9 millones de hl (16,1% mundial), seguido por España con 42,7 millones de hl (15,3% mundial), pasando Francia al tercer lugar con respecto del año anterior, con 42 millones de hl (15,08% mundial y 25,5% de la UE). En cuarto lugar están situados el resto de países productores de vino de la UE-27 (Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Finlandia, Grecia, Hungría, Irlanda, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos,

Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía y Suecia) con 34,5 millones de hl, produciéndose un ascenso en estos de 11,7% al 12,4 % de la producción mundial [56] [57].

Los siguientes puestos en este ranking de producción mundial de vino en 2013 los ocuparon países del continente americano. EEUU ocupó la quinta posición como productor de vino, con 22 millones de hl, lo que supone un 7,9% de la producción mundial.

En cuanto a los principales productores de América del Sur, Argentina y Chile, aumentaron su producción hasta el 5,4% y 4,6% de la producción mundial, respectivamente. Ya en el continente oceánico, Australia, con 12,45 millones de hl (4,5 % mundial), ocupa el siguiente puesto tras Chile.

En el continente africano destaca Sudáfrica, con un aumento en su producción de 9,3 millones de hl en 2011 a superar levemente los 10 millones en 2012 y alcanzando los casi 11 millones en 2013 (+4%). Por otro lado, Nueva Zelanda alcanzó un nuevo récord al superar en 2013 los 2,5 millones de hl. En cuanto a China, registró 11,7 millones de hl, esto es, una caída de 2,1 millones respecto al año anterior (-15%).

De este modo, todos los primeros productores de vino a nivel mundial experimentaron un aumento de la producción con respecto a la del año 2012, como muestra la Tabla 2.2 [56] [57].

Tabla 2.2. Evolución de la producción mundial de vino (mHa).

Producción Mundial de Vino. Datos (miles hl)					
País	2010	2011	2012	Previsión 2013	% S Total
Italia	48.525	42.772	43.816	44.900	16,1%
España	35.353	33.397	31.123	42.700	15,3%
Francia	44.381	50.764	41.059	42.016	15,08%
Otros UE	28.117	30.238	25.417	34.584	12,04%
Total UE	156.376	157.171	141.415	164.200	58,9%
EEUU	20.887	19.187	20.510	22.000	7,9%
Argentina	16.250	15.473	11.778	14.984	5,4%
Chile	8.844	10.464	12.554	12.800	4,6%
Australia	11.420	11.180	12.315	12.456	4,5%
Total no UE	108.724	109.629	109.585	114.400	41,1%
Total mundial	264.495	267.413	254.671	278.600	100,0%

Los principales vendedores mundiales de vino dentro de la UE son España, Italia, Francia, Alemania y Portugal, mientras que, en el resto del mundo, destacan Chile, Australia, Sudáfrica, Estados Unidos, Argentina y Nueva Zelanda (Figura 2.1) [56] [57].

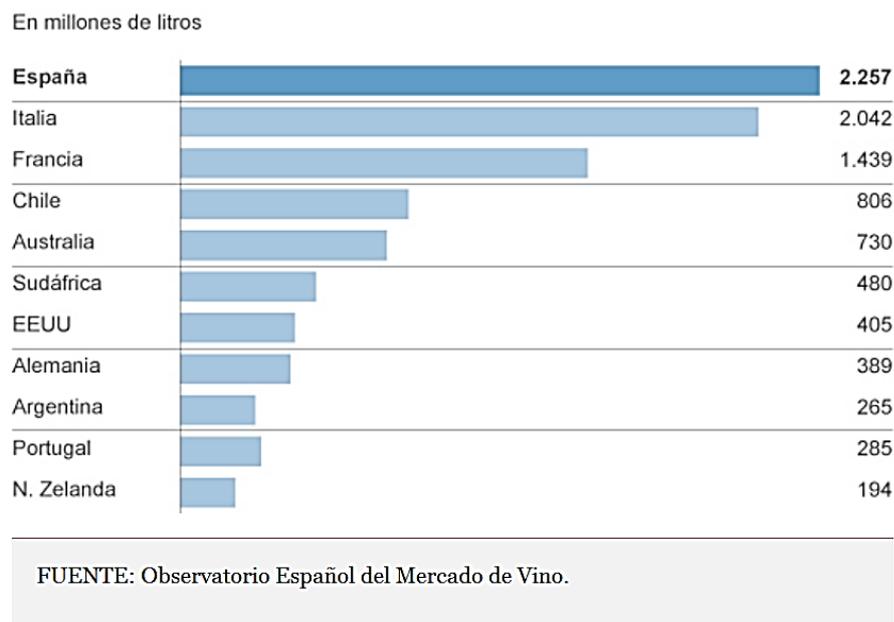


Figura 2.1. Principales vendedores de vino a nivel mundial.

Si bien España lidera el crecimiento en volumen de exportaciones, Italia, gracias a sus ventas de vinos espumosos en el exterior, es el país que más factura (117 millones), mientras que Francia sigue conservando sus buenas cifras gracias al champagne [58].

Con respecto a Chile y Sudáfrica, destaca el aumento del beneficio en 2013 por la escasa cosecha del hemisferio norte en 2012.

Por tanto, puede concluirse que España es, en la actualidad, el primer país en superficie de viñedo a nivel mundial, el primer exportador del mundo en volumen de vino y el segundo país en producción en hectólitros tras Italia.

Asimismo, 2014 fue un año de recuperación, en especial gracias a las ventas al exterior de vino sin Denominación de Origen Protegida (granel, espumosos y mosto), cuyo aumento ha permitido a España retomar la primera posición mundial de las exportaciones de vino, con un total de 22,5 millones de hl frente a los 20,4 millones de Italia, de acuerdo con datos estadísticos recogidos por el Observatorio Español del Mercado del Vino (OeMv) [56].

La exportación de vino aumentó un 20% en este último año. Esta recuperación de las ventas de los vinos “económicos” españoles, desplazando a países que como Chile y Sudáfrica [59].

2.3 Evolución del mercado español del vino en los últimos años

El sector vitícola se considera de importancia estratégica en España, tanto en el mercado interior como a nivel de exportaciones, con una destacada proyección internacional. Tanto la situación geográfica como las diferencias climáticas y la variedad de suelos hacen de España un lugar privilegiado para la producción de vinos de características muy distintas.

En 2014, España se colocó en lo más alto del ranking mundial de volumen de exportaciones, en especial gracias a las ventas de vino a granel.

Desde el año 2000, el sector vitivinícola español se encuentra inmerso en un importante proceso de actualización y renovación. La superficie sujeta a reconversión y reestructuración ha superado las 130.000 ha, lo que representa una inversión cercana a los 800 millones de euros. Se estima que algo más de 4.000 bodegas elaboran en España vinos tranquilos, espumosos y de licor.

Por lo general, se trata de bodegas de pequeño tamaño con un capital mayoritariamente de origen español, de tipo familiar, mientras que otro gran número están constituidas como cooperativas agrarias. En ambos casos, coexisten con grandes empresas, que poseen centros de producción en distintas zonas, con objeto de diversificar su oferta y controlar la calidad a lo largo de todo el proceso productivo. Para ello, algunas de estas bodegas han comprado o ampliado la extensión de sus viñedos, si bien la mayor parte del suministro de las bodegas en España procede de otros viticultores o directamente de las cooperativas en forma de vino.

Asimismo, es destacable el nivel de inversión que se ha destinado a la edificación de nuevas bodegas, a la mejora de las instalaciones y equipamientos y a la utilización de técnicas de envejecimiento distintas para ofrecer una gama mucho más amplia de vinos de calidad, si bien tal nivel de inversión se ha visto muy reducido en los años recientes de crisis económica.

En este contexto, hay que destacar la actividad y la innovación de muchas bodegas que experimentan con nuevas variedades de uva, así como la utilización de las uvas autóctonas para producir vinos más adaptados al gusto del nuevo consumidor.

Actualmente, se cultiva viñedo en las 17 Comunidades Autónomas, si bien cerca de la mitad de la extensión total se encuentra en Castilla-La Mancha (463.912 ha y el 48,8% del viñedo plantado), siendo ésta la zona geográfica con mayor extensión del mundo dedicada a su cultivo, seguida de Extremadura (84.096 ha y 8,8%), Valencia (65.068 ha), Castilla y León (63.732 ha), Cataluña, La Rioja, Aragón, Galicia, Murcia y Andalucía.

Según la “Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos ESYRCE” del MAGRAMA [60], la superficie total de viñedo en España destinada a uva de transformación en el año 2014 fue de 950.541 ha,

frente a las 951.693 ha del año anterior. La Tabla 2.3 y Tabla 2.4 muestran las superficies de viñedo en España según ESYRCE [60].

Tabla 2.3. Evolución de la superficie de viñedo (ha) en España entre 2004 y 2013.

2004	2005	2006	2007	2008
1.129.040	1.128.735	1.116.529	1.137.963	1.129.951
2009	2010	2011	2012	2013
1.077.535	1.022.111	970.465	954.020	951.693

Tabla 2.4. Superficies de viñedo (ha) en España en 2014.

Cultivo	Secano	Regadío	Total
Uva de mesa blanca sin semilla	143	1.755	1.897
Uva de mesa blanca con semilla	1.687	5.174	6.861
Uva de mesa roja sin semilla	0	2.199	2.199
Uva de mesa roja con semilla	1.005	1.141	2.146
Uva de transformación	608.466	342.074	950.541
Total	611.301	352.343	963.644

Por tanto, se observa una ligera caída de 1.152 ha (-0,1%). Las mayores caídas porcentuales fueron registradas en las comunidades de Valencia (-4,3%), Murcia (-2,3%) y Navarra (-2,2%), siendo La Rioja (+4,4%) y Canarias (+3,6%) las comunidades autónomas que más aumentaron su superficie de viñedo en 2014 con respecto a 2013.

En la Figura 2.2 viene reflejada la superficie total de viñedo en España, representada porcentualmente respecto a la superficie geográfica provincial en cada caso [63].

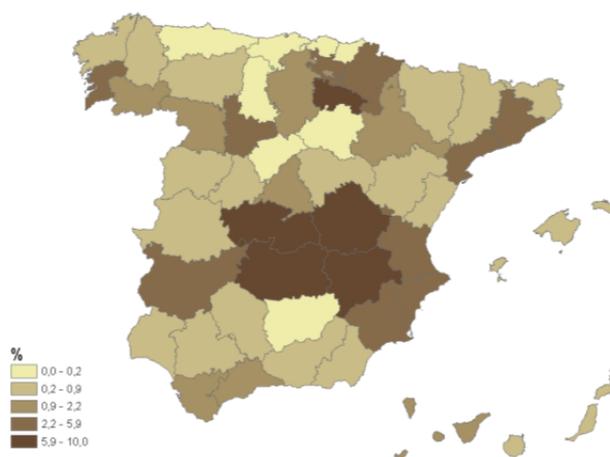


Figura 2.2. Superficies de viñedo respecto a la superficie geográfica provincial.

De este modo, España recobró en septiembre de 2014 el liderazgo mundial de ventas de vinos en volumen, debido sobre todo al fuerte crecimiento en la producción de vinos a granel, que aumentó un 43,2% de media, pero con precios medios mucho más bajos.

Frente a un precio medio de 0,63 euros/litro entre enero y octubre de 2013, tan solo un año más tarde fue de 40 céntimos de euro, lo que supuso una caída de un 36,5% [56].

Asimismo, hay que destacar que, pese a la importancia del granel, las ventas exteriores de vino envasado crecieron un 3,4%, frente a las bajadas del 0,7% y 0,2%, respectivamente, de los vinos italianos y franceses. Con respecto a los vinos envasados, espumosos y cavas españoles, el producto nacional superó al francés en 2014 como segundo espumoso importado en los mercados nórdicos.

Según el ICEX [61], un total de 3.897 empresas exportaron vino por un valor de 2.518 millones en 2014, con Europa y Estados Unidos como principales destinos y Cataluña como región con más empresas exportadoras y que más factura. Con todo ello, la balanza comercial del vino es netamente positiva, con un saldo a favor en 2014 de 22,5 millones de hl y 2.518 millones de euros.

Durante la campaña 2014/2015, España ocupó el tercer puesto a nivel mundial con 37 millones de hl, tras Francia (46 millones de hl) e Italia (44 millones de hl) [62] [63].

2.4 El vino en Extremadura en los últimos años

Casi la totalidad de la superficie de viñedo existente en Extremadura se encuentra en la provincia de Badajoz, mayoritariamente en la comarca de Tierra de Barros [62].

La distribución por provincias, según datos aportados por la Consejería de Agricultura de la Junta de Extremadura para la campaña 2011-2012, muestra que un 96% de la superficie total de viñedos se encuentra dentro de la provincia de Badajoz y el 3% restante en la provincia de Cáceres [64].

La evolución de la superficie total durante el periodo 2004-2013, así como las superficies totales en 2014, vienen reflejadas en la Tabla 2.5 y Tabla 2.6, respectivamente [60].

Tabla 2.5. Evolución de la superficie de viñedo (ha) en Extremadura entre 2004 y 2013.

2004	2005	2006	2007	2008
89.169	89.489	87.139	89.719	88.178
2009	2010	2011	2012	2013
87.078	86.034	84.148	82.331	84.096

Tabla 2.6. Superficies de viñedo (ha) en Extremadura en 2014.

Cultivo	Secano	Regadío	Total
Uva de mesa blanca sin semilla	0	0	0
Uva de mesa blanca con semilla	0	0	0
Uva de mesa roja sin semilla	0	0	0
Uva de mesa roja con semilla	0	0	0
Uva de transformación	61.441	21.614	83.055
Total	61.441	21.614	83.055

Por otro lado, la diferente orografía y la calidad del suelo permiten dividir la región en seis subzonas, según la Denominación de Origen Ribera del Guadiana, única denominación existente en la Comunidad Autónoma de Extremadura [65]. Las seis subzonas y sus principales características se exponen a continuación:

1. Cañamero: agrupa cinco municipios de la Sierra de Guadalupe al este de la provincia. Es la subzona más alta, con una altitud media de 849 metros. Las vides son plantadas en las pendientes, en terrenos pobres sobre pizarra.
2. Montánchez: agrupa 27 municipios al sur de Cáceres, es una zona de colinas y valles con buenos terrenos, marrones y ligeramente ácidos. La altitud media es de 638 metros.
3. Ribera Alta: situada al este de la región, abarca 38 municipios con una altitud de 427 metros y sobre un terreno arenoso y poco profundo.
4. Ribera Baja: situada al oeste, se extiende a lo largo de la frontera portuguesa y abarca 11 municipios, encontrándose suelos arcillosos y terrenos aluviales y una altitud baja, cercana a los 286 metros.

5. Tierra de Barros: agrupa 36 municipios, donde el suelo arcilloso presenta muy buena capacidad de retención de agua, así como un considerable contenido en caliza. Su orografía poco accidentada ha facilitado la mecanización, contando actualmente con el 80% de los viñedos de la D.O.
6. Matanegra: situada más al sur, abarca 8 municipios. Los suelos son parecidos a los de Tierra de Barros, pero el clima es más fresco debido a su mayor altitud media (alrededor de 638 m).

La producción total en la región, recogida en la Tabla 2.7, muestra una gran evolución entre los años 2012 y 2013, la cual siguió en alza en el 2014. La provincia de Badajoz presenta a su vez evolución continuada al alza, mientras que en la de Cáceres se observa una disminución a lo largo del periodo analizado.

Tabla 2.7. Evolución de la producción vinícola (mT) en Extremadura entre 2012 y 2014.

Cultivo	2012	2013	2014
Badajoz	423,7	562,9	573,7
Cáceres	7,4	7,6	6,6
Total	431,1	570,5	580,3

En las empresas y trabajadores del sector, según se muestra en la Tabla 2.8, el total de empresas dedicadas a la elaboración de vino en la provincia de Badajoz asciende a 180 en 2015, lo que representa un 78,3% del total en la región [66].

Tabla 2.8. Número de empresas del sector vinícola extremeño.

	Número	Porcentaje
Badajoz	180	78,3%
Cáceres	50	21,7%
Total	230	100,0%

En relación a la forma jurídica de las empresas, datos correspondientes a 2015 muestran una clara tendencia a adoptar la figura de autónomo, debido a que la mayoría de los titulares son pequeños propietarios que representan el 40% del total del sector. Otras opciones son las sociedades limitadas, forma jurídica adoptada mayoritariamente por empresas familiares (26,5%) y las cooperativas, que alcanzan el 13,9% del total de las empresas del sector. La Tabla 2.9 resume las cifras y porcentajes comentados.

Tabla 2.9. Número de empresas del sector vinícola extremeño por figura jurídica.

	Cooperativas	Autónomos	S.A.	S.L.	C.B.	Otros
Nº empresas	32	92	11	61	24	10
% Total	13,9%	40,0%	4,8%	26,5%	10,4%	4,3%

En cuanto a los trabajadores, es preciso indicar que el empleo es mayoritariamente estacional, clasificándose las plantillas de personal por tramos como los establecidos por la Cámara de Comercio de Badajoz. Así, la Tabla 2.10 muestra el número de empresas del sector por tramos de trabajadores en 2015.

Tabla 2.10. Número de empresas del sector vinícola extremeño por tramos de personal.

	1-5	6-10	11-25	26-50	51-100
Badajoz	137	22	17	1	2
Cáceres	46	3	1	1	0
Total	183	25	18	2	2

De este modo, queda claro que la mayoría de empresas del sector, en ambas provincias y con las formas jurídicas más habituales, se encuentran en el tramo comprendido entre 1 y 5 trabajadores.

Por último, en la Tabla 2.11 se exponen las ventas, mayoritariamente de vino a granel. Se pone de manifiesto que la mayoría de las empresas ni exportan ni importan, representando un porcentaje del 81,3% del total, mientras que el 15,2% sí exportan a otros países o a otras provincias dentro del país.

Tabla 2.11. Número de empresas exportadoras e importadoras de vino en Extremadura.

	Exportan	Importan	Exportan e importan	No exportan e importan
Nº empresas	32	3	6	187
% Total	15,2%	1,3%	2,6%	81,3%

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL VINO. INSTALACIONES, MAQUINARIA Y EQUIPOS

3.1 Descripción general del proceso productivo

El proceso de elaboración del vino, también denominado proceso de vinificación, es el conjunto de operaciones realizadas con el fin de obtener vino a partir de la uva recolectada.

No existe una única forma de vinificación, ya que este proceso depende del tipo de vino que se quiera elaborar, que a su vez está condicionado, entre otras causas, por la variedad de uva empleada.

La uva se compone de raspón o escobajo y grano. Este último consta de varias partes: el hollejo, la pulpa y las pepitas, en las que se encuentran las sustancias que proporcionan las propiedades aromáticas y de color final del vino, además de los microorganismos que generan su fermentación.

De este modo, el proceso de vinificación puede dividirse en tres fases generales:

1. Fase prefermentativa.
2. Fase fermentativa.
3. Fase postfermentativa.

La fase prefermentativa se desarrolla en la zona de recepción y descarga de la bodega, y en ella se llevan a cabo operaciones tales como la vendimia en la explotación, estrujado, desraspado o despalillado, prensado y los tratamientos biocondicionadores y correctores.

Durante la fase fermentativa o fermentación se convierte el mosto en vino. Este proceso se produce gracias a la acción de un microorganismo llamado *Saccharomyces cerevisiae* u “hongo del azúcar”, que es el encargado de transformar la glucosa en etanol. Se encuentran en estado natural en la capa superficial del suelo de los viñedos [28], y durante la época de maduración de la uva se adhieren a la piel de las uvas y así llegan a la bodega, mezclándose posteriormente con el mosto. La fermentación del vino blanco se lleva a cabo en la zona exterior o de almacenamiento, mientras que la del vino tinto y rosado lo hacen en la zona de procesado.

La tercera fase o postfermentativa está compuesta por las siguientes operaciones: fermentación maloláctica, trasiegos, clarificación, añejamiento y crianza, embotellado, etiquetado y distribución.

En los siguientes apartados se describen someramente las principales características de los procedimientos y operaciones que componen el proceso de vinificación.

3.2 Procesos de vinificación

El proceso de vinificación se desarrolla en catorce etapas consecutivas: control de la maduración en campo, vendimia, recepción en bodega y toma de muestras, operaciones mecánicas, encubado, fermentación alcohólica, descube, fermentación maloláctica, prensados, trasiegos, clarificación y filtración, envejecimiento, crianza y embotellado.

3.2.1 Control de la maduración en campo

El control de maduración en campo viene dado por la necesidad de conocer el momento óptimo de maduración fenólica en la uva. Así, el análisis de grado Baumé determina el nivel de azúcar contenido en la uva, iniciándose la recolección cuando el contenido en azúcar de la uva alcanza el máximo, mientras paralelamente desciende su acidez.

3.2.2 Vendimia

El inicio de la vendimia, definido por el grado de madurez de la uva, resulta pues determinante para las características y la calidad del vino. Tradicionalmente, la recolección se inicia con la uva tinta y prosigue con la uva blanca, siendo un proceso continuo que tiene lugar desde finales de agosto hasta septiembre, y que dura alrededor de 6 a 12 semanas [67] [68].

3.2.3 Recepción en bodega y toma de muestras

Una vez recepcionada la uva en la bodega, se procede a su pesaje, extrayendo en cada una de estas entradas una muestra representativa del producto. El enólogo o técnico responsable será quien determine, después de analizar la uva, el depósito al que irá destinada para su fermentación, dependiendo del estado sanitario de la uva u otros criterios.

Para potenciar la calidad de los vinos, el procesado de la vendimia debe realizarse lo más rápidamente posible, llegando los racimos casi intactos para evitar maceraciones incontroladas e inicios de fermentaciones.

3.2.4 Tratamiento mecánico de la vendimia y corrección

Las operaciones mecánicas efectuadas en esta fase son el estrujado, despalillado, escurrido y sulfitado.

El estrujado consiste en romper el hollejo de los granos de uva para extraer el mosto de la misma sin romper las pepitas ni el escobajo. Esta operación se realiza antes del encubado mediante máquinas llamadas estrujadoras o pisadoras [71].

El despalillado consiste en separar los granos de uva de la parte herbácea del racimo, como es el raspón o escobajo. Este procedimiento se practica en la vinificación en tinto para evitar que el vino tenga un exceso de taninos, no siendo imprescindible en blanco. Para su realización suele emplearse una despalilladora horizontal, si bien la elección de la maquinaria vendrá dada por el vino que quiera hacerse (más suave, más tánico, etc.).

La operación de despalillado supone las siguientes ventajas: economía de espacio ocupado —menos envases de fermentación, menor cantidad de vendimia a prensar y menor cantidad de orujos a manipular—, mejora gustativa de los vinos —los elementos disueltos de los raspones presentan sabores astringentes, vegetales o herbáceos—, aumento de la graduación alcohólica —el raspón absorbe alcohol, solo contiene agua y no azúcares— y aumento del color. En cuanto a sus inconvenientes, el despalillado aumenta las dificultades de vinificación, dado que la presencia de raspones facilita la conducción de la fermentación, absorbiendo calorías y limitando los excesos de temperatura, a la vez que permiten la penetración de aire dentro de la masa de hollejos en una vinificación en tinto.

En relación al escurrido, su principal objetivo es separar de la vendimia una gran cantidad de mosto o vino para obtener una fracción importante, así como optimizar el sistema de prensado posterior. Se trata de una operación delicada, y de su ejecución depende en gran medida la calidad del vino elaborado, siendo la rapidez la principal característica que debe exigirse, así como también la menor incorporación posible al mosto de aire y de fragmentos vegetales procedentes de las partes sólidas de la vendimia. Básicamente consiste en un sistema semejante a una prensa continua de tornillo, diferenciándose solamente por adoptar una posición inclinada para que la vendimia escurrida que sale caiga por gravedad hacia la siguiente máquina.

Por otro lado, durante el sulfitado se agrega dióxido de azufre con fines antisépticos y particularmente disolventes [69]. En concreto, el azufre actúa como antioxidante, antiséptico, fija la acidez, disuelve la materia colorante, es un estimulante de las levaduras y hace una función inhibidora contra las bacterias. Una vez realizado el proceso mecánico, la pasta del hollejo junto con su zumo pasan a través de una bomba de vendimia, que tiene conectado un dosificador de sulfuroso para pastas, y que se adiciona en función de la petición del enólogo, pasando posteriormente a los depósitos donde se realizará la fermentación. La dosis de utilización del sulfuroso estará condicionada, en gran medida, por el grado de madurez, el estado

sanitario, la temperatura, la acidez y el pH. Generalmente se incorporan de 5 a 10 gr/hl. En la actualidad, se tiende a disminuir la dosis de dióxido de azufre en vendimia, ya que se controla la obtención de uvas sanas, a la vez que se mantiene una rigurosa higiene en todo el proceso y en los materiales utilizados.

3.2.5 Encubado

Después de los procedimientos de estrujado, despalillado y sulfitado, la masa resultante pasa a distintos depósitos en función de la tipología de vino a elaborar, operación a la que se denomina encubado.

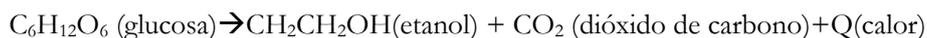
Existen multitud de depósitos para distintos fines, siendo en general de acero inoxidable, madera, cemento, etc. En todos los casos, los depósitos destinados a fermentación se llenan hasta $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad, dado que la masa incrementa su volumen durante la reacción de fermentación debido a una doble causa: el incremento de la temperatura y la existencia de *sombrero* (el dióxido de carbono desprendido en la reacción de fermentación empuja a los hollejos y partes sólidas hacia la parte superior del depósito, conformando una masa sólida que recibe este nombre).

En cuanto a cifras, Hidalgo Togores J. [69] ha concluido que por cada 100 kg de uva desraspada se obtiene un volumen máximo de unos 106 litros. Finalmente, es preciso indicar que en el volumen que queda libre del depósito se formará lo que se llama el colchón del dióxido de carbono, que evitará la acetificación del sombrero.

3.2.6 Fermentación alcohólica

La fermentación es un proceso exotérmico, es decir, que libera grandes cantidades de calor, lo cual obliga a los productores a controlar la temperatura para evitar la pérdida de compuestos volátiles aromáticos y el aumento de taninos o incluso la muerte de la levadura por la elevación excesiva de la temperatura. A temperaturas muy bajas se puede interrumpir la continuidad del proceso de fermentación, echando a perder el caldo en vinificación. Las temperaturas óptimas suelen ser las comprendidas entre 14 y 18°C, para vinos blancos, y entre 25 y 28°C, para vinos tintos.

La fórmula química del proceso de fermentación alcohólica es la siguiente:



El proceso de fermentación se ejecuta de forma diferente en función de la variedad de vino que se pretenda obtener, si bien se distinguen dos tipos de fermentaciones en función del momento en que tienen lugar.

La primera fermentación, denominada fermentación alcohólica, espontánea o tumultuosa, se produce con la ayuda de los fermentos y levaduras de la propia uva o por medio de levaduras artificiales seleccionadas.

Posteriormente tiene lugar una segunda fermentación, denominada lenta o maloláctica, que es producida por bacterias que transforman el ácido málico del vino en ácido láctico, consiguiendo que el vino pierda acidez y que gane finura y complejidad aromática.

De este modo, se diferencian tres tipos de procesos de fermentación alcohólica [70]:

1. En vinificación de tintos.
2. En vinificación en rosados.
3. En vinificación en blanco.

3.2.6.1 Fermentación alcohólica en tintos

En la fermentación alcohólica de vinos tintos se lleva a cabo un proceso de maceración-fermentación, que únicamente se da en la elaboración de vinos tintos y rosados.

En los vinos tintos, el mosto se hace fermentar en presencia de las partes sólidas de la uva, como el hollejo, la pulpa y las semillas —a este conjunto de partes sólidas se le denomina “madres”—, siendo por tanto la base de los vinos tintos, dado que en ese proceso se logra extraer la materia colorante [72].

En la maceración-fermentación tienen lugar dos procesos fundamentales: por una parte, la fermentación alcohólica, donde los azúcares se transforman en alcohol y, por otro lado, el proceso de extracción de compuestos de las pieles (maceración), que determinará las características del vino final.

La fase de maceración-fermentación del vino tinto tiene una duración variable. El mosto y la masa o parte sólida se mantienen encubados controlando la temperatura de fermentación.

Asimismo, existen otros tipos de maceraciones, como son la maceración carbónica y la prefermentativa [73].

La maceración carbónica es empleada para elaborar vinos jóvenes, de consumo precoz, en gran número de zonas vitivinícolas. Consiste en colocar las uvas en depósitos saturados de dióxido de carbono y a temperaturas relativamente elevadas, donde la uva sufre un proceso de disolución suave y prolongada que permite obtener un vino con aroma y sabor particular.

Dentro de las nuevas tecnologías empleadas en el proceso de elaboración de vinos tintos destaca el denominado *Sistema Flash*. Esta técnica se basa en el calentamiento y sobre presurización de la pasta de vendimia con vapor caliente procedente del propio mosto, produciéndose un calentamiento y una sobrepresión de vapor de agua dentro de las células de la pared celular. Al provocarse justo después una expansión súbita de dicha sobrepresión, las paredes celulares se rompen, lo que facilita enormemente la posterior solubilización de los contenidos vacuolares de las células, consiguiendo en un tiempo mucho más reducido los mismos o mejores efectos de la maceración carbónica [74].

En cuanto a la maceración prefermentaria, también conocida con el nombre de maceración pelicular, es un sistema utilizado en algunas regiones vitivinícolas como práctica de elaboración de caldos en un sistema tradicional. No obstante, paralelamente a la extracción de aromas, el mosto se enriquece en sustancias astringentes y desagradables, potencialmente peligrosas para la evolución del vino, como polifenoles que aceleran el pardeamiento. Una práctica muy utilizada es la maceración a baja temperatura durante un tiempo corto, en función de las características varietales.

En esta fase de maceración es en la que se genera el sombrero, que debe ser removido, manual o mecánicamente, para favorecer la maceración (cesión de los colorantes del hollejo al mosto). Este proceso se denomina remontado, siendo una práctica de gran utilidad en la elaboración de vinos tintos y, sobre todo, para vinos destinados a la crianza. Así, tras el llenado del depósito debe realizarse un remontado de homogeneización de la pasta con el sulfuroso y con las levaduras y enzimas que se han adicionado, siendo necesarios sucesivos remontados con aireación cuando se empieza a agrietar el sombrero, para evitar acetificaciones del mismo y la asfixia de las levaduras. En la práctica se realizan 1 o 2 diarios, remontando a 1/4 o 1/5 del volumen del depósito.

El remontado tradicional se hace sangrando mosto por la parte inferior del depósito y haciéndolo caer, a través de una bomba de pastas, a la parte superior del depósito, mojando el sombrero. Actualmente, los depósitos autovaciantes llevan un sistema muy sofisticado de remontados con bombas programadas para realizar esta tarea. Los remontados iniciales favorecen la extracción de la materia colorante y de los polisacáridos pegados a la pared celular de la uva, mientras que los remontados finales favorecen la extracción de componentes astringentes de la pepita, que en determinadas prácticas enológicas resultan de interés.

Para realizar un remontado eficaz basta con tener otro depósito disponible para trasegar todo el mosto al depósito vacío, dejando sólo el sombrero, y posteriormente añadir al depósito inicial el mosto dejándolo caer sobre el sombrero para que cuando reflote quede desmoronado y no se forme una pasta dura.

En la actualidad, en algunas bodegas se utilizan sistemas de depósitos auxiliares para la realización de remontados, dirigidos mediante puentes grúa o a través de un sistema de raíles, que logran extraer el máximo potencial de las uvas sin utilizar ningún mecanismo de bombeo. Este mecanismo se denomina *sistema OVIS* [69].

3.2.6.2 Fermentación alcohólica en blancos

La fermentación que se da en ausencia de los orujos se denomina "en blanco" y se utiliza para la producción de este tipo de vinos.

Para ello y a diferencia de la fermentación en tinto, la uva, una vez estrujada y sin despalillar, se prensa en equipos neumáticos con una presión muy suave para obtener el mosto en flor, yema o de primera calidad.

Este mosto pasa directamente a unos depósitos de desfangado en los que se encuba durante horas para facilitar la precipitación de las partes sólidas que el caldo pudiera contener, fermentando posteriormente en depósitos destinados para ello [75].

En este punto, si se evita la fermentación del caldo mediante la incorporación del dióxido de azufre, el producto resultante es mosto en lugar de vino [76].

3.2.6.3 Fermentación alcohólica en rosados

El vino rosado es un vino intermedio entre el blanco y el tinto. En general, puede afirmarse que se trata de un vino cuya materia prima es la uva tinta elaborada con una maceración muy corta o limitada y que, sin embargo, sigue el proceso de vinificación de la uva blanca.

Los vinos rosados se pueden elaborar siguiendo dos técnicas:

1. Vino rosado de vinificación en blanco: se elabora con uvas tintas tratadas como si fueran blancas y siguiendo los mismos procesos de estrujado, escurrido y prensado, pero sin las precauciones de limitación de la maceración que, por regla general, se toman cuando se trata de la vinificación en blanco. Habitualmente se utiliza el mosto prensa para obtener una coloración adecuada, se añade sulfuroso en dosis adecuadas —como si se tratase de un blanco— y el desfangado prácticamente no se realiza si la vendimia es correcta. El resto de las operaciones se realiza como en la vinificación de los blancos.
2. Vino rosado de maceración parcial: se trata de vinos llamados comúnmente claretes. Su elaboración se inicia como en el caso de los tintos. Se llena un depósito de uva estrujada, despalillada y sulfatada. La maduración dura aproximadamente entre 6 y 12 horas. A partir de este momento, el mosto extraído o sangrado del depósito se trata como blanco.

3.2.6.4 Tareas auxiliares durante el proceso de fermentación alcohólica

Durante la fase de fermentación alcohólica, independientemente del proceso de vinificación que se lleve a cabo, es necesaria la realización de algunas tareas auxiliares o complementarias. Entre ellas destacan las siguientes:

1. Control de la densidad y la temperatura: el control de la densidad y la temperatura se debe realizar al menos dos o tres veces al día durante el tiempo que dura la fermentación, para poder detectar si hubiera una parada de la misma y reaccionar en el menor tiempo posible.

2. Corrección de la acidez: más o menos a partir de las cuatro horas de la adición del dióxido de azufre, se toma una muestra y se añade el ácido tartárico que se necesite [69]. Siempre es aconsejable añadir el tartárico en la uva porque así se regulariza el trabajo de las levaduras y de las bacterias.
3. Incorporación del pie de cuba: en ocasiones, no solo se trabaja con las levaduras que, de forma natural, trae la materia prima del campo, sino que el empleo de levaduras secas activas es una práctica muy utilizada en bodega para iniciar la fermentación de los caldos, dado que permite una buena conservación, un cómodo manejo y difícil contaminación.

3.2.7 Descube

Una vez finalizada la fermentación alcohólica, o algunos días antes si no se persigue un vino demasiado tánico, se descuba o sangra el vino resultante.

El descube o sangrado consiste básicamente en el trasvase del caldo obtenido —vino ya—, a otro depósito, para dejar atrás o separarlo de los orujos, en el caso del vino tinto, y de los restos sólidos de la vendimia, en el caso de vinos blancos y rosados que han decantado según el principio de gravitación.

El vino obtenido, denominado vino de yema, flor o de primera calidad, se trasvasa a un depósito o una bodega donde se produce, con un control exhaustivo de las condiciones térmicas, la fermentación maloláctica que otorga al vino un carácter más suave y un acabado más armónico.

3.2.8 Fermentación maloláctica

Como se ha indicado con anterioridad, la fermentación maloláctica es producida por bacterias que transforman el ácido málico del vino en ácido láctico. Para aclarar la procedencia de este ácido málico, es preciso destacar que entre los constituyentes de la uva se encuentran principalmente tres ácidos orgánicos: el ácido tartárico, el ácido málico y el ácido cítrico.

El ácido cítrico desaparece rápidamente durante el proceso de fermentación alcohólica. En cuanto al ácido málico, resulta de suma importancia biológica para el vino. En primer lugar, durante la fermentación alcohólica es transformado por las levaduras y ciertas bacterias —llamadas lácticas— en ácido láctico. Una vez terminada la fermentación alcohólica, estas bacterias que suceden a las levaduras alcohólicas efectúan lo que se conoce como segunda fermentación o fermentación secundaria, en que el ácido málico es transformado en ácido láctico. Finalmente, el ácido tartárico, el más estable de los tres ácidos citados, pasa a formar el verdadero constituyente ácido de los vinos.

3.2.9 Prensados

Una vez realizado el descube del depósito, la pasta es conducida a la prensa a través de una cinta transportadora, o bien se coloca la prensa justo debajo del depósito.

El prensado consiste en oprimir todo el grano, sacando así los componentes de la piel y las pepitas, además del jugo del fruto. Para respetar la calidad de la primera fracción del mosto flor, yema o de primera calidad, se han de vinificar por separado, ya que los mostos obtenidos de las últimas fracciones del prensado originarán vinos más bastos, con más polifenoles, mayores notas herbáceas, así como un contenido más bajo de acidez total.

Del primer prensado de la pasta, que se realiza con una presión suave, el vino obtenido—denominado vino prensa— que suele añadirse al vino yema porque es donde se encuentran todos los precursores aromáticos. En algunas bodegas, buscando una mayor calidad final, solo se añeja el vino que escurre libremente de la prensa.

Posteriormente, según la menor o mayor presión ejercida en los distintos momentos del prensado, se obtiene un vino de mayor o menor calidad, respectivamente, siendo aconsejable envejecer los vinos ya mezclados en lugar de criar los vinos yema y prensa por separado.

3.2.10 Trasiegos

Los trasiegos que se efectúan en las bodegas permiten ir liberando el vino de las impurezas que todavía contiene.

Una vez terminada la fermentación, el vino pierde temperatura y se precipitan al fondo del depósito los elementos sólidos denominados *borras*, no siendo aconsejable que los vinos estén mucho tiempo con ellas. Para evitarlo comienzan los trasvases, efectuados con bombas y filtros, a fin de eliminar las partículas en suspensión del vino, las cuales precipitan en el fondo de los depósitos (restos de hollejos, escobajos, etc.).

Con el primer trasiego se eliminan el dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno [30] [31]. Al mismo tiempo, el vino se oxigena, lo que favorece su evolución posterior. Generalmente se hacen tres trasiegos, uno en diciembre, el segundo en abril y el tercero en septiembre. En algunas bodegas, en el momento del tercer trasiego se procede a una refrigeración para precipitar y coagular las sustancias todavía en suspensión, quedando así el vino limpio y brillante.

3.2.11 Clarificación y filtrado

Cuando, pese a los trasvases, el vino no presenta el grado de pureza deseado, es preciso proceder a su clarificación y, probablemente, a su filtrado para evitar que se estropee [71]. Para clarificarlo, se utilizan sustancias de naturaleza coloidal, vegetal o animal (gelatinas, albúmina de huevo, caseína...) que por efecto de floculación arrastran los sólidos.

Destacan dos procedimientos de clarificación [77]:

1. Clarificación de albúminas: este proceso se aplica para la clarificación de los vinos tintos. Debido a su alto contenido albuminoso, la clara del huevo resulta idónea puesto que liga los taninos ásperos y agrios con mayor intensidad que los taninos más suaves.
2. Flotación: técnica de separación basada en la diferencia de densidad o peso específico entre el fluido y las partículas que tiene en suspensión. Este procedimiento utiliza las mismas bases que la sedimentación, pero en sentido contrario, haciendo que los sólidos en suspensión tengan menor densidad que el líquido —debido a la disolución de gas con el sólido— y formando un agregado sólido-gas que sube a la superficie.

Un segundo método para eliminar la turbidez es la filtración, consistente en hacerlo pasar a través de una capa filtrante con poros muy finos.

3.2.12 Depósitos de envejecimiento

El envejecimiento de los vinos se determina por el tiempo que pasa el vino en un depósito o en una bodega después de su fermentación alcohólica.

En la actualidad, existe una combinación de ambos elementos denominado *Inserstave* [78]. Este sistema emplea en el interior del depósito de acero inoxidable unas tablas de madera de roble francés o americano que tienen el mismo tratamiento que la madera utilizada para la construcción de bodegas, y que se colocan mediante una estructura de acero inoxidable dentro del depósito, generando las mismas condiciones que aporta la bodega con ayuda de un aparato microoxigenador.

3.2.13 Crianza

Los vinos tintos pueden ser jóvenes, cuyas características más destacadas son la frescura y el frutado. No obstante, los grandes vinos tintos o clásicos son objeto de un proceso de crianza, que consiste en estacionar los vinos en bodegas de madera, donde tras la fermentación maloláctica se suceden una serie de procesos físico-químicos, notablemente complejos, para llegar a lo que se conoce como “envejecimiento” o

“añejamiento” del vino, en los que éste se enriquece sobre todo en compuestos aromáticos del “buque”, a la vez que se estabiliza el color de los mismos.

En esta parte del proceso se distinguen dos fases bien diferenciadas: en la primera, el vino empieza a desarrollar cualidades gustativas y adquiere limpidez y estabilidad; en la segunda, de envejecimiento propiamente dicha, el vino alcanza su desarrollo y calidad óptimos. Durante la primera fase, el vino está sometido a una suave y progresiva oxidación provocada por el escaso oxígeno que penetra por los pequeños poros de la barrica. El oxígeno se disuelve en el vino y se combina con sus componentes (taninos y antocianos). Al mismo tiempo, la madera cede al vino sus aromas, uniéndose a los ya existentes y retardando la decadencia. La crianza puede realizarse en diversas modalidades de barrica. Las más empleadas son las de roble francés y americano.

Con este proceso se pierden algunas de las cualidades del vino joven mientras que se adquiere lo que se define como buqué, que variará según repose el vino en madera o en cristal.

3.2.14 Embotellado

El proceso de crianza culmina con el embotellado, el cual se efectúa cuando el productor estima que la crianza del vino ha alcanzado su perfección.

Para un buqué completo resulta ideal la combinación de ambos recipientes, ya que facilitan el doble envejecimiento: en una primera etapa, la oxidación en las tinajas o barricas de roble; en la segunda, la reducción en botellas de vino. La botella siempre debe estar en posición horizontal para favorecer que el corcho esté siempre mojado, evitando así pérdidas por sequedad.

Existen botellas de distintos colores, las más corrientes son las verdes (claras u oscuras) y las transparentes. El color de las botellas influye en el acabado del vino de su interior, debido a la acción de la luz que varía en función del color. Los vinos en botellas transparentes envejecen más rápido, por lo que el vino blanco suele envasarse en botellas de color claro y el tinto en botellas de vidrio verde oscuro (que mejora el aroma y protege el vino de alteraciones químicas).

3.3 Esquemas de elaboración

A modo de resumen, la Figura 3.1 muestra los distintos procesos de vinificación seguidos habitualmente en la elaboración de vino tinto, blanco y rosado [47].

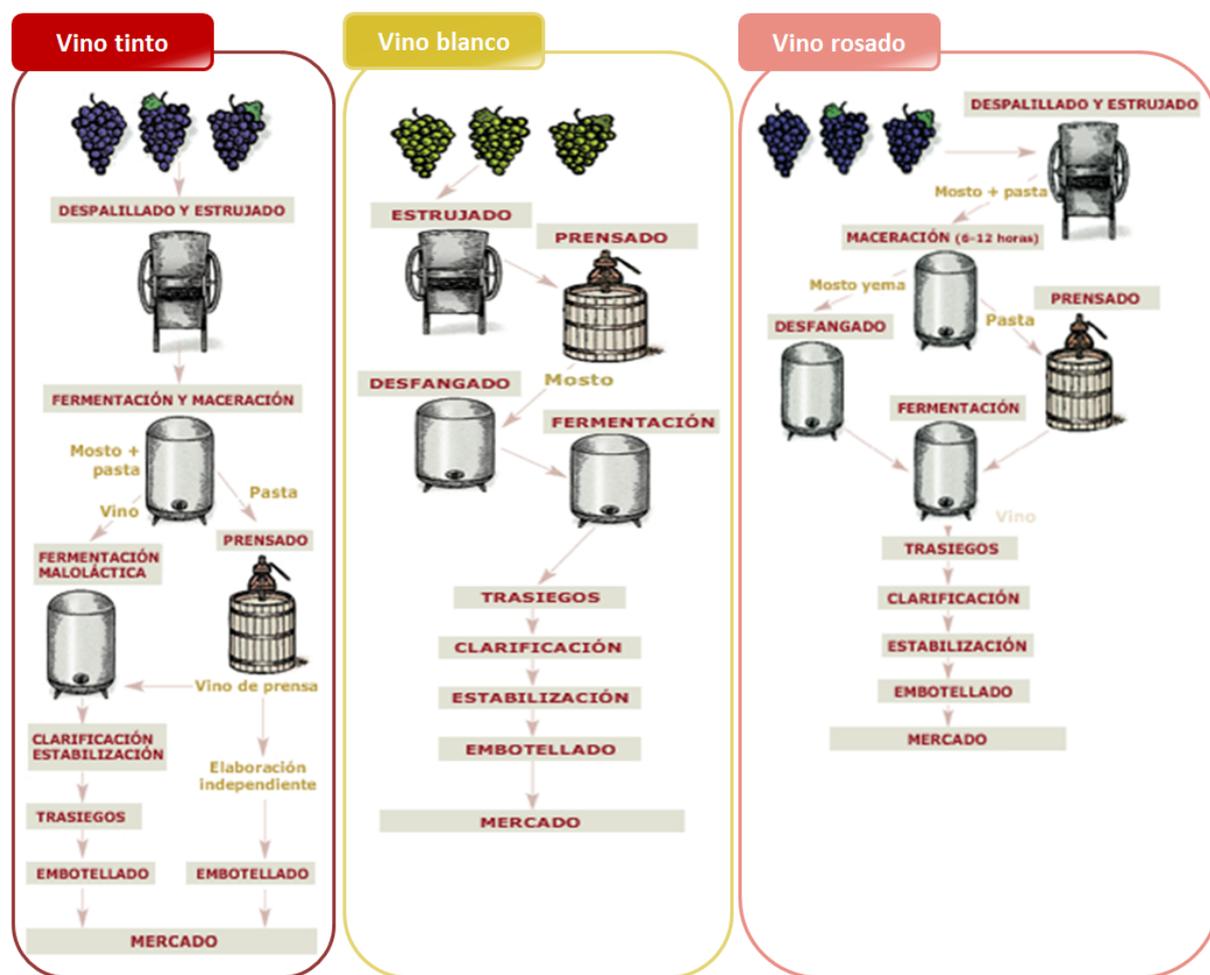


Figura 3.1. Procesos de vinificación.

3.4 Descripción de instalaciones, maquinaria y equipos

3.4.1 Descripción general de las instalaciones

La bodega es un conjunto de edificios, equipos e instalaciones destinados al proceso de fabricación del vino, donde la uva, tras una serie de etapas o transformaciones, se convierte en vino.

En general y con independencia de su tipología, en una bodega se diferencian las siguientes zonas [47]:

1. **Zona de recepción**, donde se encuentra la báscula y el equipo de toma de muestras empleado para determinar el peso y la graduación de la uva que entra en bodega.
2. **Zona de descarga**, donde se ubica la plataforma volteadora que permite depositar la uva en la tolva de recepción con el objetivo de distribuir regularmente y evacuar los mostos libres a la prensa, en la elaboración de vino blanco, o a los depósitos autovaciantes, en la producción de vino tinto.

3. **Zona de procesado o elaboración**, que comprende desde la salida de la tolva de descarga hasta la entrada en los depósitos de fermentación.
4. **Zona de fermentación y almacenamiento**, en la que se incluyen los depósitos o cubas para la fermentación, trasegado y conservación del vino elaborado.
5. **Zona de crianza y envasado**, compuesta por recintos donde se controlan determinadas condiciones de luz, temperatura, humedad, etc., y en la que el vino permanece durante unos meses en barricas de roble para su envejecimiento, y por zonas de envasado, donde se llevan a cabo las tareas de limpieza, llenado, etiquetado y expedición de los diferentes tipos de envases.

3.4.2 Elementos y equipos empleados en el proceso de vinificación

La maquinaria utilizada en el procesado de la vendimia en la bodega está fundamentalmente destinada a la extracción total o parcial del mosto en las vendimias frescas o del vino en el caso de las fermentadas.

Las prensas son las máquinas que, por excelencia, se destinan a estos fines, siendo necesarios también otros equipos auxiliares, como despalladoras, estrujadoras, bombas y tuberías de vendimia, evacuadores de escobajos, dosificadores de gas sulfuroso, extractores y contenedores de orujos, y que se emplean antes o después de la fermentación alcohólica y en función de los distintos tipos de elaboración de vinos.

Esta maquinaria posibilita también el transporte de la vendimia dentro de la bodega, generalmente por medio de tuberías de gran diámetro, con destino a las distintas etapas del proceso de elaboración.

3.4.3 Tolvas de recepción

Las tolvas son los elementos más comunes para la recepción de vendimia, permitiendo el almacenamiento de la misma en tiempos variables, desde algunos minutos hasta horas en casos extremos. A la vez, hacen de “pulmón”, regulando el caudal hacia las siguientes máquinas de procesado [69].

Suelen fabricarse en acero inoxidable, de forma asimétrica, con diámetro y paso de sinfín grande o con motorvariador de velocidad, siendo aconsejable una longitud del sinfín pequeña para reducir el rozamiento.

Desde el punto de vista físico o constructivo, las tolvas de recepción se diferencian por las siguientes características:

1. Volumen: que permita el funcionamiento continuo del proceso, de tal modo que su capacidad se determina por el equilibrio entre el ritmo de descarga y el rendimiento de las máquinas de procesado. Normalmente, las capacidades oscilan entre 5 y 20 m³, que se corresponden con cantidades de entre 4.000 y 16.000 kg de uva.

2. Rendimiento: cantidad de uva por unidad de tiempo que puede aportar al proceso; suele medirse en kg o t/hora, con valores comprendidos entre 10 y 40 t/hora.
3. Forma: suele ser piramidal, con la arista de fondo y paredes laterales inclinadas para facilitar el deslizamiento de la vendimia y evitar la formación de “bóvedas” o “efecto puente”.
4. Transportador de fondo: puede ser un tornillo “sinfín”, una cinta deslizante e incluso una plataforma vibratoria inclinada. Los tornillos sinfín son la mejor solución para transportar y evacuar la vendimia, pues ofrecen un caudal muy regular, aunque producen rotura y dislaceraciones en los racimos, que se evitan con sinfines de gran diámetro (400 a 600 mm), “paso” amplio (400 mm) y velocidades de giro lentas (10 a 20 rpm). Para impedir la formación de bóvedas, suelen utilizarse sinfines de gran diámetro, o bien se instalan dos tornillos en paralelo que, además de incrementar la anchura del fondo de la tolva, giran a velocidades diferentes. Los sinfines pueden estar colocados horizontalmente en el fondo de las tolvas prismáticas o en posición inclinada ascendente en las de tipo piramidal.

La descarga de la vendimia suele realizarse por la parte trasera de los remolques que la transportan. Actualmente, la práctica totalidad de los remolques agrícolas son auto basculantes, con lo que se agiliza notablemente la descarga de la vendimia a la tolva. Otros sistemas de descarga, si bien menos utilizados, son los remolques con tornillo sinfín de fondo incorporado, remolques de tipo “tijera”, descarga por “garra” o “cuchara” y el vaciado de la vendimia por succión.

3.4.4 Estrujadoras

Inicialmente, el estrujado era la única operación que se podía aplicar a una vendimia para extraer su mosto, realizándose mediante un aplastamiento directo con los pies (pisado); posteriormente aparecieron las prensas, que permiten aprovechar una mayor cantidad del mosto contenido en los racimos estrujados.

El estrujado se concibe como una operación de gran importancia en la elaboración de los vinos, debiéndose rasgar simplemente el hollejo por un meridiano de la baya, liberando el mosto y las pepitas de su interior, y siempre sin triturar los hollejos ni tampoco laminar las pepitas. La excesiva rotura de los hollejos, por un estrujado excesivo de las bayas o por un transporte inadecuado, se traduce en un aumento del volumen de fangos y lías, así como una mayor cesión de ácidos grasos [69].

El estrujado de mayor calidad es el realizado por pisado directo de la vendimia, sometiendo a los granos de uva a una suave presión radial entre sus polos opuestos, que hace abrirse suavemente los hollejos. Las máquinas estrujadoras de rodillos sustituyeron al pisado humano, evolucionando más tarde hacia estrujadoras centrífugas de alto rendimiento, pero generadoras de malas calidades, lo que ha conducido en los últimos años al resurgimiento de las anteriores máquinas de rodillos, dotadas de algunas modificaciones que anulan los defectos que presentaban las primitivas.

La intensidad del estrujado debe ser perfectamente regulada en cada bodega, de acuerdo con las necesidades de elaboración de la vendimia, pudiendo abarcar desde un respeto total a la integridad de las bayas hasta lograr, en el extremo opuesto, una profunda rotura de las mismas. También debe tenerse en cuenta que, durante el transporte posterior de la vendimia estrujada, puede producirse todavía una mayor cantidad de roturas, dependiendo del tipo de bomba utilizada y de las características de la tubería de vendimia instalada.

En cuanto a la tipología de las máquinas, se utilizan fundamentalmente los siguientes tipos:

Estrujadoras de rodillos

Su funcionamiento consiste en dos rodillos paralelos, situados a una cierta distancia y que giran en sentido contrario, permitiendo el paso de los racimos o granos de uva entre ellos y provocando un aplastamiento de las bayas. Puede instalarse una simple pareja de rodillos o varias en la misma máquina, dependiendo del rendimiento deseado en la línea de elaboración.

Los rodillos primitivos estaban contruidos de madera dura, evolucionando hacia los de hierro fundido. En la actualidad, el concepto de las estrujadoras de rodillos no ha cambiado en lo sustancial, estando formadas por rodillos huecos o macizos, contruidos en aluminio o sus aleaciones (silumin) o de un material relativamente blando como puede ser nylon o goma alimentaria. Asimismo, el perfil de los rodillos adopta una forma en estrella o de engranaje con dientes redondeados, que engranan entre sí, denominándose *perfiles conjugados*. Esta construcción permite el paso de la vendimia entre los dos rodillos, de una manera suave y sin provocar excesivas roturas en la misma.

La velocidad de giro de los rodillos es variable, oscilando desde 100 a 1200 rpm y debiendo estar provistos de un mecanismo de protección, que impida un accidental bloqueo ante objetos extraños más duros que pueda contener la vendimia (piedras, podaderas, etc.). La separación entre rodillos debe ser también regulable—unos 5 mm—, con el propósito de adaptarlos a cada variedad de uva.

Estrujadoras centrífugas

Son máquinas que realizan las operaciones de estrujado y despalillado al mismo tiempo. Los racimos de uva entran en la máquina generalmente por la parte superior, dirigiéndose hacia el interior del tambor vertical u horizontal fijo y perforado, donde un eje provisto de paletas gira a una elevada velocidad comprendida entre 300 y 700 rpm.

La vendimia es fuertemente golpeada hacia el exterior por acción de la fuerza centrífuga, estrellándose contra una rejilla perforada, donde la vendimia se estruja pasando hacia fuera y quedando los raspones retenidos en su interior, para después salir por el lateral de la máquina. Todos estos mecanismos están dentro de otro cilindro exterior estanco, que tiene por misión recoger la vendimia estrujada y despalillada, evitando su proyección hacia fuera.

No obstante, el tratamiento de los granos de uva es bastante violento, triturándose en exceso los hollejos y las pepitas y aumentando la oxidación de las vendimias por la gran cantidad de aire que penetra en el interior de las máquinas. Por ello, pese a ser máquinas de alto rendimiento y de sencillez de manejo, desde el punto de vista de la calidad de la vendimia procesada presentan muchos inconvenientes, estando incluso prohibida su utilización en los reglamentos de las Denominaciones de Origen.

3.4.5 Despalilladoras o desgranadoras

La operación del despalillado consiste en la separación de los raspones o escobajos que contiene la vendimia, pudiendo hacerse antes o después de su estrujado, e incluso no realizarse en la mayor parte de los casos de elaboración de vinos blancos o rosados, donde la presencia de escobajos en la masa de vendimia estrujada supone algunas ventajas.

Las despalilladoras están formadas por un tambor horizontal de chapa perforado en toda su superficie, con orificios variables de entre 25 y 40 mm de diámetro, separados de 10 a 12 mm entre sí y dispuestos al tresbolillo. El cilindro despalillador gira lentamente a una velocidad variable de entre 10 a 50 rpm, penetrando la vendimia a despalillar por un extremo del mismo, saliendo los raspones por el extremo opuesto y pasando la vendimia desgranada a través de los citados orificios, gracias a la acción de un eje o árbol despalillador situado en su interior y que gira en sentido contrario. El árbol despalillador está formado por un eje de giro que atraviesa el tambor de lado a lado, llevando una serie de vástagos o paletas de punta plana colocados perpendicularmente a este y dispuestos en forma helicoidal.

Los materiales de construcción deben ser inatacables por el mosto, generalmente de acero inoxidable, aunque también pueden utilizarse plásticos como nylon e incluso goma alimentaria. Asimismo, el tamaño y forma de los orificios debe adaptarse al tipo de vendimia a despalillar, especialmente a lo referente al diámetro de los granos de uva, así como también al tamaño de los raspones.

La alimentación de la vendimia hacia el interior del tambor se realiza mediante una pequeña tolva por encima de la parte lateral de entrada, instalándose a veces un dispositivo agitador que facilita la penetración de la vendimia al evitar posibles apelmazamientos. En otros casos, se coloca un pequeño tornillo sinfín solidario con el eje despalillador, que asegura una alimentación regular de la máquina. La evacuación de la vendimia despalillada se realiza por medio de una chapa helicoidal, colocada solidariamente por la parte exterior del cilindro despalillador y que al girar realiza la misma función, aunque de una manera más suave.

Las máquinas actuales están dotadas de variadores de velocidad, pudiendo regularse de forma independiente la velocidad de giro del tambor despalillador y la del eje del batidor, con objeto de conseguir un trabajo de despalillado lo más perfecto posible.

3.4.6 Evacuadores de raspones

Los escobajos son un material que ocupa gran volumen, formando una masa esponjosa de poco peso que debe ser retirada regularmente de las inmediaciones de las máquinas despalilladoras.

La retirada manual es una operación de poco esfuerzo, pero bastante tediosa por el volumen que se maneja, además de producir un foco de suciedad en la zona, razones que obligan a instalar un sistema automático de evacuación.

La extracción y transporte de raspones mediante aspiración neumática es el sistema más utilizado, compuesto por una pequeña tolva de acumulación, una tubería de transporte y una turbina aspiradora accionada por un motor eléctrico. La tubería debe tener un diámetro superior a 200 mm, con curvas suaves en los cambios de dirección, y generalmente se construye en PVC no necesariamente alimentario.

Otra posibilidad para la extracción de los raspones son las prensas compactadoras y empacadoras, que se sitúan por debajo de la salida de las máquinas despalilladoras, donde un pistón hidráulico compacta los raspones en una cámara de compresión, trasladando esta masa a un contenedor, o bien los corta a la salida de la prensa, para formar fardos muy similares a las pacas de paja de los cereales.

3.4.7 Ecurridores

Se distinguen dos tipos de escurridores: estático y mecánico. En los primeros, la vendimia estrujada permanece inmóvil durante todo el proceso. Previamente, la vendimia se introduce en unos recipientes especiales dotados de rejillas o superficies perforadas, a través de las cuales se consigue separar una importante cantidad de mosto que puede llegar a ser del 30 al 40% de rendimiento mosto-mosto.

Los mostos obtenidos por este sistema son casi siempre muy limpios, debido a que la masa inmóvil de vendimia hace de filtro y retiene una importante cantidad de fangos. No obstante y debido al elevado tiempo necesario para realizar esta operación, los mostos resultan a veces excesivamente macerados y oxidados. Estos inconvenientes se atenúan agilizando el proceso de escurrido mediante la utilización de escurridores provistos de una gran superficie de drenado, dosificando la vendimia con una cierta cantidad de anhídrido sulfuroso, reduciendo la temperatura de la misma o, incluso, protegiéndola bajo una atmósfera de gas inerte.

Los sistemas de escurrido estático pueden ser abiertos y cerrados; los primeros, más antiguos, pueden ser desde jaulas de listones de madera, cilíndricas y esbeltas, hasta piletas de fondo inclinado de rejilla. Los sistemas cerrados son depósitos herméticos, generalmente de acero inoxidable, dentro de los cuales se dispone de variados grupos de rejillas para la separación del mosto, todos ellos autovaciantes, para facilitar

la salida por gravedad de la vendimia escurrida hacia las prensas. La hermeticidad de estos escurridores limita las oxidaciones de la vendimia en la fase de escurrido.

En cuanto a los escurridores dinámicos, la vendimia estrujada es escurrida de manera continua, obteniéndose cantidades elevadas de mosto y rendimientos del orden del 60 al 75% mosto. La mayor velocidad del proceso de extracción hace que los mostos sean de mejor calidad, menos macerados y oxidados, pero mucho más cargados de fangos, debido a la anulación del efecto filtro de la masa de la vendimia. Las semiprensas o desvinadores son las máquinas más utilizadas para realizar el escurrido dinámico, pero también se utilizan otros dispositivos complementarios como son los escurridores.

3.4.8 Prensas

Las prensas son las principales máquinas de una bodega de elaboración de vinos. El objeto del prensado es extraer el mosto por medio de la presión ejercida sobre la vendimia una vez estrujada y escurrida, con lo que se consigue la desecación del hollejo.

Las prensas vinícolas se clasifican de acuerdo a diferentes criterios, algunos de los cuales vienen reflejados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tipos de prensas empleadas en bodegas.

Posición del cilindro-filtro	Tipo de energía aplicada	Órgano de presión	Ritmo de funcionamiento	Nombre común
Vertical	Hidráulica	Platos	Discontinuo y cíclico	Prensa vertical
Horizontal	Hidráulica	Platos	Discontinuo y cíclico	P. horiz. hidráulica de platos
Horizontal	Mecánica	Platos	Discontinuo y cíclico	Prensa horizontal de platos
Horizontal	Neumática	Membrana	Discontinuo y cíclico	Prensa de membrana
Horizontal	Mecánica	Sinfín	Continuo	Prensa continua
Horizontal	Mecánica	Tejido	Continuo	Prensa de bandas

Las prensas discontinuas funcionan cíclicamente, sucediéndose las siguientes fases: carga, prensado, descarga y limpieza. Por otro lado, las prensas continuas no tienen un ciclo de funcionamiento y las operaciones antes citadas se suceden en un recinto, donde por una parte se alimenta la máquina y por otro lugar distinto se extrae el orujo agotado.

Seguidamente se describen los diferentes tipos de prensas más utilizados.

Prensas verticales

Son las prensas más antiguas de las que hoy en día se utilizan. A pesar de los años, siguen en plena vigencia, debido principalmente a la elevada calidad de los mostos o vinos que se obtienen, siempre que se trabaje bajo determinadas condiciones. Están formadas por una jaula vertical que contiene la masa de la vendimia, y

que es presionada por un plato que desciende verticalmente, mediante un dispositivo mecánico, eléctrico o hidráulico, ejerciendo una presión sobre la masa de vendimia prensada de entre 10 y 14 kg/cm².

El mosto o vino extraído por la presión sale lateralmente a través de los orificios que tiene la jaula y se recogen en la base de la prensa, que tiene forma de bandeja. Estas prensas son difícilmente desplazables, por lo que su situación en la bodega es inamovible y es preciso transportar hasta ella la vendimia a prensar.

Prensas horizontales de platos

Este tipo de prensas surgieron a partir de las verticales, donde la jaula se dispuso en posición horizontal, pasando a giratoria y dotada de un dispositivo de fácil desmenuzado que facilita las operaciones de prensado. Con este sistema se reduce la presión necesaria y el ciclo de trabajo, al tiempo que se incrementa el rendimiento en mosto o vino, que resultan más cargados de turbios al reducirse el espesor de la masa de orujo que deben atravesar. El prensado se realiza en sucesivos ciclos, a presiones crecientes en cada uno de ellos, hasta alcanzar los 8 o 9 kg/cm² de presión máxima sobre la masa de vendimia.

Dentro de las prensas horizontales, existen variantes según su accionamiento y forma de trabajar: jaula fija o giratoria, uno o dos platos de presión, tornillo interior o exterior (fijo o giratorio), etc.

Prensas horizontales de membrana

Este tipo de equipos corresponde a la última generación de prensas discontinuas y surgieron como evolución de las prensas horizontales de platos, pudiendo estar construidas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Prensas con jaula de prensado abierta:
 - o Membrana central o axial y cilindro drenaje completo.
 - o Membrana parietal o diametral y medio cilindro de drenaje.
- Prensas cerradas o de tanque, con jaula de prensado interior:
 - o Membrana central o axial y cilindro de drenaje completo.
- Prensas cerradas o de tanque, con canales de drenaje interiores:
 - o Membrana parietal o diametral y canales de drenaje situados en medio cilindro.

Respecto de los sistemas tradicionales de prensado discontinuos, con estas prensas se consigue una superficie de presión muy importante, que permite trabajar con presiones inferiores a los 3 bar, a la vez que se aplica a la masa de vendimia una fuerza de extracción muy superior.

La superficie de drenado es también muy elevada, del orden de 4 a 6 veces superior a las prensas horizontales de platos, que permite obtener unos elevados rendimientos en mosto o vino, también una mayor calidad y con tiempos de prensado más reducidos.

Asimismo, mientras que en las prensas verticales u horizontales de platos la dirección de salida del líquido es perpendicular a la dirección de aplicación de la presión —lo que dificulta la salida del mismo—, en las prensas de membranas ambas direcciones coinciden y el recorrido del líquido es muy corto, atravesando un pequeño espesor de masa de orujos. Los líquidos salen algo más cargados de turbios que los de las prensas verticales, pero menos que los horizontales de platos, con un porcentaje de sólidos menor del 5%, aunque son siempre de una mejor calidad al aplicarse presiones mucho más reducidas.

Prensas continuas de tornillo

Desde el punto de vista operativo, este tipo de prensas son las que mejor realizan su cometido, puesto que funcionan en régimen continuo, con poca mano de obra, pudiéndose procesar grandes cantidades de vendimia (hasta 100.000 kg/hora), con bajo consumo energético y elevados rendimientos para la obtención del mosto. Sin embargo, su utilización está cada vez más restringida, debido a la baja calidad de los vinos o mostos obtenidos, por su elevado porcentaje de materias vegetales en suspensión y, sobre todo, debido a las elevadas presiones que se utilizan. Tanto es así que, en muchas Denominaciones de Origen o entidades similares se prohíbe su utilización, si bien siguen utilizándose para la elaboración de grandes volúmenes donde la calidad no es un factor determinante.

En cuanto a su funcionamiento, la vendimia penetra por una tolva de carga hacia un sinfín helicoidal que gira lentamente y que la hace avanzar hacia el otro extremo, donde una tapa o compuerta de apertura regulable la retiene parcialmente, generándose en consecuencia una presión progresiva a lo largo del tornillo y produciendo una extracción del líquido a través de una rejilla cilíndrica, mientras que el orujo agotado es expulsado por una boca de salida.

La presión progresiva permite separar mostos o vinos de distintas calidades, en función de la presión ejercida y determinada por su posición en el tornillo.

3.4.9 Transporte de la vendimia

La conducción de la vendimia entera o estrujada, fresca o fermentada, dentro de la bodega y entre diversos equipos e instalaciones (estrujadoras, escurridores, prensas, depósitos, etc.) puede ser realizada de muy diversas maneras, interesando en unos casos respetar la integridad de la vendimia y, en otros, facilitar la manipulación de la misma. Este transporte se apoya fundamentalmente en las bombas de impulsión y en los conductos de circulación.

El bombeado de la vendimia recién estrujada resulta normalmente fácil, siempre que no se haya producido una excesiva evacuación de mosto, que al dejar la vendimia más seca pueda dificultar su movimiento. En el caso de vendimias desgranadas, con una gran cantidad de bayas de uva intactas y un pequeño volumen de mosto libre, pueden surgir dificultades. El bombeo de la vendimia en fermentación supone también un problema, debido a la formación de gas carbónico y que se puedan crear grandes cantidades de bolsas comprimibles en el circuito de presión. Sin embargo, la vendimia fermentada no suele generar problema alguno, siempre que los orujos nos sean transportados excesivamente secos.

La alimentación de las bombas por gravedad, con ayuda de una pequeña tolva colocada a la entrada de la misma —llamada comúnmente “pipa” por su forma peculiar— constituye una opción muy extendida. La alimentación por aspiración no es aconsejable, dado que siempre se aspira preferentemente el mosto, lo que supone un grave inconveniente al dejar la vendimia excesivamente seca.

Existe una amplia tipología de bombas utilizadas en el transporte de la vendimia, entre las que destacan las bombas de pistón alternativo, de pistón elíptico rotativo, rotativas de paletas, rotativas planetarias, rotativas de engranajes, de tornillo y peristálticas.

En cuanto a las tuberías de vendimia, se trata de un conjunto de elementos fijos y móviles que conducen la vendimia estrujada o fermentada hacia distintos equipos u otras instalaciones dispuestas en la bodega. Se fabrican a base de materiales rígidos o flexibles, inertes frente a la vendimia y al gas sulfuroso, resistentes a la presión de bombeo, y son perfectamente lisos en su parte interior para reducir las pérdidas de carga y facilitar el deslizamiento de la masa de la vendimia.

3.4.10 Dosificadores de sulfuroso

Para la adición de anhídrido sulfuroso sobre la vendimia puede emplearse una solución de gas sulfuroso disuelto en agua o bien una inyección directa de este gas procedente de una botella [69].

En cuanto a los dosificadores de agua sulfitada, el gas sulfuroso contenido en una botella es disuelto en agua, a razón de 40 a 60 g/l, dentro de un depósito de mezcla construido con materiales inatacables por este gas, como puede ser el poliéster reforzado con fibra de vidrio o el acero inoxidable. El agua sulfitada es impulsada hacia la tubería de vendimia por medio de una bomba electromecánica de caudal regulable. La tubería termina en una boquilla de inyección provista de bola de cierre y muelle de presión, que debe vencer el agua sulfitada antes de llegar a la vendimia y que impide la entrada del mosto en sentido contrario, cuando la presión de bombeo de la solución es inferior a la de la vendimia.

Los dosificadores directos de gas sulfuroso funcionan de forma parecida a los de solución acuosa, salvo que directamente se utiliza el anhídrido sulfuroso a presión procedente de una bala a la que están conectados. El aparato debe ser muy preciso, pues la inyección sobre la tubería de vendimia se realiza con pequeños

volúmenes de gas. Los desajustes y el peligro de una dosificación excesiva son los principales problemas, pero tienen a favor la cómoda utilización directa del gas sin tener que preparar periódicamente las soluciones acuosas y tener que valorarlas para conocer su riqueza.

3.4.11 Extracción y almacenamiento de orujo

La extracción del orujo agotado procedente de las prensas puede realizarse mediante diversos dispositivos, como son los transportadores de tornillo sinfín o de banda continua.

Generalmente se sitúan por debajo de las prensas, recibiendo en una tolva el orujo descargado por gravedad, de capacidad suficiente para contener la totalidad del mismo y así permitir continuar con los ciclos de prensado, mientras que los transportadores evacúan el orujo hacia el exterior de la bodega. El orujo puede ser retirado directamente con destino a la alcoholera [81], o bien depositado simplemente en un patio de acumulación, en tolvas, remolques y contenedores, que facilitan la labor de retirada.

Otra opción a la gestión de orujos es el empleo de una prensa hidráulica y contenedores compactadores, situados en la parte exterior de la bodega. La prensa de orujo dispone en su interior de un pistón con desplazamiento horizontal, realizando la función de compactador y estando acoplada a un contenedor mediante una boca de entrada.

El orujo lavado tiene una elevada humedad, pero una vez seco puede ser utilizado como combustible en las propias alcoholeras o en determinadas industrias próximas, para evitar la notable incidencia que sobre su coste tiene el precio del transporte y aprovechar así su potencial energético [82] [83] [84].

3.4.12 Elementos y equipos de fermentación y almacenamiento

Además de la maquinaria específica para el procesado de la vendimia, las bodegas disponen también de otros elementos imprescindibles para su buen funcionamiento, entre los que destacan los depósitos de fermentación o almacenamiento.

Inicialmente se empleaban depósitos de barro, más conocidos como tinajas, de capacidad comprendida entre 100 y 200 hectólitros y con una típica forma de pera invertida o cilíndrica con fondo cónico. Estaban dotados de una boca superior de gran diámetro difícil de hermetizar, así como de un pequeño orificio de salida en la parte inferior para su vaciado.

Posteriormente comenzaron a utilizarse envases de madera de gran capacidad, conocidas como *tinias* y construidas con diversas maderas, destacando entre ellas el roble. Estos envases presentaban forma troncocónica, con la parte más ancha en la base y con tablas o duelas dispuestas verticalmente según la generatriz, unidas por zunchos metálicos situados en la parte exterior del depósito. Una variante de los

recipientes de madera fueron los *bocoyes*, que tienen forma de huso truncado o de tonel dispuesto en forma horizontal respecto del suelo, también con elevadas capacidades y muy utilizados como material de transporte, o contruidos in situ en lugares de difícil acceso como sótanos o cuevas.

Los recipientes de madera han sido sustituidos poco a poco por otro tipo de envases de mejor hermeticidad y más fácil mantenimiento, llegando casi a desaparecer del paisaje interior de las bodegas. Así, después del barro cocido y de la madera aparecieron los depósitos de hormigón armado, totalmente herméticos y sin limitación de volumen, utilizados sobre todo para almacenamiento de vinos, pues presentan unas interesantes propiedades por su inercia térmica.

Al mismo tiempo que estos últimos aparecieron los tanques o depósitos de acero con paredes de reducido espesor, casi siempre de forma cilíndrica y también sin limitaciones de capacidad, y siempre revestidos en su interior para evitar el contacto directo del vino con el metal. La evolución lógica de estos envases ha sido la utilización del acero inoxidable en su construcción, tal y como se conoce en la actualidad, dado que presentan un elevado número de ventajas.

Se trata de depósitos de fácil construcción, transporte e instalación, presentando un excelente coeficiente de transmisión de calor, que facilita la evacuación del calor en las vendimias o mostos en fermentación, y elevadas condiciones de limpieza e higiene en sus paredes interiores.

Los depósitos se suelen fabricar de acero inoxidable AISI 304, excepto la última virola, techo y sus componentes, que son de AISI 316. Se construyen de forma cilíndrica, a base de una sucesión de virolas unidas por soldadura y de una anchura cada una de ellas estandarizada con la de las bobinas del fabricante. En estas condiciones, las paredes de los depósitos trabajan a tracción, donde este material es especialmente resistente, impidiendo la deformación del mismo y permitiendo además el empleo de espesores muy reducidos, que abaratan la construcción de los mismos. Las virolas de mayor espesor se sitúan en la parte baja del depósito, donde los valores de presión son más elevados. La unión de chapas o virolas se realiza por medio de soldadura TIG, siendo éste un aspecto de gran importancia para evitar la aparición de tensiones e incluso poros en los cordones.

Los depósitos van equipados con distintos accesorios que permiten establecer una clasificación en función de su utilización, distinguiéndose los siguientes tipos:

- Depósitos de almacenamiento: destinados al almacenamiento de vinos tintos y blancos. En estos últimos, la fermentación se produce también en ellos (almacenamiento-fermentación).
- Depósitos de fermentación de mostos blancos.

Además de los anteriores, hay que destacar los depósitos de desfangado y en algunos casos el uso de subterráneos.

- Depósitos de fermentación de vendimias tintas y rosadas: en función de la tecnología del proceso suele trabajarse con depósitos de maceración de fondo plano y autovinificadores, como los depósitos autovaciantes y el sistema Ganimede. Este método es particularmente apropiado para la maceración pre-fermentativa en frío de los vinos tintos. Permite obtener vinos más aromáticos y con mayores sustancias colorantes. La disolución del dióxido de carbono proporciona una buena protección antioxidante al mosto y facilita una mayor extracción de los compuestos hidrosolubles (prevalentemente precursores de aromas y antocianos), además de una buena homogeneización del mosto sin utilizar bombas. Como no hay ningún paso por la bomba y, por lo tanto, se han evitado trituraciones del producto, los riesgos de extracción de componentes herbáceos y amargos son prácticamente inexistentes [85] [86].
- Depósitos isotérmicos: destinados a la estabilización por frío, manteniendo el caldo a una temperatura baja durante un tiempo determinado [87].

3.4.13 Imágenes de máquinas y equipos

Con objeto de ilustrar el proceso de vinificación comentado, así como los equipos que intervienen en cada etapa del mismo, se han seleccionado una serie de imágenes procedentes de algunas de las bodegas visitadas y que son representativas de la actividad desarrollada en cada zona del proceso.



Báscula y descarga de la vendimia.



Tolva de descarga y sinfín.

Figura 3.2. Equipos de la zona de recepción y descarga.



Salida de descarga a despalladora.



Despalladora.



Prensas neumáticas e intercambiador.



Prensas continuas o de tornillo sinfín.



Dosificador de sulfuroso.



Bomba de trasiego.

Figura 3.3. Equipos de la zona de procesado.



Depósitos de maceración.



Depósito autovaciante.



Depósito auxiliar para remontado(Sistema OVIS).



Sistema de remontado automático.



Depósito Ganimede.

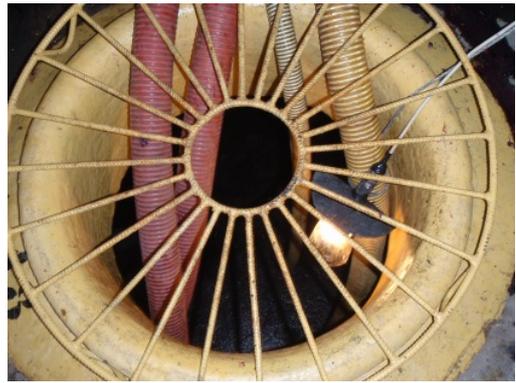


Sistema Flash.

Figura 3.4. Equipos de la zona de fermentación y almacenamiento (I).



Depósito de desfangado.



Depósito subterráneo.

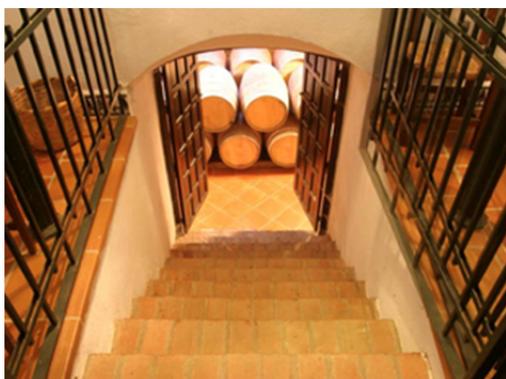


Depósitos de almacenamiento.



Depósitos isotérmicos.

Figura 3.5. Equipos de la zona de fermentación y almacenamiento (II).



Barrica de crianza.



Envasadora.

Figura 3.6. Equipos de la zona de crianza y envasado.

4. MÉTODOS DE VALORACIÓN CUANTITATIVA DE AGENTES QUÍMICOS

4.1 Introducción

Una correcta selección de los métodos de evaluación de riesgos es aquella que permite obtener una valoración de los mismos de la forma más detallada y eficiente posible, proporcionando la priorización adecuada de los riesgos y el control consecuente.

La precisión de las evaluaciones o la valoración de la exposición a los distintos riesgos existentes en el lugar de trabajo debe ser proporcional a la complejidad del problema y la magnitud esperada que implica la existencia del mismo.

El Real Decreto 374/2001 [88], como transposición de la directiva europea [89], regula la prevención de los riesgos derivados de los agentes químicos en el trabajo en España.

Este Real Decreto y la guía técnica que lo desarrolla [90], elaborada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) [91], establece que se llevará a cabo, normalmente, una medición de las concentraciones ambientales en la zona de respiración del trabajador para su posterior comparación con los valores límite establecidos para cada agente contaminante.

Este valor límite se interpreta como la condición o condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos científicos actuales, que la mayoría de trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para la salud.

Ya en la década de los 30 comenzaron a desarrollarse en Estados Unidos y Alemania los primeros estudios sobre límites de exposición, siguiendo el concepto de concentración máxima tolerable.

Fue en 1950 cuando la A.C.G.I.H. (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) publicó por primera vez una propuesta de "Valores Límite Umbral" (*Threshold Limit Values*), conocidos mundialmente como TLV's [92], de gran impacto en el campo de la salud laboral, hasta tal punto que la administración norteamericana toma parte de estos valores como estándares ambientales oficiales, denominándolos PEL (*Permissible Exposure Limits*).

En España, la publicación de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, y del Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, que implican la utilización de valores límite de exposición para la valoración del riesgo debido a exposición a agentes químicos, dieron lugar a que el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo adoptase y publicase en 1998 unos “Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España” [93].

Asimismo, el Real Decreto 374/2001 [88] acepta también una vía de actuación sin mediciones, siendo en este punto donde tienen cabida los métodos cualitativos de la exposición inhalatoria.

En función de lo anterior, para la valoración de un riesgo pueden emplearse distintos métodos, entre los que destacan los expuestos a continuación.

- Métodos cualitativos y semicuantitativos.
- Métodos cuantitativos.

4.1.1 Valoración cualitativa de agentes químicos por inhalación

Los métodos cualitativos o simplificados se utilizan para realizar una primera aproximación sobre la situación higiénica derivada de la presencia de agentes químicos, así como sobre las medidas preventivas necesarias en cada situación.

Su aplicación se lleva a cabo mediante procedimientos de valoración sistematizados y contrastados, los cuales ayudan de forma objetiva a gestionar esa información y cuyos resultados permiten conocer la magnitud del problema. No se trata, pues, de una alternativa a la evaluación cuantitativa de la exposición a agentes químicos, sino de una herramienta adicional para el proceso de evaluación, siendo en ocasiones suficiente para alcanzar conclusiones sin recurrir a la evaluación cuantitativa.

Asimismo, resulta interesante su aplicación a agentes químicos que no tienen establecido un valor límite ambiental.

En los últimos años se han desarrollado numerosos procedimientos simplificados y, aunque cada uno presenta sus peculiaridades, existe una base común tanto en la sistemática de evaluación como en la información manejada. Las variables más utilizadas frecuentemente son las siguientes: peligrosidad del agente químico, frecuencia de exposición, cantidad del contaminante utilizada o presente, volatilidad o pulverulencia del mismo, forma de uso y tipo de medida de control.

Para las variables empleadas se establecen una serie de clases o categorías, cuya combinación permite clasificar las operaciones evaluadas en distintos niveles de riesgo. Normalmente, este nivel de riesgo va asociado a un nivel de control determinado, como la ventilación general, la extracción localizada o el

confinamiento del proceso —de ahí su nombre genérico de “*control banding*”, bandas de control—, aludiendo a los niveles de control necesarios en los que se clasifican las distintas operaciones.

Los métodos cualitativos se asientan sobre una base común, incorporando cada uno particularidades que completan su utilización o facilitan su uso [94] [95]. Normalmente, la principal diferencia entre ellos se presenta en el enfoque; así, unos están orientados al control de la exposición, mientras que otros a la evaluación de la exposición sin mención directa del tipo de medida a aplicar.

Dentro de estos métodos, se destacan dos de los más representativos y utilizados:

- Modelo COSHH Essentials. Evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación [96]. Este modelo ha servido de base a otros muchos. Su resultado depende del riesgo potencial y de las medidas de control necesarias en cada operación a evaluar. Aporta una numerosa colección de fichas de control, en continuo desarrollo, que constituye un gran añadido para la aplicación del método [97].
- Método del Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). Evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación [98]. No es propiamente un modelo de bandas de control, sino que está orientado a la evaluación del riesgo. Su resultado es la prioridad de acción para los distintos agentes en determinados usos. Está estructurado en tres fases: una, inventario de agentes químicos; dos, jerarquización de los riesgos potenciales; y tres, evaluación simplificada del riesgo de exposición por inhalación.

En términos generales, los modelos simplificados o cualitativos presentan una serie de limitaciones que hay que considerar en su aplicación:

1. Posibilidad de subestimar el riesgo cuando el agente químico se presenta al mismo tiempo en forma de vapor y en forma de polvo.
2. No son adecuados para valorar exposiciones pico.
3. No consideran la aditividad de efectos por exposición a varios agentes químicos simultáneamente.
4. No consideran de un modo cuantitativo los tiempos de exposición.

Por último, hay que destacar la existencia de un método desarrollado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y considerado semicuantitativo, cuya metodología queda establecida en la Nota Técnica de Prevención 937: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III) [99].

Esta nota está basada en el Método del Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) e incluye una serie de modificaciones aportadas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, consistentes en la inclusión de las medidas preventivas ya aplicadas en el proceso productivo a evaluar.

Por ello, el resultado obtenido es un sistema mucho más preciso y cercano a la realidad de la situación a valorar [100].

4.1.2 Valoración cuantitativa de agentes químicos por inhalación

La evaluación de los riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso debe incluir la medición de las concentraciones del agente en el aire, en la zona de respiración del trabajador, y su posterior comparación con el valor límite ambiental que corresponda [88].

Los límites de comparación son publicados por las diferentes entidades responsables en cada país. Entre las organizaciones más prestigiosas relacionadas con la Higiene Industrial caben destacar las siguientes: Occupational Safety and Health Administration (OSHA, USA), National Institute Occupational Safety and Health (NIOSH, USA), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, USA), Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Alemania), Health and Safety Commission (HSC, Reino Unido) y National Board of Occupational Safety and Health (NBOSH, Suecia).

Dentro de ellas, es preciso indicar que en muchos países se han asumido como propias las recomendaciones marcadas por la ACGIH.

Los procedimientos de evaluación cuantitativa que tradicionalmente se han seguido en España están basados en la estrategia de muestreo diseñada por los americanos y en las publicaciones de N.A. Leidel [101], procedimiento estadístico consistente en la determinación del porcentaje de probabilidad de superar o no un valor límite. Sin embargo, con el desarrollo de una Legislación Comunitaria se elaboraron una serie de normas, entre las cuales se encuentra la Norma Europea EN 689, publicada en Febrero de 1995, traducida al español y publicada en Marzo de 1996, sobre directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición, dando lugar a la norma UN-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición [103].

Teniendo en cuenta todo lo anterior y una vez consultadas las principales referencias y especificaciones en materia de normativa de métodos cuantitativos, se propone la selección de la Norma Europea EN 689, para cuya aplicación deben considerarse los siguientes conceptos:

1. La norma considera exposición a la situación en la que un agente químico está presente en el aire inhalado por una persona.
2. Se establece como zona de respiración el espacio alrededor de la cara del trabajador, del que éste toma el aire que respira. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0,3 m de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro

se localiza en el punto medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe.

3. El valor límite de exposición laboral viene definido como el límite de la medida ponderada en función del tiempo de la concentración del agente químico en el aire en la zona de respiración del trabajador con relación al periodo de referencia especificado.

El procedimiento de medición y, concretamente, la estrategia de medición (número, duración, oportunidad de las mediciones y tratamiento de los resultados), así como el método de medición (incluidos, en su caso, los requisitos exigibles a los instrumentos de medida) se establecen siguiendo la normativa específica que le sea de aplicación, en este caso la Norma UNE-EN 689:1996 “Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición”.

Por tanto, las estrategias de medición expuestas en esta norma solamente tienen en consideración el riesgo de exposición por inhalación. No se contemplan las vías de entrada dérmica, digestiva o parenteral.

Asimismo, la norma propone tres etapas diferenciadas y consecutivas para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos [103].

1. Estimación inicial

En la estimación inicial se obtienen conclusiones a partir de la observación del puesto de trabajo, con ayuda de la información recabada sobre la peligrosidad de los agentes químicos presentes en el ambiente, las condiciones de trabajo y las condiciones individuales. En unas pocas ocasiones, el criterio del higienista puede ser suficiente. Suelen ser aquéllas en las que la exposición es muy intensa o, por el contrario, es muy baja. La estimación inicial permite obtener una primera idea de la posible exposición.

Las variables a tener en cuenta en el estudio básico son las siguientes:

1. Variables que afectan a las concentraciones en la proximidad del trabajador, detalladas a continuación:
 - Número de fuentes emisoras de agentes químicos.
 - Ritmo de producción en relación con la capacidad de producción.
 - Grado de emisión en cada fuente.
 - Tipo y emplazamiento en las fuentes.
 - Dispersión de los agentes debido al movimiento del aire.
 - Tipo y eficacia de sistemas de extracción y ventilación.
2. Variables relacionadas con las actuaciones y comportamientos del trabajador:

- Proximidad del individuo a la fuente.
- Tiempo de permanencia en cada zona.
- Hábitos individuales de trabajo.

Si a partir de esta estimación inicial no se obtienen unas conclusiones claras que permitan recabar todo lo necesario en lo referente a los agentes químicos presentes, entonces es necesario un estudio adicional o denominado Estudio básico.

2. Estudio Básico

En el Estudio Básico se realizan valoraciones en las que, como apoyo, el técnico utiliza datos objetivos, como los expuestos a continuación.

- Mediciones realizadas anteriormente.
- Mediciones en instalaciones o procesos similares.
- Cálculos basados en datos cuantitativos apropiados.

Si esta información no fuese suficiente para obtener conclusiones claras, el estudio debe completarse con mediciones en el lugar de trabajo o Estudio Detallado.

3. Estudio Detallado

En las dos etapas anteriores y cuando se dan las circunstancias adecuadas, pueden extraerse conclusiones sobre el riesgo que representa la exposición en base a estimaciones, mientras que la evaluación detallada comprende la medición de las concentraciones ambientales en el lugar de trabajo a evaluar y la comparación con el valor límite.

Esta etapa requiere una estrategia de medición y un tratamiento estadístico de los datos para obtener una información válida y fiable de la exposición.

De forma genérica, puede afirmarse que debe procederse a la cuantificación del contaminante mediante mediciones personales con equipos que portan los trabajadores colocados en la zona de respiración del trabajador, según UNE-EN 1540 y UNE-EN 482 [104] [105].

Asimismo, las mediciones de área o estáticas, realizadas en posiciones fijas, pueden servir en ocasiones para evaluar la exposición por exceso, por lo que no deben descartarse totalmente [106] [107].

Por último, hay que destacar que no en todos los casos es necesario completar las tres etapas indicadas anteriormente. De hecho, solo es necesario cuando los resultados de las dos primeras etapas no dejen claro que las condiciones de trabajo no presentan ningún riesgo para la seguridad y salud del trabajador.

4.1.2.1 Criterios generales

Elección del método analítico

Cuando la evaluación de los riesgos laborales incluya efectuar mediciones, análisis o ensayos y exista normativa específica de aplicación, o sea, metodología analítica específica, el procedimiento de evaluación deberá ajustarse a las condiciones concretas establecidas en ésta [108].

Cuando la normativa no establezca los métodos que deben emplearse, o cuando los criterios de evaluación contemplados en dicha normativa deban ser interpretados o precisados a la luz de otros criterios de carácter técnico, se escogerán, en el orden expuesto, los métodos siguientes:

1. Métodos analíticos del INSHT. Se trata de métodos de toma de muestras y análisis validados y publicados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. La elección del método analítico para un determinado contaminante o grupo de contaminantes se establecerá, en los casos que existan varias posibilidades de elección, con el siguiente orden decreciente de preferencias:
 - a. Método recomendado: método evaluado por el INSHT de acuerdo con el protocolo de validación correspondiente que incluye la realización de pruebas interlaboratorio entre los distintos laboratorios que colaboran en la validación del método.
 - b. Método aceptado: método utilizado en el INSHT y que ha sido sometido a un protocolo de validación por organizaciones oficiales competentes en el área de la normalización de métodos analíticos, o bien ha sido adoptado como método recomendado por asociaciones profesionales dedicadas al estudio y evaluación de riesgos por agentes químicos, así como aquellos métodos recomendados por la UE o basados en métodos ampliamente conocidos y utilizados por especialistas en este tipo de análisis.
2. Normas UNE: se trata de métodos analíticos para la determinación de contaminantes en aire en los lugares de trabajo y para el control biológico recogidos en alguna norma UNE.
3. Normas internacionales: normas publicadas, por ejemplo, por la Organización Internacional de Normalización (ISO).
4. Métodos validados por organizaciones oficiales, instituciones o entidades competentes de otros países de reconocido prestigio en la materia, tales como Occupational Safety and Health Administration (OSHA, USA), National Institute Occupational Safety and Health (NIOSH, USA), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, USA), Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Alemania), Health and Safety Commission (HSC, Reino Unido) y National Board of Occupational Safety and Health (NBOSH, Suecia).

5. Métodos desarrollados por el propio laboratorio o adoptados de otras fuentes bibliográficas (artículos científicos, libros, publicaciones técnicas, etc.), que contienen información suficiente y concisa de cómo realizar los análisis y que previamente hayan sido validados de modo apropiado.

Procedimientos de medida

Se clasifican en función del objeto de la medición a realizar, contemplándose 8 escenarios distintos:

1. Mediciones para la evaluación aproximada de la concentración media ponderada en el tiempo: se trata de mediciones para obtener información cuantitativa aproximada sobre el nivel de exposición para decidir si existe o no un problema de exposición y, si existe, averiguar su posible gravedad. Pueden utilizarse también para determinar si la exposición está claramente por debajo o por encima del valor límite.
2. Mediciones para la evaluación aproximada de la variación de concentración en el tiempo y/o en el espacio, las cuales se utilizan para proporcionar información de los probables perfiles de concentración de los agentes químicos, identificar emplazamientos o periodos de elevada exposición, establecer la duración y frecuencia del muestreo de las mediciones para comparar con los valores límite, localizar las fuentes de emisión y estimar la eficacia de la ventilación u otras medidas técnicas.
3. Mediciones próximas a una fuente de emisión, que pueden proporcionar información sobre la localización y la intensidad de la fuente y, en combinación con otras informaciones, permitir la eliminación de la contribución significativa a la exposición de una fuente sospechosa.
4. Mediciones para comparar con los valores límite, que proporcionan información exacta y fiable sobre la concentración media ponderada en el tiempo de un agente químico específico en el aire que puede ser inhalado, o bien permiten su predicción.
5. Mediciones periódicas, que se utilizan para determinar si las concentraciones de exposición han cambiado desde su comparación con los valores límite, o bien para comprobar si las medidas de control continúan siendo eficaces. Ya que la composición de la atmósfera del lugar de trabajo y las condiciones ambientales habrán sido investigadas durante la evaluación de la exposición profesional, puede ser adecuado utilizar, para las medidas periódicas, procedimientos con menor selectividad.
6. Mediciones en el caso más desfavorable (Anexo A de la Norma UNE-EN-689). Las mediciones para la evaluación aproximada en el tiempo y en el espacio son capaces de identificar claramente los incidentes en los que ocurren las exposiciones más altas, debidas, por ejemplo, a ciertas actividades laborales. Los periodos de muestreo pueden seleccionarse de manera que incluyan estos episodios, denominándose entonces muestreo en el caso más

desfavorable. Este intervalo, acotado en periodos de 15 minutos, coincide con la determinación de exposiciones cortas (EC) indicadas en el documento Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España del INSHT [93].

7. Mediciones en un punto fijo (Anexo A de la norma UNE-EN-689). Pueden ser utilizadas para comparar con los valores límite si los resultados son representativos de la concentración de exposición. De este modo, puede plantearse la estimación de la exposición de distintos trabajadores que ocupan un puesto físico de trabajo de manera consecutiva.
8. Mediciones de picos de corta duración (Anexo A de la norma UNE-EN-689). Las mediciones de la evaluación inicial de la variación de la concentración en el tiempo pueden detectar picos de corta duración. Estas mediciones se pueden completar con mediciones de evaluación inicial de la concentración media ponderada en el tiempo y, si se trata de mediciones de exposición, compararse con los valores límite de corta duración.

Variabilidad de los resultados ambientales

La variabilidad de las condiciones de exposición depende de muchos y diferentes agentes. La distancia a las fuentes de emisión y parámetros físicos, tales como la frecuencia de las emisiones, las corrientes de aire o las variaciones meteorológicas, tienen también una gran influencia, viéndose además incrementada por las prácticas individuales [109].

Todo ello explica que sean frecuentes las fluctuaciones de la concentración de los contaminantes, o que se produzcan grandes variaciones en distancias muy pequeñas o entre días distintos.

Asimismo, existen factores que influyen en la fiabilidad del resultado obtenido al efectuar una valoración ambiental, como el método de toma de muestras, el método analítico y el criterio de valoración empleado.

La problemática derivada de la variabilidad natural de la concentración ambiental se resuelve aplicando criterios estadísticos a los datos obtenidos [110].

Las variaciones ambientales de las concentraciones adoptan una distribución log normal, debido a una serie de condicionantes entre los que caben destacar:

- Las concentraciones que se encuentran pueden cubrir un amplio rango de valores, con frecuencia de varios ordenes de magnitud, incluida la concentración cero.
- La variación de las concentraciones medidas puede ser del mismo orden de tamaño que el valor medio.
- Hay una probabilidad finita de encontrar valores muy altos.

Por tanto, estas variaciones que tienen lugar tanto en el día o entre días, se caracterizan mediante la desviación típica geométrica (DTG). Una DTG de 1,0 indica ausencia de variabilidad en el ambiente. Una DTG de 2,0 o superior indica una variabilidad relativamente alta. La Figura 4.1 muestra la desviación estándar geométrica en función de la probabilidad, observándose que, cuanto menor es la variabilidad, más se aproxima una distribución log normal a una distribución normal [110].

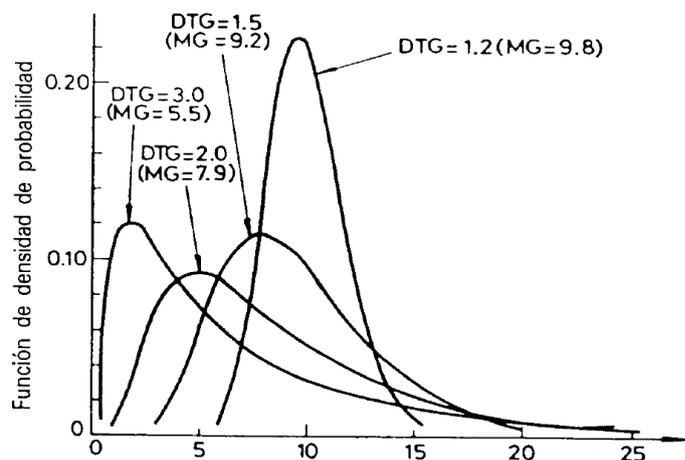


Figura 4.1. Desviación estándar geométrica en función de la probabilidad.

Representatividad de las mediciones

Tres posibles tipos de error deben tenerse siempre en cuenta para evitar que los resultados de una medición sean poco representativos de la situación realmente existente en un puesto de trabajo [110].

1. Error sistemático o error atribuido al análisis del puesto de trabajo y determinación del ciclo de trabajo. Con frecuencia, la distribución a lo largo del tiempo de las operaciones realizadas y de los productos manejados es lo suficientemente compleja como para que resulte difícil de sistematizar en base a un "ciclo de trabajo repetitivo". La incorrecta estimación del ciclo de trabajo quita representatividad a cualquier medición posterior que pueda realizarse. Por su naturaleza, este tipo de error no es tratable estadísticamente y en su minimización juega un importante papel la experiencia del higienista.
2. Error instrumental o error atribuido al método e instrumental de medición (en general, de toma de muestras y análisis), que puede dar lugar a diferencias apreciables entre la concentración media medida y la realmente existente durante el ciclo de trabajo muestreado. En el estado actual de la técnica (si se elige el método e instrumental adecuado y se realizan las calibraciones necesarias), este tipo de error suele ser despreciable en relación a los otros tipos considerados.
3. Error accidental o error atribuido a las variaciones aleatorias no observables de determinados factores (corrientes de aire, pequeñas modificaciones en la forma de realizar la tarea, etc.) que pueden influir considerablemente sobre la concentración existente en cada momento.

Es por ello que mediciones similares tomadas en ciclos de trabajo diferentes dan resultados distintos, aun cuando el error debido al método e instrumental de muestreo/análisis sea prácticamente nulo.

En definitiva, la concentración ambiental media correspondiente a un ciclo de trabajo es una variable aleatoria, y no puede considerarse como una constante que se mantiene como tal a lo largo de los ciclos sucesivos.

Si se quiere controlar el posible error debido a estas fluctuaciones de la concentración, deben tomarse varias mediciones y tratar estadísticamente los resultados así obtenidos. Para ello, hay que conocer la distribución que siguen las concentraciones ambientales tratando los resultados en una serie de muestras para llegar a una estimación de la concentración media real. Dicha estimación puede expresarse, a través de límites de confianza, en la forma: "la concentración media está comprendida entre dos valores, con un a % de probabilidad" [110].

Como norma general, se establecen unos requisitos mínimos en la medición de la concentración ambiental del agente químico para que estas sean representativas de la exposición por inhalación a la que está expuesto un trabajador. Estos requisitos son los siguientes:

- Las condiciones de trabajo serán las habituales.
- El resultado corresponderá a muestras de tipo personal.
- El resultado se referirá al periodo de tiempo de referencia para el que esté definido el valor límite a comparar.
- La forma de expresión del resultado (mg/m^3 , ppm, fibras/ cm^3) será la misma que la utilizada por el valor límite a comparar.

Exención de las mediciones

Existen una serie de casos en los que no será necesario realizar la medición o cuantificación de un contaminante:

1. El empresario demostrará por otros medios de evaluación que la exposición a un contaminante, en unas determinadas condiciones de prevención y protección, no presentan ningún riesgo para la seguridad y salud del trabajador [88].
2. Existe la posibilidad de concluir la evaluación sin necesidad de mediciones cuando, en condiciones de trabajo normales, se den los siguientes casos:
 - a. Se conozcan con certeza las posibles fuentes de contaminación laboral y no sean previsibles contaminantes extralaborales.
 - b. Si los productos son volátiles, se procesarán y mantendrán encerrados o de modo que se impida la volatilización.

- c. Si los productos no son volátiles, pero son tratados de modo que no puedan dispersarse en el aire (aerosoles).
- 3. En caso de agentes no cancerígenos, mutagénicos o teratógenos, si la apreciación profesional del técnico especialista indica que las concentraciones están lejos de alcanzar los valores límite.
- 4. Se obviarán las mediciones cuando se haya tomado la decisión de aplicar en primer lugar medidas específicas de prevención.

4.1.2.2 Procedimiento de evaluación cuantitativa

En este apartado se recoge de forma general la metodología establecida por la Norma UNE-EN 689 [103], incorporando algunas particularidades de otras organizaciones de carácter internacional.

Normalmente, el proceso de evaluación de la exposición por inhalación se iniciará con la recopilación de los datos necesarios para definir las condiciones en las que se realizará la medición de la concentración, siguiendo las fases recogidas en el diagrama de fases de la Figura 4.2, extraído de la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los Agentes Químicos presentes en los lugares de trabajo [90].

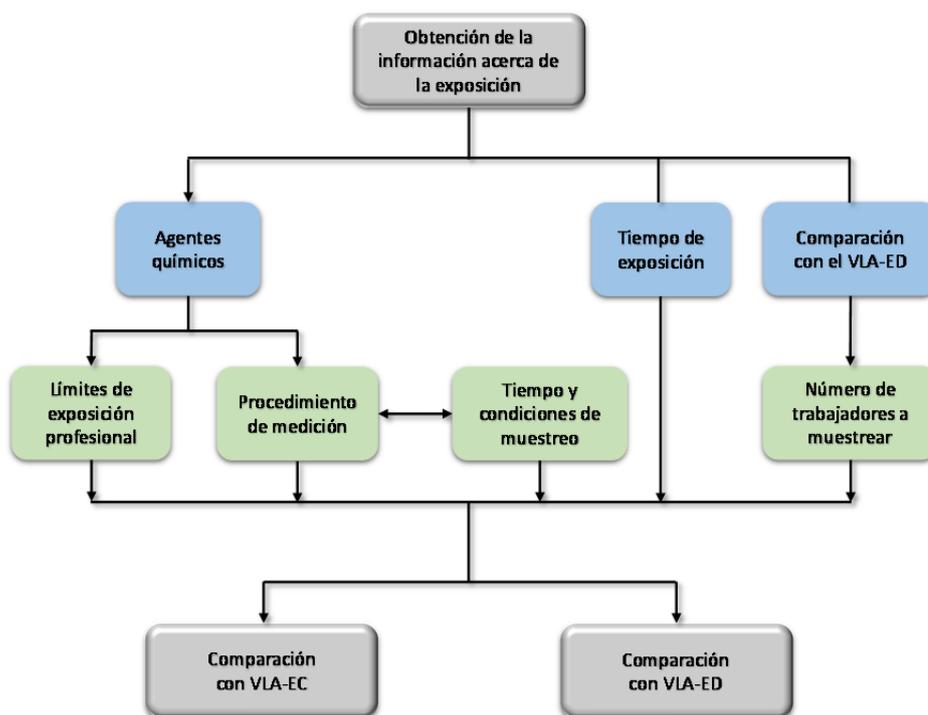


Figura 4.2. Diagrama del procedimiento de evaluación cuantitativa.

4.1.2.2.1 Obtención de la información sobre la exposición a agentes químicos

Tal y como aparece en el diagrama de fases anterior, los aspectos significativos de esta etapa son los datos relativos a los agentes químicos, en lo que respecta al procedimiento de medición de la concentración ambiental, valores límite aplicables, duración de las exposiciones y el número de trabajadores expuestos.

Así, se identificarán los agentes químicos que forman parte de la evaluación y que puedan encontrarse en el ambiente de trabajo, como materias primas, productos intermedios o impurezas de los productos finales.

Posteriormente, se reunirá la siguiente información relacionada con los agentes químicos identificados:

1. Conocimiento aportado por el criterio de valoración aplicado (Valores Límite).
2. El procedimiento de muestreo y análisis (volumen de aire muestreado, caudales de bombeo, tiempos de muestreo y tiempo mínimo de duración de la muestra).
3. Toxicología y efectos sobre la salud (actividad con otros agentes, efectos agudos o crónicos, vías de entrada al organismo).

Los datos anteriores condicionarán el tiempo de muestreo y el parámetro a determinar (ED o EC) para su posterior comparación con el valor límite.

4.1.2.2.2 Número de trabajadores a muestrear por puesto de trabajo o grupo homogéneo de exposición (GHE)

Normalmente, no es posible definir con precisión un procedimiento para la selección de los trabajadores a muestrear, pero pueden seguirse unos pasos generales.

El primero de esos pasos sería el de efectuar muestreos aleatorios de trabajadores. Si se elige esta opción, se necesitará un número elevado de muestras y siempre se corre el riesgo de obviar grupos reducidos que presenten altas exposiciones.

Otra alternativa es la de establecer Grupos Homogéneos de Exposición (GHE) [111]. Esta opción será la elegida cuando se tenga que muestrear trabajadores que realicen tareas similares, en condiciones ambientales parecidas. Se realizarán muestreos a una parte de ellos para ahorrar medios, entre otras cosas, y se considerará la exposición común a todos ellos.

Se intentará garantizar la homogeneidad del grupo. Para ello, el grupo homogéneo se definirá por la asociación entre una función de trabajo y un agente químico (o varios que producen el mismo efecto) en un ambiente determinado.

Sin embargo, la experiencia muestra variaciones importantes en las mediciones a trabajadores que, aparentemente, forman un Grupo Homogéneo de Exposición, por lo que la homogeneidad del grupo debe confirmarse experimentalmente.

La norma UNE-EN 689 recomienda eliminar de los grupos a los trabajadores expuestos a concentraciones inferiores a la mitad o superiores al doble de la media aritmética del grupo, y muestrear de un grupo homogéneo de 10 trabajadores al menos a uno de ellos.

Otro criterio es el expuesto por Leidel, Bush y Lynch [101], el cual viene reflejado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Nº de Trabajadores a Muestrear Pertenecientes a un GHE.

N	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50	>50	$N_0=0,1N$
n	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22	$P=0,1$
N	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	>50		$N_0=0,1N$
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29		$P=0,05$
N	6	7-9	10-14	15-26	27-50	>50								$N_0=0,2N$
n	5	6	7	8	9	11								$P=0,1$
N	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	>50						$N_0=0,2N$
n	6	7	8	9	10	11	12	14						$P=0,05$

Siendo:

- n : número de trabajadores a muestrear.
- N_0 : número de trabajadores de mayor exposición dentro del Grupo Homogéneo de Exposición.
- N : número total de trabajadores del Grupo Homogéneo de Exposición.
- P : probabilidad de que entre los n trabajadores muestreados se incluya al menos 1 de los de mayor exposición.

4.1.2.2.3 Número mínimo de muestras por jornada de trabajo en función del tiempo de duración de las mismas y el equipo de medición utilizado

El número mínimo de muestras por jornada vendrá fijado por el tiempo de duración de las muestras y el tipo de muestreo, según las estrategias de medición recogidas en la norma UNE-EN-689, las cuales se describirán posteriormente [111].

Debido a los sistemas de medición y toma de muestras, los tiempos de duración de cada medición individual son muy inferiores al tiempo de exposición diario del trabajador. Por lo tanto, el primer paso a solucionar es el de determinar el número de mediciones necesarias a realizar durante una jornada, asegurándose que la medición sea representativas de la exposición.

Como criterio orientativo, y cuando el periodo de exposición es uniforme (no se esperen fluctuaciones importantes de concentración) se pueden obtener un número de muestras que representen como mínimo el

25% del tiempo de la exposición, que proporcione una concentración promediada en el tiempo para su comparación con el valor límite.

Asimismo, aplicando criterios estadísticos se puede reducir el número de muestras de forma que los resultados ofrezcan fiabilidad suficiente. El número mínimo de ellas vendrá dado en la Tabla 4.2 [103].

Tabla 4.2. Número mínimo de mediciones por jornada.

Tiempo de duración de la muestra	Tipo de Medición	Nº de muestras para abarcar 25% exposición	Nº mínimo de muestras UNE-EN 689
10 segundos	Equipos de lectura directa. Medición puntual	720	30
1 minuto	Tubos detectores de corta duración (tubos colorimétricos)	120	20
5 minutos	Tubos detectores de corta duración	24	12
15 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activo, gel de sílice). Borbotadores, etc.	8	4
30 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activo, gel de sílice). Borbotadores, etc.	4	3
1 hora	Filtros para muestreos de aerosoles	2	2
2 horas	Filtros para muestreos de aerosoles	1	1

4.1.2.3 Valoración de la exposición por comparación con los valores límite

4.1.2.3.1 Tipos de exposición

La evaluación del riesgo por inhalación se lleva a cabo por comparación de la concentración del agente químico en el aire ponderada en el tiempo con el valor límite ambiental del agente en cuestión. Asimismo, se define la exposición como la presencia de un agente químico en el aire de la zona de respiración del trabajador y, siempre que se emplee sin calificativo, hace referencia a la vía respiratoria, es decir, a la exposición por inhalación. Esta exposición se cuantifica en términos de la concentración del agente obtenida de las mediciones de exposición, referida al mismo periodo de referencia que el utilizado para el valor límite aplicable.

En general, pueden definirse dos tipos de exposición:

1. Exposición diaria (ED)

Se trata de la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.

De este modo, referir la concentración media a dicha jornada estándar implica considerar el conjunto de las distintas exposiciones del trabajador a lo largo de la jornada real de trabajo, cada una con su correspondiente duración, como equivalente a una única exposición uniforme de 8 horas.

La ED puede calcularse matemáticamente por la expresión (4.1):

$$ED = \frac{\sum c_i x t_i}{8} \quad (4.1)$$

Siendo:

- c_i : concentración i-ésima.
- t_i : tiempo de exposición, en horas, asociado a cada valor c_i .

A efectos del cálculo de la ED de cualquier jornada laboral, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en el numerador de la fórmula anterior será igual a la duración real de la jornada en cuestión, expresada en horas.

2. Exposición de corta duración (EC)

Se trata de la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos, a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior, en la lista de valores límite [93].

Si el método de medición empleado proporciona varias concentraciones dentro de cada periodo de 15 minutos, la EC se calculará según la expresión :

$$EC = \frac{\sum c_i x t_i}{15} \quad (4.2)$$

Siendo:

- c_i : concentración i-ésima dentro de cada periodo de 15 min.
- t_i : tiempo de exposición, en minutos, asociado a cada valor c_i .

A efectos de cálculo de EC, la suma de los tiempos de exposición que se han de considerar en la fórmula anterior será igual a 15 minutos.

4.1.2.3.2 Límites de exposición profesional para agentes químicos (VLA)

Se definen como los valores límite de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador [93].

Se distinguen dos tipos de Valores Límite Ambientales:

1. Valor Límite Ambiental para la Exposición Diaria (VLA-ED)

Consiste en el valor límite de la concentración media medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.

2. Valor Límite Ambiental para Exposiciones de Corta Duración (VLA-EC)

Consiste en el valor límite de la concentración media, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos, a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior.

Para los agentes químicos con efectos agudos reconocidos pero cuyos principales efectos tóxicos son de naturaleza crónica, el VLA-EC constituye un complemento del VLA-ED y la exposición habrá de valorarse en relación con ambos límites.

Para agentes químicos de efectos principalmente agudos (gases irritantes), solo se les asigna para su valoración un VLA-EC.

4.1.2.3.3 Límites de exposición profesional para agentes químicos en otros países

En España, normalmente y siempre que el contaminante evaluado disponga de ellos, se trabaja con los valores límite ambientales establecidos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Sin embargo, en este apartado se destacan los organismos más prestigiosos de otros países que establecen límites de exposición profesional.

En EEUU existen tres instituciones que tienen establecidos valores límite para contaminantes químicos en el ambiente de trabajo: la "Occupational Safety and Health Administration" (OSHA), el "National Institute for Occupational Safety and Health" (NIOSH) y la "American Conference of Governmental Industrial Hygienists" (ACGIH).

La OSHA es el órgano de la administración federal con competencia en el establecimiento de normas legales relativas a la prevención de riesgos y promoción de la salud en el ámbito laboral. Los valores que propone la OSHA se denominan "Permissible Exposure Limits" (PEL) y son los únicos que tienen validez desde el punto de vista legal [112].

La NIOSH es una institución dependiente de la Administración federal que, entre otras actividades, desarrolla y revisa periódicamente recomendaciones para límites de exposición a sustancias o condiciones potencialmente peligrosas en el ámbito de trabajo. Estas recomendaciones son publicadas y transmitidas a los departamentos competentes de la administración para su empleo en la promulgación de normas legales. Los valores que establece el NIOSH se denominan "Recommended Exposure Limits" (REL) y no tienen valor legal [113].

La ACGIH es una asociación con sede en EEUU que agrupa a más de 3000 profesionales de la Higiene del Trabajo que desarrollan su labor en instituciones públicas y universidades de todo el mundo. Los valores que establece la ACGIH se denominan "Threshold Limit Values" (TLV) y se basan exclusivamente en criterios científicos de protección de la salud. Estos valores TLV son solo unos límites recomendados, pero gozan de un elevado prestigio en el mundo de la Higiene Industrial

[92].

Normalmente, cuando se citan los valores TLV de USA sin más especificación se está haciendo referencia a los valores propuestos por la ACGIH. Todos estos límites están siendo revisados continuamente.

Asimismo, dentro de la Comunidad Europea pueden destacarse los siguientes:

La Sociedad Alemana para la Investigación, "Deutsche Forschungsgemeinschaft" (DFG), mantiene una comisión para la investigación de los riesgos para la salud de los compuestos químicos en el área de trabajo que establece unos valores límite con base exclusivamente científica denominados "Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen" (MAK). La lista de los valores MAK se publica anualmente, con indicación de las novedades propuestas [114].

En el Reino Unido, para el control de sustancias peligrosas para la salud, "Control of Substances Hazardous to Health Regulations" (COSHH), el Parlamento establece a propuesta de la Comisión de Salud y Seguridad, "Health and Safety Commission" (HSC,) unos límites de exposición laboral (MEL). La lista de los valores MEL se publica anualmente, con indicación de las novedades propuestas [115].

Y, por último, se tendrán presentes los límites de exposición de Suecia (CEL), recogidos en la Ordenanza "AFS 1989:4" emitida por el "National Board of Occupational Safety and Health" [116].

4.1.2.3.4 Método de corrección de los límites de exposición profesional para agentes químicos

Para las desviaciones de la jornada laboral normal de 8 horas, la ACGIH recomienda la aplicación del modelo de Brief & Scala [117], para el ajuste de los valores límite de sustancias químicas en general. Para ello, se emplearán las siguientes fórmulas para el cálculo del cómputo diario (4.3) y del cómputo semanal (4.4), respectivamente.

$$Fc = \frac{8}{hd} \times \frac{24 - hd}{16} \quad (4.3)$$

$$Fc = \frac{40}{hs} \times \frac{168 - hd}{128} \quad (4.4)$$

Siendo:

- Fc : Factor de corrección.
- hd : horas/día.
- hs : horas/semana.

El factor de corrección Fc se obtiene para una misma jornada de trabajo e igual para todos los contaminantes.

El modelo propuesto por OSHA clasifica a los contaminantes por tipos de efectos tóxicos y recomienda procedimientos de ajuste diferentes para los límites de exposición, sobre esta base, incluyendo el ajuste cero.

Para utilizar correctamente este método, hay que utilizar previamente una serie de tablas para clasificar las sustancias a evaluar por categorías de toxicidad, así como los efectos sobre la salud, con el fin de determinar si un determinado PEL requiere ajuste o no. Una vez ajustado éste, las fórmulas para corregirlo son las siguientes:

$$Fc = \frac{8}{hd} \quad (4.5)$$

$$Fc = \frac{40}{hs} \quad (4.6)$$

$$PELc = PEL \cdot Fc \quad (4.7)$$

Siendo:

- *F_c*: Factor de corrección.
- *hd*: horas/día.
- *hs*: horas/semana.
- *PEL_c*: PEL corregido.

Existen formas más complejas basadas en modelos farmacocinéticos, con los cuales los higienistas más familiarizados pueden hacer una evaluación más exacta del riesgo en casos específicos, como el modelo farmacocinético de Hickey y Reist [118].

Otras organizaciones, como el caso del INSHT, recomiendan calcular la exposición para el tiempo real de la jornada o de la semana de trabajo, sin aplicar factor de corrección alguno.

4.1.2.3.5 Límites de desviación para los valores límites

Para los contaminantes que tienen asignado un VLA-ED, pero que no disponen de VLA-EC, será necesario controlar las desviaciones por encima del VLA-ED, aun cuando este valor se encuentre dentro de los límites recomendados.

Los límites de desviación para la valoración de la Exposición Diaria (*ED*) son los siguientes:

1. 3 x VLA-ED: valor que no debe superarse durante más de 30 minutos en total a lo largo de la jornada de trabajo.
2. 5 x VLA-ED: valor que no debe sobrepasarse en ningún momento.

Si se mantienen las desviaciones de la exposición dentro de estos límites, se verificará que la desviación estándar de las concentraciones medidas se aproxima a 2, lo que supone una situación correcta; por el contrario, su incremento demostraría que el proceso está mal controlado.

Por otra parte, para los límites de desviación para la valoración de la Exposición a Corta Duración (*EC*) los más empleados son los siguientes:

1. El VLA-EC no se sobrepasará por ninguna EC a lo largo de la jornada laboral.
2. Según los criterios de la ACGIH, las exposiciones por encima del TLV-TWA hasta el valor STEL, además de no superar los 15 minutos, no deben de repetirse más de 4 veces al día y debe de haber por lo menos un periodo de 60 minutos entre exposiciones sucesivas de ese rango.
3. Existen criterios específicos (en función del contaminante o tiempos de valoración) en otras

organizaciones de prestigio, como es el caso de la Sociedad Alemana para la Investigación, "Deutsche Forschungsgemeinschaft" (DFG) o el "National Board of Occupational Safety and Health".

4.1.2.4 Valoración de la exposición para mezcla de compuestos

La coexistencia en el lugar de trabajo de varios agentes químicos con efectos aditivos requiere una valoración de la mezcla [120].

Como los valores límites se establecen para agentes químicos y no para mezclas de compuestos, se realizará la comparación con los valores límites a través de la expresión (4.8):

$$\sum \frac{ED_i}{VLA - ED_i} \quad (4.8)$$

Siendo:

- E_i : exposición de los agentes químicos.
- $VLA-ED_i$: valor límite de exposición diaria de cada agente.

Si el resultado es mayor que la unidad, ha de entenderse que se ha superado el VLA para la mezcla en cuestión.

4.1.2.5 Valoración de la exposición semanal

Se valorará la exposición semanal en lugar de diaria, siempre que se cumplan unas determinadas condiciones que se detallan a continuación [103]:

1. Cuando se trate de un agente químico con largo periodo de inducción, definido éste como el tiempo durante el cual están actuando las causas componentes del agente.
2. Cuando existan variaciones sistemáticas, esto es, derivadas de distintas situaciones de exposición, entre las ED de diferentes jornadas.

Cuando se den estas condiciones, el parámetro de exposición que se compara con el VLA-ED es la Exposición Semanal (ES), que se calcula a través de la expresión (4.9):

$$ES = \frac{\sum D_i}{5} \quad (4.9)$$

Siendo:

- $\sum D_i$: sumatorio de las exposiciones diarias correspondientes a los sucesivos días de la semana.

4.1.2.6 Índice de exposición de la sustancia. Interpretación de resultados

La comparación de los resultados obtenidos con los valores límite ambientales, tanto los definidos para exposiciones diarias (VLA-ED) como los aplicables a periodos cortos de exposición (VLA-EC), permite llegar a alguna conclusión sobre la exposición, lo que conducirá a decisiones sobre la actividad preventiva a desarrollar en el futuro inmediato [103].

Es necesario tener prevista de antemano la posibilidad de no poder alcanzar una conclusión definitiva sobre la necesidad de intervenir para reducir la exposición. Esto se debe que la concentración de un agente químico en aire es una magnitud normalmente variable a lo largo del tiempo y, en consecuencia, es posible que no se pueda obtener una conclusión definitiva respecto al futuro con la información que se obtiene de una evaluación de la exposición por inhalación durante un periodo de tiempo limitado.

En la mayoría de ocasiones, se calculará el valor ED y se comparará con el valor VLA-ED correspondiente, obteniéndose el valor denominado Índice de la Exposición de la Sustancia I , según la expresión (4.10):

$$I = \frac{ED}{VLA - ED} \quad (4.10)$$

En función del resultado obtenido, se decidirá de la siguiente manera:

- Si $I \leq 0,1$, la exposición es aceptable. La exposición medida es de un valor tan pequeño que resulta casi imposible que se superen los valores límite en el periodo estipulado en la evaluación como en futuras ocasiones. En estas condiciones, la situación se considera aceptable, siempre que no se produzcan cambios que puedan variar la exposición.
- Si $I > 1$, la exposición es inaceptable y se deberá proceder a corregir la exposición. Se llegará a esta decisión porque las mediciones realizadas superen los valores límite aplicables o porque, sin superarlos, los valores sean tan altos que resulta previsible que sean superados en futuras ocasiones. Cuando se alcance una exposición inaceptable, se deberá corregir esta situación.
- Si $0,1 < I \leq 1$, la exposición es indeterminada y debe procederse a obtener más valores de ED. La situación observada es tal que no permite alcanzar ninguna de las dos conclusiones anteriores. Los resultados obtenidos no superan los valores límite y no permiten concluir con una fiabilidad aceptable si se superarán en el futuro, ni tampoco permiten asegurar que no se superarán. La indeterminación no se refiere al resultado del procedimiento de evaluación tal como se ha medido, sino al hecho de superar o no los valores límite en jornadas posteriores a las de la medición, aunque no existan cambios en las condiciones de trabajo.

Cuando el cálculo del Índice de Exposición a una sustancia arroje una exposición indeterminada, se implementarán alguna de estas acciones:

- Incrementar el número de mediciones a efectuar. Se realizarán un número mayor de mediciones hasta tener datos suficientes que permitan obtener alguna de las dos conclusiones bien definidas. Esta opción sólo será útil si es previsible que en un plazo de tiempo razonable se pueda alcanzar una conclusión que permita una buena planificación preventiva.
- Implantar directamente medidas de prevención y protección. Se decidirá siempre del lado de la seguridad, aunque los datos disponibles no sean concluyentes.
- Planificar una vigilancia periódica de la concentración ambiental. Se comprobará con regularidad que la exposición se mantiene por debajo de los valores límite. Esta será la opción más conveniente en la mayoría de las circunstancias, es decir, ante la imposibilidad de poder llegar a una conclusión segura respecto a las exposiciones en el futuro, se optará por vigilar estas exposiciones futuras.

La Figura 4.3 representa la valoración de la exposición por comparación con los valores límite, extraída de la Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo [90].

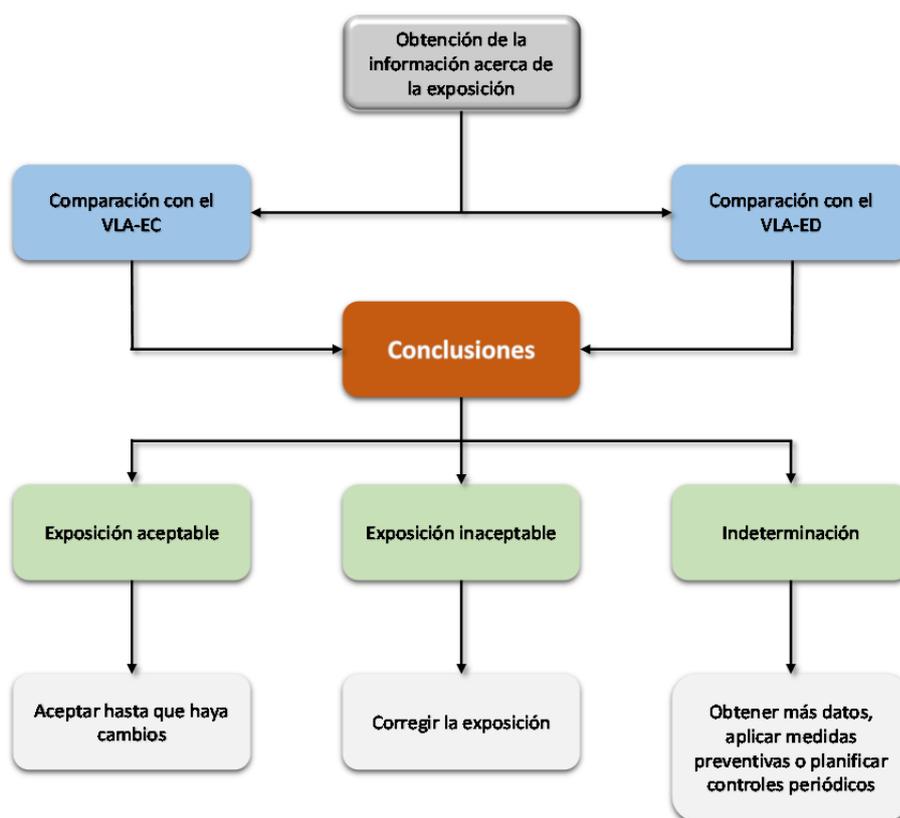


Figura 4.3. Diagrama de flujo para la prevención de riesgos relacionados con agentes químicos.

4.1.2.7 Tipos de muestreo. Estrategias de medición de agentes químicos

4.1.2.7.1 Tipos de muestreo en una jornada de trabajo

Las cuestiones mencionadas en los apartados anteriores, junto con la determinación del momento a lo largo de la jornada en el que deben realizarse las mediciones, se resolverán a través de la elección correcta de la estrategia de medición a aplicar [111].

Asimismo, la evaluación del riesgo por inhalación se lleva a cabo por comparación de la concentración del agente químico en el aire ponderada en el tiempo con el valor límite ambiental del agente en cuestión. Esta concentración —concentración media ponderada de una jornada de trabajo— se obtendrá, bien realizando la medición durante toda la jornada completa, o bien estimándola a partir de mediciones cuya duración es menor, asegurando siempre que los resultados obtenidos sean representativos de la exposición. Esto significa que las concentraciones halladas deben corresponderse con las que existen en el puesto de trabajo.

4.1.2.7.1.1 Estrategias de medición para comparación con el VLA-ED

La norma dispone de distintas estrategias de muestreo para obtener el valor ED de una jornada, las cuales viene representadas en la Figura 4.4 [90].

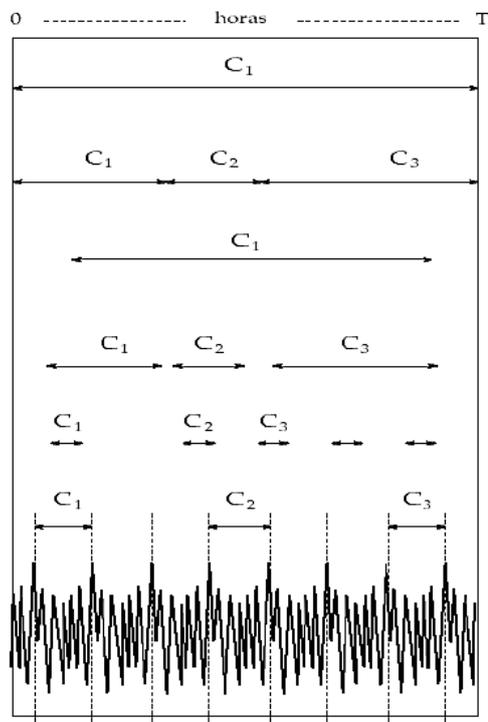


Figura 4.4. Tipos de muestreo.

Tipos A y B

La elección de uno de estos dos tipos de muestreos supone que la toma de muestras se realizará durante la totalidad de la jornada laboral.

- Tipo A: la elección de este tipo de muestreo supone la toma de una única muestra de duración igual al periodo de exposición, según la expresión (4.11).
- Tipo B: este tipo de muestreo implica cubrir el periodo de exposición con dos o más muestras consecutivas, siendo más recomendable porque permite detectar mejor, en su caso, la contaminación accidental de una muestra y las variaciones de la concentración durante la exposición. Su determinación se lleva a cabo en base a la expresión (4.12).

$$ED = C_1 \times \frac{T}{8} \quad (4.11)$$

$$ED = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N}{N} \times \frac{T}{8} \quad (4.12)$$

Tipos C y D

En los modelos de medición basados en los tipos C y D se muestrearán solamente una parte de la exposición total de la jornada, suponiendo que la concentración media de ese periodo es extrapolable a la de la totalidad de la exposición por tratarse de una exposición homogénea. Es decir, para que estos tipos de muestreo sean representativos de la exposición diaria, es necesario que las condiciones sean similares a las del periodo muestreado durante el periodo de tiempo no muestreado.

Al igual que los tipos anteriores (A y B), el muestreo tipo C se referirá a una sola muestra mientras que el tipo D corresponderá a varias muestras consecutivas. Lo que diferencia a estos tipos de los anteriores es que, en los modelos A y B, la duración de los periodos muestreados coincide con la duración diaria de la exposición, mientras que en los modelos C y D los periodos muestreados son más cortos (entre el 70% y 80%).

La determinación de los tipos de muestreo C y D se llevará a cabo a partir de las expresiones (4.13) y (4.14), respectivamente.

$$ED = C_1 \times \frac{T}{8} \quad (4.13)$$

$$ED = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N}{N} \times \frac{T}{8} \quad (4.14)$$

Tipos B y D. Variante de muestreo

Estos tipos de muestreos permiten una variante que consiste en determinar las operaciones o tareas que desarrolla el trabajador a lo largo de la jornada laboral y muestrear cada operación durante un tiempo inferior a su duración. De este modo, en los cálculos se utilizará la duración de la operación y no la duración del muestreo.

Cálculo del índice de exposición de la sustancia e intervalos de confianza

Una vez obtenida la exposición diaria (ED) según la estrategia de medición aplicada, se procederá al cálculo del índice de exposición de la sustancia e intervalo de confianza del mismo.

Índice de exposición de la sustancia

Se calculará el valor ED y se comparará con el valor VLA-ED correspondiente, obteniéndose el valor denominado Índice de la Exposición de la Sustancia mediante la ecuación (4.15):

$$I = \frac{ED}{VLA - ED} \quad (4.15)$$

Intervalos de confianza

Si se desea comparar el valor de ED de una jornada con el VLA-ED, deben tenerse en cuenta los errores aleatorios que conllevan la metodología analítica y los instrumentos de muestreo. Para ello, se comprueba el intervalo de confianza.

A partir del cálculo de los intervalos de confianza, se obtendrá el coeficiente de desviación en función del sistema de medición utilizado. Cuando no se dispongan de los datos específicos del sistema de medición utilizado, se obtendrá el coeficiente de desviación para un equipo de medición directa de la Tabla 4.3 [101].

Tabla 4.3. Valores del coeficiente de variación.

Sistema de medición	CV
Tubos detectores de corta duración	0,14
Muestreadores personales (sólo toma de muestras)	0,05
Tubos absorbentes de carbón activo (toma de muestras y análisis)	0,10
Polvo respirable, excepto polvo de carbón (toma de muestras y gravimetría)	0,09
Polvo total (toma de muestras y análisis)	0,05

Cálculo del intervalo de confianza**Primer Caso: Tipos A y C**

Solo se dispone de una muestra representativa de todo el periodo de exposición (tipos de muestreo A y C). El cálculo del intervalo de confianza viene definido por las expresiones (4.16) y (4.17) [111].

$$I_{m\acute{a}x} = I + 1,645 \cdot CVt \quad (4.16)$$

$$I_{m\acute{i}n} = I - 1,645 \cdot CVt \quad (4.17)$$

Segundo Caso: Tipos B y D

Solo si se dispone de varias muestras consecutivas en exposición uniforme (tipos de muestreo B y D), el cálculo del intervalo de confianza se calculará mediante las expresiones (4.18) y (4.19).

$$I_{m\acute{a}x} = I + 1,645 \times CVt \times \frac{\sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2}}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (4.18)$$

$$I_{m\acute{i}n} = I - 1,645 \times CVt \times \frac{\sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2}}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (4.19)$$

Si $t_1 = t_2 = \dots = t_n$, se utilizarán las expresiones (4.20) y (4.21).

$$I_{m\acute{a}x} = I + \frac{1,645 \times CVt}{\sqrt{n}} \quad (4.20)$$

$$I_{m\acute{i}n} = I - \frac{1,645 \times CVt}{\sqrt{n}} \quad (4.21)$$

Tercer Caso: Muestras consecutivas en exposición no uniforme

Para este último caso, el cálculo del intervalo de confianza vendrá dado por las ecuaciones (4.22) y (4.23).

$$I_{m\acute{a}x} = I + \frac{1,645 \times CVt \times \sqrt{t_1^2 \times C_1^2 + \dots + t_n^2 \times C_n^2}}{VLA - ED \times (t_1 + \dots + t_n) \times \sqrt{1 + CV^2 t}} \quad (4.22)$$

$$I_{m\acute{i}n} = I - \frac{1,645 \times CVt \times \sqrt{t_1^2 \times C_1^2 + \dots + t_n^2 \times C_n^2}}{VLA - ED \times (t_1 + \dots + t_n) \times \sqrt{1 + CV^2 t}} \quad (4.23)$$

Si $t_1 = t_2 = \dots = t_n$, se utilizarán las expresiones (4.24) y (4.25).

$$I_{\text{máx}} = I + \frac{1,645 \times CVt \times \sqrt{C^2_1 + C^2_2 + \dots + C^2_n}}{VLA - ED \times N \times \sqrt{1 + CV^2t}} \quad (4.24)$$

$$I_{\text{mín}} = I - \frac{1,645 \times CVt \times \sqrt{C^2_1 + C^2_2 + \dots + C^2_n}}{VLA - ED \times N \times \sqrt{1 + CV^2t}} \quad (4.25)$$

El valor verdadero de I estará incluido en el intervalo comprendido entre $I_{\text{mín}}$ e $I_{\text{máx}}$ con una probabilidad del 90%. Asimismo, cuando $I_{\text{mín}}$ e $I_{\text{máx}}$ se sitúan por debajo de la unidad, la situación será aceptable. En caso contrario, cuando estos límites se sitúan por encima de la unidad, la situación será inaceptable.

Por último, cuando $I_{\text{mín}}$ e $I_{\text{máx}}$ se sitúan por debajo y por encima de la unidad, respectivamente, significa que el error asociado al procedimiento de medida no permite obtener ninguna conclusión válida sobre si la ED del día muestreado es superior o inferior al valor VLA-ED. Se puede optar, en este caso, por repetir el muestreo en días sucesivos.

Tipo E

Se utilizará este tipo de muestreo para estimar el valor más probable de la media del periodo de exposición mediante el cálculo de la media geométrica de los resultados, corrigiéndola con un factor que es función del número de muestras y de la desviación estándar geométrica de los resultados [111]. Se tomarán muestras de igual duración, repartidas de forma aleatoria durante la jornada laboral. El tratamiento estadístico de los resultados obtenidos mediante muestras aleatorias se distribuyen siguiendo los principios de una distribución logarítmico-normal.

Con la aplicación de este método se obtendrá el intervalo en el que se puede hallar el verdadero valor de la media aritmética con un nivel de confianza conocido (95%).

La estimación de la media de la distribución real se hará mediante el antilogaritmo de la media de los logaritmos de las concentraciones, es decir, el valor de la media geométrica de las concentraciones (MG), corrigiendo posteriormente el resultado multiplicando MG por el valor de la función Φ .

La media geométrica se calculará utilizando la expresión (4.26), mientras que la desviación estándar se determinará mediante la expresión (4.27).

$$MG = e^{\frac{\sum_{i=1}^n Li}{n}} \quad (4.26)$$

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{L} - Li)^2}{n - 1}} \quad (4.27)$$

Seguidamente, se calculará la desviación estándar geométrica mediante la ecuación (4.28):

$$GSD = e^{S_L} \quad (4.28)$$

Finalmente, el valor más probable de la media vendrá dado por la ecuación (4.29), siendo Φ el coeficiente de corrección que se le aplica a la media geométrica MG para obtener el valor más probable de la misma.

$$\Phi \times MG \quad (4.29)$$

El factor Φ puede obtenerse de forma analítica mediante la expresión (4.30), siendo t el valor obtenido de la ecuación (4.31):

$$\Phi = 1 + \frac{(n-1)}{n}t + \frac{(n-1)}{n^2(n+1)} \frac{t^2}{2!} \quad (4.30)$$

$$t = \frac{(S_L)^2}{2} \quad (4.31)$$

Otro medio de hallar el valor de la función Φ es mediante un procedimiento gráfico [111]. Así, con el valor de GSD se entra en la Figura 4.5 desde el eje de abscisas; una vez que corta con la curva del número de muestras, en el eje de ordenadas se obtiene el valor de Φ [90].

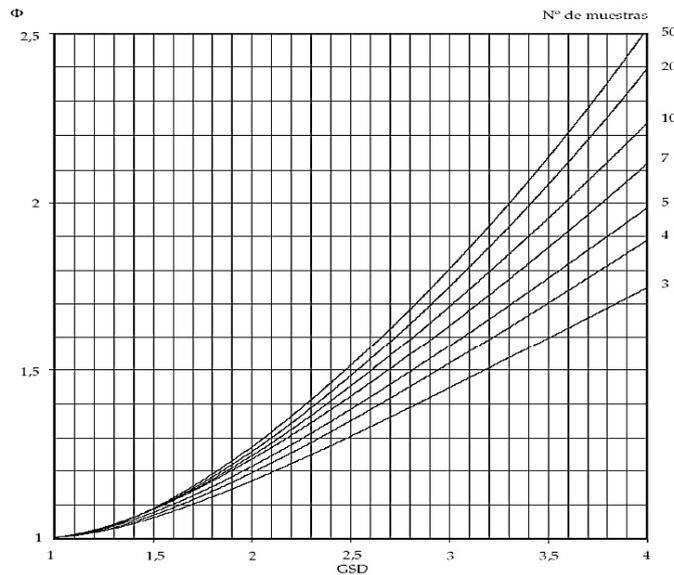


Figura 4.5. Valor más probable de la media.

Cálculo del intervalo de confianza

El límite superior del intervalo en el que se encuentra la media se obtiene al multiplicar la media geométrica por el factor F_{sup} (obtenido a partir de la Figura 4.6 [90]), según la expresión (4.32):

$$C_{sup} = MG \cdot F_{sup} \quad (4.32)$$

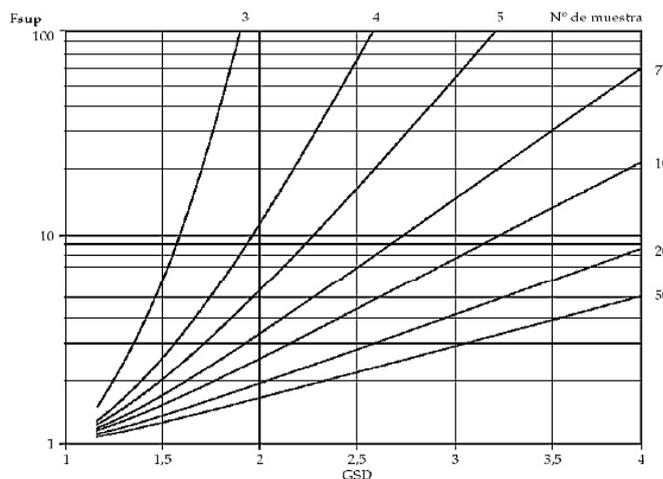


Figura 4.6. Valor del límite superior del intervalo.

El límite inferior del intervalo en el que se encuentra la media se obtiene al multiplicar la media geométrica por el factor F_{inf} (obtenido a partir de la Figura 4.7 [90]) según la expresión (4.33):

$$C_{inf} = MG \cdot F_{inf} \tag{4.33}$$

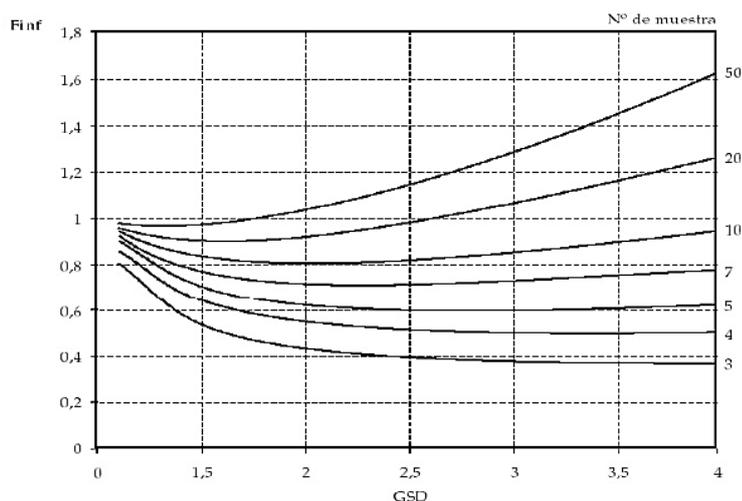


Figura 4.7. Valor del límite inferior del intervalo.

Para considerar la exposición del trabajador aceptable, se verificará que el valor más probable de la media geométrica se encuentra entre el límite superior y el límite inferior del intervalo de confianza calculado. En los casos en los que se obtenga un intervalo de confianza muy amplio que no permita llegar a ninguna conclusión, se planificarán otros tipos de muestreo o se muestreará de nuevo en días sucesivos.

Tipo F

El modelo de medición tipo F se basa en el muestreo de ciclos de trabajo. Se simplifica el muestreo teniendo en cuenta que, teóricamente, la concentración media de un ciclo de trabajo (o mejor, la media de varios ciclos) debería aproximarse a la concentración media de la exposición.

Es necesario que los ciclos comiencen y terminen durante la exposición de la jornada, según la expresión (4.34).

$$ED = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N}{N} \times \frac{T}{8} \quad (4.34)$$

4.1.2.7.1.2 Estrategias de medición para comparación con el VLA-EC

La evaluación del riesgo por inhalación por comparación con el VLA-EC requiere obtener el valor de la concentración ponderada durante el periodo de 15 minutos de exposición más elevada [121].

Cuando el agente químico presente en el puesto de trabajo tiene asignado un valor VLA-EC, el muestreo o la medición debe durar un tiempo igual o inferior a 15 minutos (habitualmente se toman muestras de 15 minutos). El valor VLA-EC no se debe sobrepasar en ningún periodo de 15 minutos dentro de una jornada laboral.

El planteamiento de las mediciones consiste en comprobar si se cumple este requisito muestreando el periodo de exposición de 15 minutos que se supone de máxima exposición.

En una jornada laboral de 8 horas existen 32 periodos de 15 minutos consecutivos, contando desde el inicio al final de la jornada. Si además se tienen en cuenta los periodos solapados, el número es muy elevado. Por este motivo, la probabilidad de que, eligiendo un cierto número de periodos, se muestree el de mayor concentración o alguno de los de mayor concentración, es muy baja.

Esto justifica que, en la práctica, se seleccionen a priori los periodos de la jornada en los que las condiciones del proceso hagan presuponer una mayor generación de agente químico. Para ello, es preciso analizar las tareas del puesto y el proceso de trabajo. Cuando sea posible, se muestrearán el total de periodos en los que presumiblemente se dan las condiciones más desfavorables; si no, se muestrearán aleatoriamente algunos de ellos.

En la Figura 4.8 se recoge el procedimiento a seguir para la aplicación correcta de la estrategia de medición por comparación con el valor límite de corta duración.

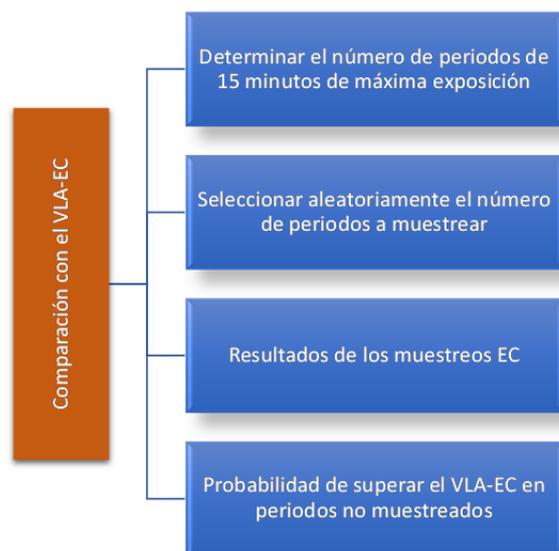


Figura 4.8. Procedimiento de evaluación cuantitativa de exposición por comparación con el VLA-EC.

Cuando se pueda identificar el periodo de mayor exposición, $EC_{m\acute{a}x}$, el procedimiento de decisión será el siguiente:

- Si $(EC_{m\acute{a}x} / VLA-EC) \leq 0,5$: la exposición se considera aceptable.
- Si $0,5 < (EC_{m\acute{a}x} / VLA-EC) \leq 1$: no es posible alcanzar una conclusión sobre la exposición. Pueden adoptarse medidas preventivas o realizar mediciones periódicas.
- Si $(EC_{m\acute{a}x} / VLA-EC) > 1$: la exposición es inaceptable.

Como la seguridad de que se ha muestreado el “peor” periodo de 15 minutos no es total, se puede recurrir a la estadística y estimar la probabilidad de que se supere el valor de VLA-EC en alguno de los periodos no muestreados.

Se parte de la suposición (habitualmente admitida) de que los valores de concentración ambiental se distribuyen de acuerdo con la ley logarítmico-normal, es decir: que los logaritmos de esos valores se distribuyen según la ley normal. Si se dispone de algunos valores de concentración media ponderada durante un periodo de 15 minutos (EC), se puede predecir la probabilidad de que un periodo no muestreado supere el valor VLA-EC y también la probabilidad global de que eso suceda en la totalidad de periodos de 15 minutos que no han sido muestreados.

Se trata de establecer un criterio de decisión (exposición aceptable, inaceptable o indeterminada) a partir de un cierto valor de probabilidad global (p^*) de no superar el VLA-EC [101].

- Si $p^* > 0,9$ (o 90%), se considera que no se supera el VLA-EC (exposición aceptable).
- Si $p^* < 0,1$ (o 10%), se considera que se supera el VLA-EC (exposición inaceptable) y se debe

corregir la exposición.

- Si $0,9 \geq p' \geq 0,1$, no es posible concluir acerca de la superación del valor VLA-EC (indeterminación) y se deben muestrear más periodos o reducir la exposición.

La estimación del valor de p' puede llevarse a cabo de forma analítica o gráfica. En ambos casos, los datos de partida son concentraciones ambientales obtenidas en algunos periodos de 15 minutos de duración entre los que se consideren de máxima generación y presencia de agente químico en el ambiente. Si se aprecia que son numerosos los periodos en los que pueden obtenerse concentraciones de alta exposición, se seleccionan algunos al azar.

El protocolo de actuación para la ejecución del método analítico es el siguiente:

1. Identificar el número de periodos (k) de 15 minutos en los que se dan las condiciones para que la concentración ambiental sea más alta que en el resto de la jornada.
2. Muestrear algunos de ellos (i) de forma aleatoria, obteniendo i resultados correspondientes a sendas concentraciones (EC) provenientes de muestreos de 15 minutos de duración. Si algún resultado es mayor que el VLA-EC, se concluye que se supera el VLA-EC; si no es así, se debe continuar según el punto 3.
3. Obtener i índices de exposición (I) dividiendo cada valor EC por el VLA-EC correspondiente al agente químico en cuestión utilizando la expresión (4.35):

$$I_i = \frac{EC_i}{VLA - EC} \quad (4.35)$$

4. Se calculará el logaritmo (decimal o natural) de cada índice I , utilizando la expresión (4.36):

$$L_i = \log (I_i) \quad (4.36)$$

5. Se calculará la media aritmética de los logaritmos de los índices mediante la expresión (4.37)

$$\bar{L} = \frac{\sum_i L_i}{i} \quad (4.37)$$

6. Se obtendrá la desviación estándar de la distribución normal de los logaritmos de los índices mediante la expresión (4.38):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{L} - L_i)^2}{i - 1}} \quad (4.38)$$

7. Por último, se calculará el estadístico z aplicando la ecuación (4.39):

$$Z = \frac{\bar{L}}{\sigma} \quad (4.39)$$

Posteriormente, se buscará en la tabla de “Distribución normal estándar” [90] el valor de la probabilidad (p), correspondiente a Z , esto es, la probabilidad de que se supere el valor límite en uno de los periodos no muestreados. Finalmente, se calculará la probabilidad global (p') de no superar el valor límite en todos los periodos no muestreados mediante la ecuación (4.40):

$$p' = (1 - p)^{k-i} \quad (4.40)$$

Gráficamente se procede de la siguiente forma, una vez obtenidos los índices de exposición:

1. Disponer de gráficos en el que la escala de un eje es logarítmica y la del otro de porcentaje de probabilidad acumulada de una ley normal.
2. Situar en el gráfico tantos puntos como resultados de mediciones de 15 minutos de los que se dispone, de forma que en el eje logarítmico el valor sea el correspondiente al índice de exposición (I) y en el eje de probabilidad sea el resultado de la expresión (4.41), siendo n el ordinal que corresponde al valor del índice ordenados de menor a mayor e i el número de resultados.

$$\frac{100 \cdot (n - 0,5)}{i} \quad (4.41)$$

3. Ajustar una recta a los puntos trazados.
4. El valor de probabilidad asociado a $I = 1$ sobre esta recta es la probabilidad p de que no se supere el $VLA-EC$ en el siguiente muestreo.
5. Calcular la probabilidad global (p') de no superar el valor límite en todos los periodos no muestreados utilizando la expresión (4.42):

$$p' = \left(\frac{p}{100}\right)^{k-i} \quad (4.42)$$

4.1.2.7.2 Tipos de muestreo en varias jornada de trabajo

En un principio, la suposición de que los resultados obtenidos en una única jornada de trabajo den información sobre si se supera o no el $VLA-ED$ en días venideros resulta muy arriesgada [122].

El valor de la concentración ambiental varía dentro de una misma jornada y de una jornada a otra, por lo que la concentración media puede considerarse como una variable aleatoria. Por este motivo, se considera

que las concentraciones ambientales se distribuyen siguiendo los principios de una distribución logarítmico-normal, es decir, son los logaritmos de las concentraciones los que se distribuyen normalmente [103].

Esto significa que las concentraciones pueden variar teóricamente entre cero e infinito, y que la probabilidad de que la concentración medida esté más o menos alejada de la concentración media real depende de la mayor o menor desviación típica (dispersión) de la distribución o, lo que es lo mismo, de la mayor o menor variabilidad de los factores aleatorios que influyen sobre la concentración.

Por lo general y en la práctica, la variabilidad de las concentraciones medidas suele ser considerable. Como parámetro indicador de esta variabilidad se utiliza la desviación estándar geométrica (GSD) de las concentraciones, que puede oscilar teóricamente desde 1 (concentración constante) hasta cualquier valor positivo superior a la unidad, aunque en la práctica los valores encontrados suelen hallarse en el intervalo de 1,25 a 2,5.

La norma UNE-EN-689 [103] establece dos estrategias de medición para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite —según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un periodo de 8 horas—, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras (Anexo C) y el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras (Anexo D).

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos en jornadas distintas engloba los errores del muestreo y análisis de las muestras efectuadas.

4.1.2.7.2.1 Sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras

El uso de esta estrategia supondrá que cada índice de exposición debe proceder de una jornada diferente de muestreo y que el proceso será repetitivo, es decir, que las condiciones de trabajo no cambiarán sustancialmente de una jornada a otra.

Este sistema de decisión permite decidir, considerando que la variabilidad de los resultados de las ED se distribuyen según una ley logarítmico-normal con $GSD \leq 2$ y con un número reducido de muestras, si la exposición es aceptable o inaceptable, aunque en ocasiones quede abierta la posibilidad de no alcanzar ninguna de estas dos conclusiones.

El procedimiento, recogido en el Anexo C de la norma UNE-EN 689 [103], es el siguiente:

1. Obtener una concentración ponderada durante toda la jornada referida a un periodo de 8 horas (ED).
2. Dividir ED por el valor límite VLA-ED, obteniendo el índice de exposición de la jornada.
3. Decidir, según el resultado de la misma, si la exposición es aceptable:

- Si $I_1 \leq 0,1$, la exposición es aceptable.
- Si $I_1 > 1$, la exposición es inaceptable y debe procederse a corregir la exposición.
- Si $0,1 < I_1 \leq 1$, debe procederse a obtener por lo menos dos valores más de ED para disponer de un mínimo de tres índices de exposición (I) y seguir el procedimiento en (4).
- Si I_1 e I_2 e I_3 e... $I_n \leq 0,25$, la exposición es aceptable.
- Si I_1 o I_2 o I_3 o... $I_n > 1$, la exposición es inaceptable. Corregir la exposición.
- Si I_1 e I_2 e I_3 e... $I_n \leq 1$, pero no se cumple (4), hallar la media geométrica de los índices según la ecuación (4.43):

$$MG = \sqrt[n]{I_1 \times I_2 \times \dots \times I_n} \quad (4.43)$$

- Si $MG \leq 0,5$, exposición aceptable.
- Si $MG > 0,5$, no es posible alcanzar una conclusión definitiva.

Puede optarse por obtener un nuevo índice y seguir el procedimiento desde (4), o detener el proceso de evaluación concluyendo la necesidad de establecer un control periódico de la exposición, o bien implantar medidas específicas de prevención y repetir la evaluación después de su puesta en funcionamiento.

4.1.2.7.2.2 Sistema de decisión a partir de un gran número de muestras

Cuando se disponga de un mayor número de muestras, $n > 6$, se aplicará una mecánica basada en la suposición de que los resultados ED se distribuyen de forma logarítmico-normal, y se podrían ajustar gráficamente a una recta siempre que el uno de los ejes esté escalado en % de probabilidad y el otro en escala logarítmica.

El punto de corte de la recta ajustada con la horizontal correspondiente al valor límite indica en el eje de abscisas la probabilidad (P) en porcentaje de que no se supere el valor límite en una jornada de trabajo. El complementario hasta 100 es, por el contrario, la probabilidad de superar el valor del límite ($100-P$).

Según la norma UNE-EN 689, se propone como criterio de decisión, la clasificación en tres niveles:

1. Si $(100-P) \leq 0.1\%$. Zona verde. Exposición aceptable. Se considerará controlada la exposición.
2. Si $0.1 \% < (100-P) < 5\%$. Zona amarilla. Indeterminación. Se llevará a cabo una planificación de muestreos periódicos.
3. Si $(100-P) > 5\%$. Zona roja. Exposición inaceptable. Se procederá a una corrección de las condiciones de trabajo.

El protocolo de actuación para la ejecución del método gráfico aparece recogido en el Anexo D de la citada norma UNE-EN 689 y se resume a continuación:

4. Ordenar los datos de las ED de menor a mayor tamaño, asignándole el ordinal correspondiente (n), empezando por el 1.
5. Asignar un valor en el eje de abscisas (% probabilidad) a cada valor de ED según la ecuación (4.44) y siendo N el número de valores.

$$\% \text{ prob.} = \frac{n - 0,5}{N} \cdot 100 \quad (4.44)$$

6. Adjudicar a cada punto un valor de ordenadas igual a su valor de ED.
7. Ajustar la mejor recta a los puntos sobre el gráfico de probabilidad.
8. Dibujar la horizontal correspondiente al VLA-ED.
9. Leer el valor en abscisas del punto de corte de la horizontal del valor límite y la recta ajustada. Este valor será la probabilidad de no superar el valor límite en cualquier jornada de trabajo.
10. El valor de la media geométrica de las ED es el correspondiente al valor del punto de la recta que tiene $P = 50\%$.

El valor de la GSD se obtendrá dividiendo el valor por la ED correspondiente a $P = 84\%$ por el valor correspondiente a $P = 50\%$. La GSD será entonces la pendiente de la recta, de manera que cuanto más dispersos sean los valores de las concentraciones halladas mayor es la pendiente.

Si después de realizar estos pasos, los puntos se ajustan difícilmente a una recta, es posible que existan dos o más exposiciones diferentes, de forma que los factores que justifican la variación de las concentraciones generen distribuciones diferentes que deben ser tratadas por separado.

Al existir más de un contaminante cuyos efectos se consideran aditivos, se ajustarán los índices de exposición globales en vez de las concentraciones, buscando la intersección de la recta de ajuste con la horizontal de valor 1 ($I = 1$ implica que $ED = VLA-ED$). Si la disposición gráfica de la escala logarítmica lo aconseja, también se pueden multiplicar los índices por 100 y cruzar la recta con la horizontal $I = 100$.

El protocolo de actuación para la ejecución del método analítico es el siguiente:

11. Calcular a partir de los valores de ED o de los índices de exposición disponibles los valores de los logaritmos (neperianos o decimales) de MG y GSD mediante las expresiones (4.45) y (4.46), siendo Ln_i los logaritmos naturales de los valores de ED y n el número de datos.

$$\text{LnMG} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}i}{n} \quad (4.45)$$

$$\text{LnGSD} = \sqrt{\frac{\sum[\text{LnMG} - \text{Lni}]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum[\text{Lni}]^2 - n \times (\text{LnMG})^2}{n - 1}} \quad (4.46)$$

12. A partir de los valores anteriores, se calculará el estadístico z utilizando la expresión (4.47):

$$z = \frac{\text{LnVLA} - \text{ED} - \text{LnMG}}{\text{LnGSD}} \quad (4.47)$$

Al trabajar con los índices el valor de LnVLA-ED en esta ecuación será nulo, ya que corresponderá al índice unidad.

13. Obtener el valor de P en la tabla de “Distribución normal estándar” [90] para z .

4.1.2.7.3 Mediciones periódicas de control

Las mediciones periódicas se utilizarán para:

- Comprobar si las condiciones de la exposición han cambiado.
- Comprobar que las medidas de control permanecen eficaces.

La frecuencia de las mediciones depende de los resultados obtenidos en las evaluaciones de la exposición, por lo que esta frecuencia aumentaría a medida que aumente el valor de I .

La norma UNE-EN-689, en su anexo F, establece el siguiente esquema de actuación. La primera medición se efectúa a las 16 semanas y, de acuerdo con el valor de I obtenido, se fija la siguiente:

- $I \leq 0,25$ a las 64 semanas.
- $0,25 < I \leq 0,5$ a las 32 semanas.
- $0,5 < I \leq 1$ a las 16 semanas.
- $I > 1$ identificar las causas y remediar la situación.

4.1.2.7.4 Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos durante la evaluación de la exposición o durante las mediciones periódicas se utilizan dos procedimientos: la media ponderada móvil y el gráfico de probabilidad.

4.1.2.7.4.1 Media ponderada móvil

Se utilizará este método para seguir la tendencia de la exposición. Para ello, se dispondrá de datos de sucesivas mediciones periódicas.

4.1.2.7.4.2 Gráfico de probabilidad

Este método consiste en expresar las mediciones de exposición en percentiles, y posterior análisis estadístico de los datos en forma de un gráfico de probabilidad logarítmico-normal o de frecuencias acumuladas (porcentaje). Para la aplicación de este procedimiento se requieren, al menos, siete datos.

En concreto, el método gráfico comprende los siguientes pasos:

1. Se ordenan los datos de exposición en orden creciente.
2. Se cuenta el número de datos y, a partir de las tablas G.1 y G.2 "Posiciones en el gráfico para el papel de probabilidad normal" (UNE-EN-689), se obtienen las posiciones adecuadas en el gráfico.
3. Se selecciona un papel para gráficos de probabilidad logarítmica que tenga un eje Y que cubra el intervalo de resultados de la exposición.
4. Se representan cada valor de exposición en el papel de probabilidad logarítmica.
5. Se ajusta una línea recta a los datos, despreciando los puntos fuera de los límites de probabilidad 1% y 99% (si los hubiera). Para los demás datos, se da preferencia a aquellos más cercanos a la posición del 50%, es decir, en la zona del 20% al 80%.
6. Si los datos no se ajustan a una línea recta es posible que la distribución real no sea logarítmico-normal o que incluya datos que pertenecen a otra población.
7. El valor de la media geométrica (MG) es el valor correspondiente a la probabilidad del 50% y puede leerse directamente a partir de la intersección de la recta ajustada con la línea correspondiente a la probabilidad del 50%.
8. La desviación estándar geométrica (DSG) es la pendiente de la recta y una medida de la variabilidad o dispersión de los datos, que viene dada por la expresión (4.48):

$$DSG = \frac{\text{valor del 84\%}}{\text{valor del 50\%}} \quad (4.48)$$

El gráfico de probabilidad logarítmico-normal se caracteriza con dos parámetros:

9. Media geométrica (MG): valor por encima y por debajo del cual se encuentran el 50% de los datos

10. Desviación estándar geométrica (DSG): pendiente del gráfico de frecuencias acumuladas que es una media de la variabilidad de los datos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los materiales, equipos y procedimientos utilizados durante el desarrollo de la investigación.

En primer lugar, se seleccionaron las instalaciones que representan la generalidad del sector en la zona de estudio de la región. Una vez justificada esta selección —en función de las características de instalaciones y procesos productivos— se identificó la exposición a los gases más significativos presentes en el proceso y los equipos de medición utilizados [123] [124].

Finalmente, se describen los procedimientos que se emplearon para la cuantificación y valoración de los contaminantes detectados en cada una de las situaciones objeto de evaluación.

5.2 Materiales seleccionados

5.2.1 Justificación de los riesgos analizados

Como se ha indicado en el capítulo tres del presente trabajo, la fermentación alcohólica constituye la fase clave en la transformación del mosto en vino, siendo en la mayoría de los casos el único origen de los gases contaminantes en estas instalaciones. Asimismo, la generación de dióxido de carbono y de etanol [29] son una consecuencia directa de esta etapa, en la que existen también otros gases intermedios como el monóxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno [30] [31].

Además de estos gases inherentes al proceso de fermentación, en el proceso de vinificación se genera también dióxido de azufre, ya que éste se incorpora en el proceso de dos formas diferentes, bien procedente del campo, adherido a la uva, o bien incorporado de forma artificial a la cadena productiva de la industria, principalmente en la etapa de sulfitado —y en alguna otra etapa— para asegurar el correcto desarrollo del proceso de vinificación.

Aunque el etanol es un gas generado directamente en la reacción de fermentación y, por tanto, presente en este tipo de instalaciones, no se analizará su presencia, dado que ésta afecta fundamentalmente a la

probabilidad de formación de atmósferas explosivas, las cuales suponen un riesgo para la seguridad, pero no un riesgo higiénico, por lo que no será objeto de esta tesis. En la Figura 5.1 se identifican los gases generados y el origen correspondiente [125]:

Tabla 5.1. Contaminante y origen.

Contaminante generado	Origen de la generación
Dióxido de carbono (CO ₂)	Reacción de fermentación alcohólica-Resultado directo
Monóxido de carbono (CO)	Reacción de fermentación alcohólica-Gas intermedio
Dióxido de azufre (SO ₂)	Adicionado de forma natural a la materia prima [28] o incorporado artificialmente en diferentes fases del proceso
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	Reacción de fermentación alcohólica (SO ₂ da lugar al SH ₂ durante la reacción de fermentación)
Etanol (C ₂ H ₆ O)	Reacción de fermentación alcohólica-Resultado directo

5.2.2 Selección de la muestra de estudio

La selección de las explotaciones o bodegas se ha llevado a cabo con el fin de que éstas fueran representativas en cuanto a la tecnología, instalaciones y procesos de elaboración empleados en la provincia de Badajoz.

Tal y como se ha indicado con anterioridad, existen en el sector vinícola multitud de equipos y maquinaria para cada proceso productivo. En el presente estudio, y teniendo en cuenta la situación actual de la zona analizada, pueden encontrarse desde la más avanzada tecnología del sector hasta instalaciones con sistemas o elementos tradicionales que siguen hoy en día funcionando y que, en mayor o menor medida, pueden suponer un riesgo añadido para el trabajador.

Otro factor considerado para que la selección abarcara todas las opciones existentes en el sector fue la capacidad de la bodega, que se traduce en la existencia de depósitos fermentando en el mismo recinto, aunque en distintas fases de proceso, dentro de una instalación ventilada parcial o totalmente y de forma natural o artificial. Esta situación, al igual que el caso de las instalaciones tradicionales, puede suponer también un riesgo añadido para el trabajador. Por tanto, en esta selección se han tenido en cuenta tres parámetros, los cuales definen las características más representativas de las empresas del sector objeto de estudio:

1. Producto elaborado: vino tinto, blanco y mosto.
2. Instalaciones, maquinaria y equipos utilizados en los diferentes procesos productivos.
3. Capacidad de la instalación.

Así, el conjunto de máquinas y equipos empleados en los procesos de elaboración del vino tinto, blanco, rosado y mosto viene reflejado en la Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3 y Figura 5.4, respectivamente.

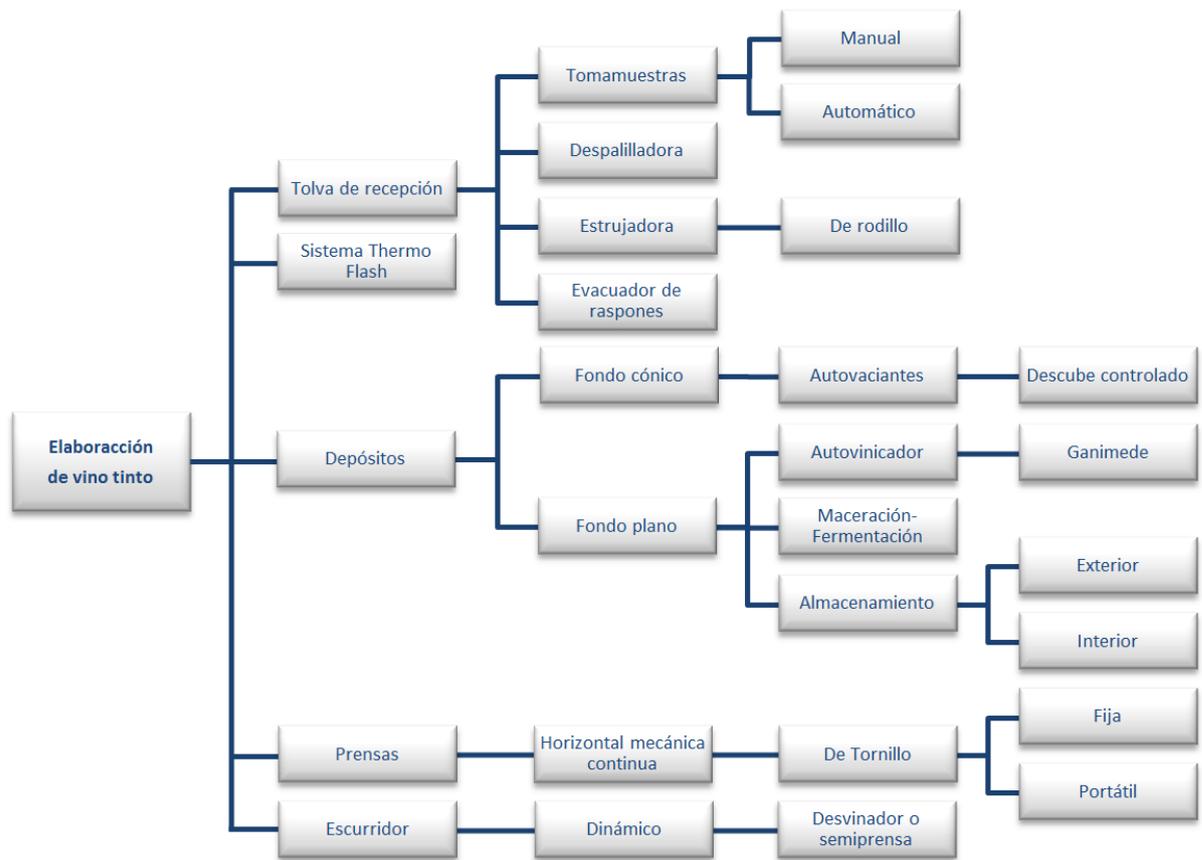


Figura 5.1. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de vino tinto.



Figura 5.2. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de vino blanco.

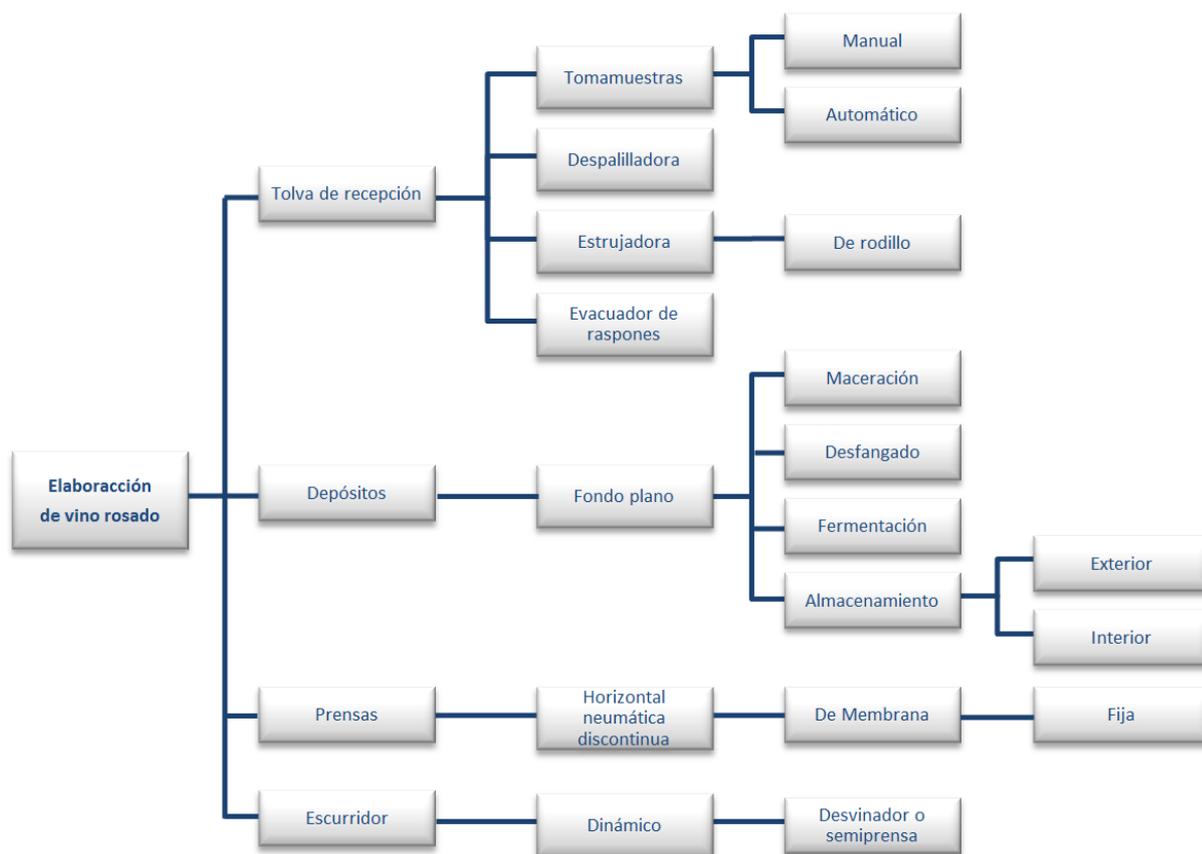


Figura 5.3. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de vino rosado.



Figura 5.4. Maquinaria y equipos para el proceso de elaboración de mosto.

Una vez identificada la maquinaria empleada en los distintos procesos productivos y siendo ésta independiente de la capacidad de la instalación, se seleccionaron las instalaciones necesarias para cubrir todas las opciones posibles. A su vez, y cubiertos los dos primeros requisitos, la capacidad de la bodega fue

incluida mediante la selección de instalaciones con distintas capacidades, desde las bodegas más pequeñas, —que normalmente son empresas familiares de la zona— hasta industrias de mayor capacidad como cooperativas más o menos modernas y con mayor o menor capacidad.

Partiendo de las premisas anteriores, se seleccionó una muestra representativa de cinco bodegas, integrada por una bodega familiar, una bodega experimental y tres cooperativas con distintas capacidades para una producción baja, media y alta. Tanto la bodega familiar como algunas de las cooperativas seleccionadas disponen de equipos actuales y tradicionales. Asimismo, se han tenido en cuenta las ventajas de incluir una bodega experimental dentro de la muestra, dado que ésta utiliza tecnologías de última generación en el proceso productivo.

La secuencia de los distintos procesos de vinificación viene representada en la Figura 3.1, mientras que las características principales, número de trabajadores, equipos disponibles y la distribución en planta de cada instalación se describen en los siguientes apartados.

5.2.2.1 Tipología A

Se trata de una bodega perteneciente a una asociación de cooperativas, situada en la subzona de Tierra de Barros. Al tratarse de una bodega experimental, su objetivo no es la producción de vino en sí (600.000 litros) —para eso cada una de las cooperativas que la integran tienen sus propias instalaciones— sino que su función es la de experimentar con la aplicación de nuevas tecnologías y procesos productivos para aumentar la producción y obtener vinos de mayor calidad en el menor tiempo posible. Este hecho hace también que no sea necesaria una gran capacidad en la misma —ésta es insignificante en comparación con la media del sector—, que además depende de los proyectos de mejora e investigación llevados a cabo en cada momento. Todo lo anterior se traduce en la existencia de unas particularidades en el ritmo del proceso productivo —y en el propio proceso— que la excluyen de la generalidad del sector vinícola en la zona en relación a la tecnología aplicada y ritmo de producción.

Durante la época de elaboración cuenta con un total de 2 trabajadores destinados única y exclusivamente a la elaboración de vino. Los equipos e instalaciones existentes vienen reflejados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Maquinaria e instalaciones de la Tipología A.

Producto elaborado	Zona de instalación		
	Recepción y descarga	Procesado	Almacenamiento (incluye fermentación)
Vino tinto	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora		Sistema Flash Depósitos maceración Autovinificador-Ganimede Depósitos de almacenamiento
Vino rosado	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora	Prensa discontinua de membrana	Depósitos de almacenamiento-fermentación
Vino blanco	Tolva de recepción Estrujadora	Prensa discontinua de membrana Depósitos de desfangado	Depósitos de almacenamiento-fermentación Depósitos isotérmicos

La Figura 5.5 muestra un croquis de la distribución en planta de una bodega representativa de la tipología A.

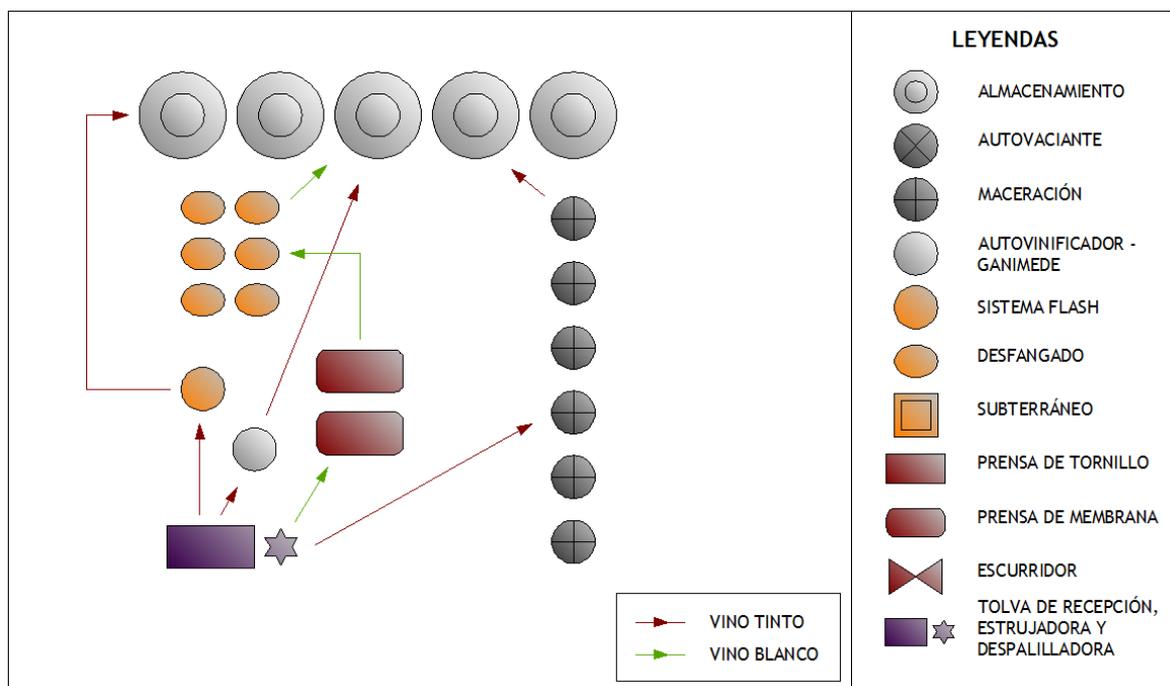


Figura 5.5. Distribución en planta de Tipología A.

5.2.2.2 Tipología B

Se trata de una cooperativa perteneciente a la subzona de Matanegra, con una producción de 6.062.000 litros, pero con instalaciones y máquinas relativamente antiguas. El número de trabajadores contratados en campaña asciende a un total de tres. Los equipos e instalaciones existentes vienen reflejados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Maquinaria e instalaciones de la Tipología B.

Producto elaborado	Zona de instalación		
	Recepción y descarga	Procesado	Almacenamiento (incluye fermentación)
Vino tinto	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora		Depósitos autovaciantes Autovinificador-Ganimede Depósitos de almacenamiento Depósitos subterráneos
Vino rosado	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora	Prensa continua de tornillo	Depósitos de almacenamiento-fermentación Depósitos subterráneos
Vino blanco	Tolva de recepción Estrujadora	Prensa discontinua de membrana Depósitos de desfangado Depósitos subterráneos	Depósitos de almacenamiento-fermentación Depósitos isotérmicos

La Figura 5.6 muestra un croquis de la distribución en planta de una bodega representativa de la tipología B.

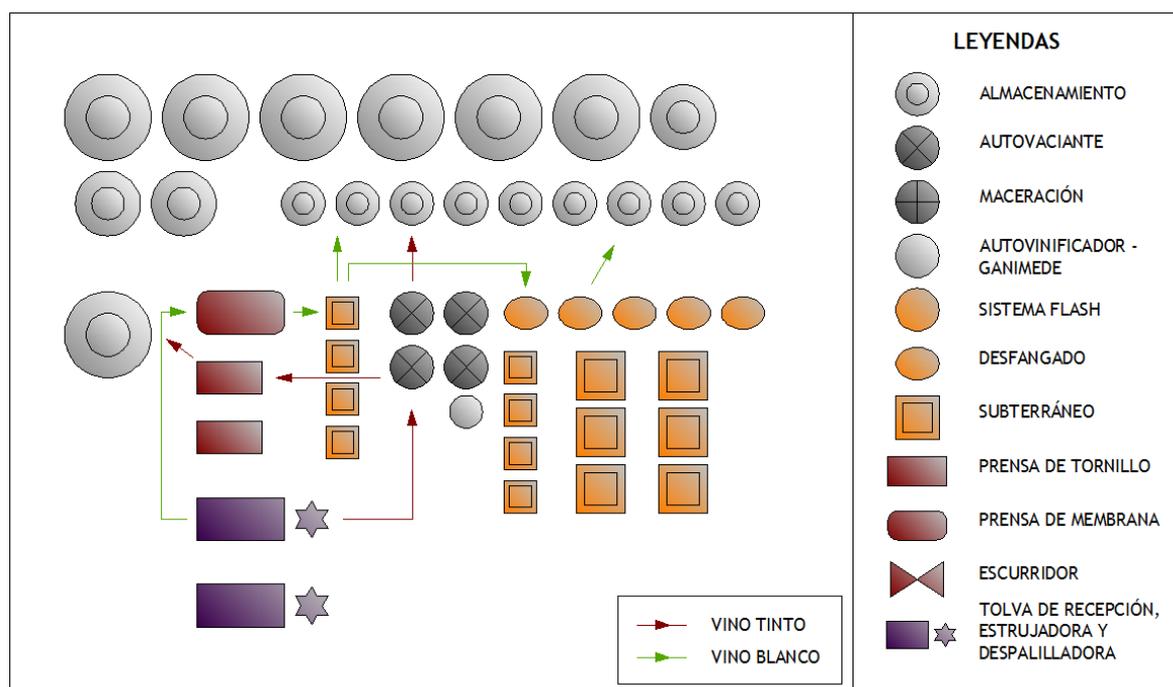


Figura 5.6. Distribución en planta de Tipología B.

5.2.2.3 Tipología C

Se trata de una pequeña cooperativa con modernas instalaciones perteneciente a la subzona de Tierra de Barros, con una producción de 1.780.000 litros y que en campaña cuenta con dos trabajadores. Los equipos e instalaciones existentes vienen reflejados en la Tabla 5.4:

Tabla 5.4. Maquinaria e instalaciones de la Tipología C.

Producto elaborado	Zona de instalación		
	Recepción y descarga	Procesado	Almacenamiento (incluye fermentación)
Vino tinto	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora		Depósitos autovaciantes Depósitos de almacenamiento
Vino Blanco	Tolva de recepción Estrujadora	Prensa discontinua de membrana Depósitos de desfangado	Depósitos de almacenamiento-fermentación

La Figura 5.7 muestra un croquis de la distribución en planta de una bodega representativa de la tipología C.

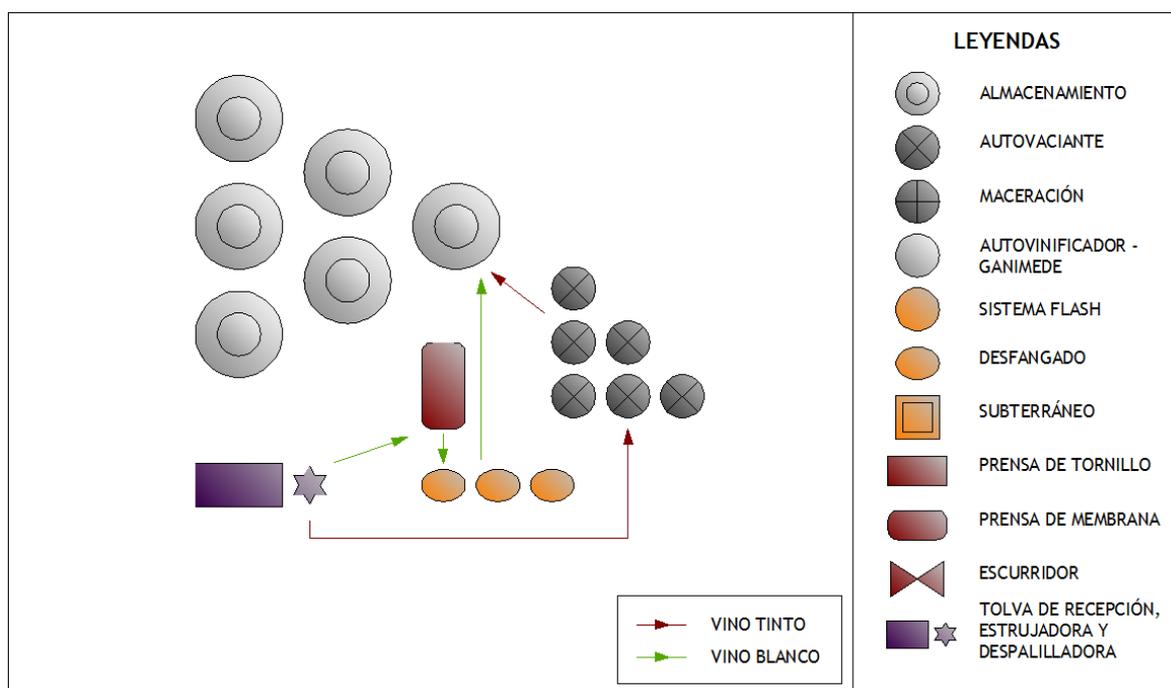


Figura 5.7. Distribución en planta de Tipología C.

5.2.2.4 Tipología D

Se trata de una bodega familiar, reformada en el año 2002 con nuevas tecnologías pero manteniendo la forma tradicional de elaboración. Situada en al subzona de Matanegra, la producción de la misma asciende a 1.000.000 litros, contando en campaña con 1 trabajador. Los equipos e instalaciones existentes vienen reflejados en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Maquinaria e instalaciones de la Tipología D.

Producto elaborado	Zona instalación		
	Recepción y descarga	Procesado	Almacenamiento (incluye fermentación)
Vino tinto	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora	Prensa continua de tornillo Desvinador	Depósitos de maceración-fermentación Conos Depósitos de almacenamiento
Vino blanco	Tolva de recepción Estrujadora	Prensa continua de tornillo Desvinador Depósitos de desfangado Depósitos subterráneos	Depósitos de almacenamiento-fermentación

La Figura 5.8 muestra un croquis de la distribución en planta de una bodega representativa de la tipología D.

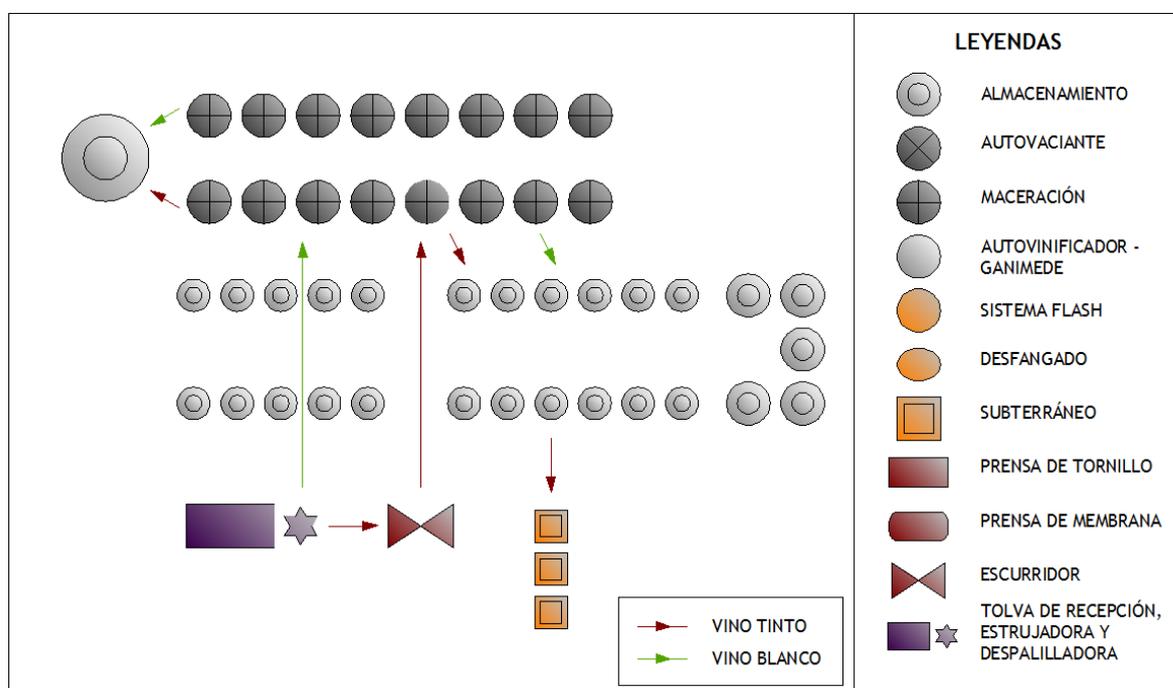


Figura 5.8. Distribución en planta de Tipología D.

5.2.2.5 Tipología E

Se trata de una cooperativa de dimensiones mayores a todas las anteriores, perteneciente a la subzona de Tierra de Barros. Con una producción de 16.581.496 litros, dispone de instalaciones modernas y de gran capacidad que permiten asumir una elevada entrada de uva en campaña de forma simultánea, contando con 5 trabajadores para el proceso de elaboración de vino.

En concreto, en la zona de producción, existen sistemas de ventilación artificial compuestos por equipos que, instalados en los paramentos verticales, inyectan aire limpio del exterior al interior y operan de forma continua. En condiciones normales de funcionamiento, es decir, con todos los depósitos autovaciantes

lentos —aunque no todos en la misma fase del proceso de fermentación— las puertas permanecen abiertas y los sistemas de ventilación en funcionamiento las veinticuatro horas del día, desde el inicio hasta el final de la campaña de vino tinto. Los equipos e instalaciones existentes vienen reflejados en la Tabla 5.6, mientras que la Figura 5.9 muestra un croquis de la distribución en planta de una bodega representativa de la tipología E.

Tabla 5.6. Maquinaria e instalaciones de la Tipología E.

Producto elaborado	Zona de instalación		
	Recepción y descarga	Procesado	Almacenamiento (incluye fermentación)
Vino tinto	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora	Prensa continua de tornillo Desvinador	Depósitos autovaciantes Depósitos de almacenamiento
Vino rosado	Tolva de recepción Despalilladora Estrujadora	Desvinador	Depósitos de almacenamiento-fermentación Depósitos subterráneos
Vino blanco	Tolva de recepción Estrujadora	Prensa discontinua de membrana Depósitos de desfangado Depósitos subterráneos	Depósitos de almacenamiento-fermentación Depósitos isotérmicos
Mosto	Tolva de recepción Estrujadora	Depósitos subterráneos	Depósitos de almacenamiento

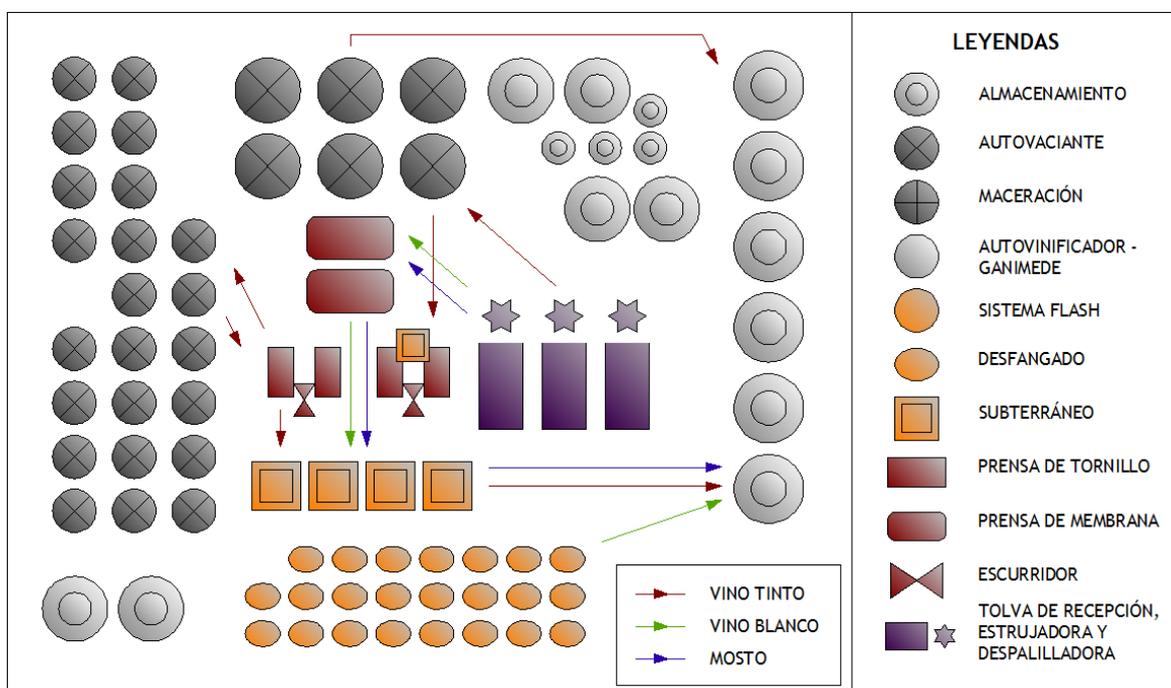


Figura 5.9. Distribución en planta de Tipología E.

De este modo, con la citada selección de bodegas se cubren todas las opciones o tipologías presentes en la zona de estudio considerando los tres parámetros identificados como representativos para las características que reúnen las empresas del sector.

Asimismo, de la información anterior se extrae que el número total de trabajadores de todas las bodegas seleccionadas y que realizan tareas en los procesos de elaboración, asciende a un total de 13, número que supone la muestra de estudio para las valoraciones llevadas a cabo en este trabajo.

Para seleccionar el número de trabajadores a muestrear, se analizaron en primer lugar las características del grupo de trabajadores de esta muestra. Así, como se indicó en el apartado 4.1.2.2.2, la existencia de varias personas que realizan tareas similares en condiciones ambientales parecidas plantea la posibilidad de realizar mediciones de exposición a una parte de ellos y ahorrar medios, considerando que la exposición es común a todos.

En este caso, se optó por la realización de una encuesta/entrevista personal previa a todos los trabajadores de cada una de las bodegas seleccionadas, que permitió saber si todos realizan el mismo tipo de tareas en condiciones similares y constituyen por tanto un grupo homogéneo de exposición [23] [48] [49] [126] [127]. Concretamente y a modo de ejemplo, en la Tabla 5.7 se recogen algunas de las preguntas de la encuesta incluidas en parte de los epígrafes A y C. Éstas y otras preguntas permitieron obtener información relativa a su actividad (puesto ocupado, tareas realizadas, equipos utilizados, etc.).

Tabla 5.7. Epígrafes y contenido de algunas preguntas de la encuesta realizada.

Epígrafe	Contenido de la pregunta formulada
A1.	- Antes de empezar, por favor, marque la casilla o casillas (en el caso de realizar más de una función) que mejor se ajusta a su situación actual; es decir, aquellas actividades que ocupan la mayor parte de su tiempo en este momento:
A2.	- A continuación, de acuerdo a lo marcado en la tabla anterior, indique brevemente cuáles son sus principales tareas:
C1.	- ¿Con cuántos empleados cuenta actualmente la bodega en la que trabaja?
C2.	- En caso de emplear a más trabajadores en campaña, ¿cuántos empleados ocupa la bodega en campaña?
C3.	- ¿Qué tipo de vino se produce en su bodega? Marque tantas opciones como corresponda:
C4.	- ¿Qué dependencias existen en su centro de trabajo? Marque todas las que corresponda:
C5.	- ¿Qué puestos existen ahora mismo en su centro de trabajo? Marque cuantos corresponda:
C6.	- ¿Qué tipo de depósitos existen en su bodega? Marque todos los que corresponda:
C7.	- (Sólo si ha respondido anteriormente que en su bodega hay depósitos subterráneos) ¿Los depósitos subterráneos presentan defensas en su boca de entrada o cualquier otro sistema de protección?
C8.	- ¿A qué depósitos accede usted en el ejercicio de su trabajo? Marque los que corresponda:
C9.	- (Sólo si ha respondido anteriormente que accede a algún o algunos depósitos) ¿Qué tareas realiza cuando accede a los depósitos que ha marcado?
C10.	- ¿Conoce durante cuánto tiempo se ventilan los depósitos antes de permitir el acceso a ellos?
C11.	- (Sólo si ha respondido anteriormente la opción “depende de la producción”) ¿Podría explicar brevemente la frecuencia de ventilación en función de la producción?
C12.	- ¿Cómo se realiza la ventilación de los depósitos?
C13.	- (Sólo si ha respondido anteriormente la opción de ventilación “natural”) ¿Podría determinar qué compuertas se abren?
C14.	- Por favor, indique si utiliza algún tipo de equipamiento para acceder al interior de los depósitos que existen en su bodega.
C15.	- (Sólo si ha respondido anteriormente la opción “depende del tipo de depósito”) Si el equipamiento auxiliar para facilitar el acceso al depósito depende del tipo de depósito, ¿podría explicarlo brevemente?
C16.	- ¿Se comprueba la atmósfera del depósito antes de entrar en el mismo?
C17.	- (Sólo si ha respondido anteriormente la opción “Sí”) ¿Cómo se comprueba el estado del aire del depósito?

Partiendo de los resultados obtenidos, se concluyó que el grupo de trabajadores de cada una de las bodegas formaba un grupo homogéneo y que, a su vez, los trabajadores del conjunto de las bodegas valoradas también constituían un grupo de este tipo.

De acuerdo con la Guía Técnica de valoración de exposición de agentes químico [90], para evaluar un grupo de trabajadores homogéneo es necesario muestrear al menos uno de cada 10 trabajadores. El número de trabajadores en las bodegas analizadas oscila entre 1 y 5, por lo que resultaría suficiente el muestreo de un trabajador por bodega.

En estas condiciones, la probabilidad de muestrear algún trabajador de los de mayor exposición es del 100% con tan solo muestrear un trabajador por bodega.

En todo caso, y para realizar una valoración más exhaustiva, se aplicó el criterio expuesto por Leidel, Bush y Lynch [101], que considera que la elección del número de trabajadores a muestrear, entre un grupo homogéneo de exposición, se desarrolla bajo la hipótesis de que en el grupo muestreado al azar se encuentre al menos uno de los trabajadores de exposición más alta.

Para ello, se utilizan los principios de la distribución hipergeométrica, reflejada en la expresión (5.1), siendo n el número de trabajadores que se muestrean, N_0 el número de trabajadores de mayor exposición dentro del GHE, N es el total del GHE y p es la probabilidad de que, entre los n muestreados, se incluyan 1 de los N_0 de mayor exposición.

$$p = \frac{\binom{N_0}{x} \binom{N - N_0}{n - x}}{\binom{N}{n}}; \text{ donde } \binom{N}{n} = \frac{N!}{n! (N - n)!} \quad (5.1)$$

Para considerar algunas opciones más desfavorables, ya que no se garantiza la homogeneidad si se valora de forma conjunta a los trabajadores de las cinco bodegas —aunque sí su representatividad— y así poder determinar si el planteamiento inicial es correcto o no, se supuso que al menos el 50, 30, 20 o 10% de los trabajadores están sometidos a la máxima exposición.

De forma general, en la Tabla 5.8 se presentan las diferentes probabilidades de que al menos 1 de los trabajadores muestreados dentro del GHE [18] [20] [34] [102] [126] sea de máxima exposición:

Tabla 5.8. Probabilidad de que al menos 1 de los trabajadores muestreados dentro del GHE sea de máxima exposición.

N	13	10% de máxima exposición dentro del GHE	$N_0=0,1N$ $P=0,4221$	$P=(1-0,42)*100=57\%$
n	10			
N	13	20% de máxima exposición dentro del GHE	$N_0=0,2N$ $P=0,0559$	$P=(1-0,05)*100=94\%$
n	10			
N	13	30% de máxima exposición dentro del GHE	$N_0=0,3N$ $P=0,015$	$P=(1-0,015)*100=98\%$
n	10			
N	13	50% de máxima exposición dentro del GHE	$N_0=0,5N$ $P=0,0056$	$P=(1-0,0056)*100=99\%$
n	10			

En estas condiciones y muestreando un total de 10 trabajadores (1 o 2 por bodega, en función del número de trabajadores existentes en cada una de ellas) de los 13 que constituyen el GHE, se obtiene casi una probabilidad del 100% de muestrear al 50% de los trabajadores de mayor exposición dentro del GHE.

5.2.3 Selección del sistema de toma de muestras

En la higiene industrial, las mediciones de las concentraciones ambientales suelen ser de tipo personal. A su vez, pueden establecerse lógicas excepciones y aceptar mediciones estáticas o fijas cuando lo que se pretende es la confirmación de alguna hipótesis mediante datos aproximados o midiendo en condiciones extremas [90].

En este caso y dado que se valoró tanto la exposición asociada a la actividad realizada por el trabajador como otras condiciones específicas de las instalaciones o equipos, como situaciones concretas de exposición, se recurrió tanto a las mediciones de tipo personal (en mayor medida) como a mediciones fijas.

5.2.4 Selección de los puntos de medición

Para la valoración de la exposición de los trabajadores se recurrió generalmente a la realización de medidas personales. Los puntos en los que se va a medir son variables, ya que están determinados por la ubicación del trabajador en el momento del muestreo.

Asimismo y de forma complementaria a las medidas anteriormente citadas, se seleccionaron algunos puntos de medición fija para aportar información adicional de la exposición del trabajador.

5.2.5 Selección del periodo de muestreo y tiempo de muestreo

Una campaña tiene una duración aproximada de entre 4 y 6 semanas [67] [68], dependiendo de variables tales como las variedades de uva (tinta y blanca), la climatología específica de ese año y la cantidad final de producto entrante con relación a la capacidad de la bodega, entre otras. Durante este periodo se elaboran vino tinto, rosado, blanco e incluso mosto.

En la zona de estudio, el primer periodo de campaña es el destinado al procesado de uva tinta y el segundo a la blanca. Así, la Tabla 5.9 muestra la evolución que presenta la entrada de uva en una bodega durante una campaña típica [67] [68] [100].

Tabla 5.9. Distribución de la entrada de uva en una campaña de un año tipo.

Semana de vendimia	Entrada (%)	kg uva tinta/día	kg uva blanca/día
1ª	30%	X	
2ª	40%	X	
3ª	30%	X	
4ª	30%		X
5ª	40%		X
6ª	30%		X

Teniendo presente la muestra de estudio y contando con la información obtenida a partir de los contactos con diversas bodegas de la zona, se seleccionó el periodo central de campaña, donde coincide la elaboración de uva tinta y blanca, como el periodo de muestreo.

Por otro lado, los tiempos de muestreo se establecieron en función de cada caso analizado [102] [138].

En todos los casos, donde se tomaron mediciones personales se seleccionó un tiempo de muestreo coincidente con el tiempo de exposición. Para exposiciones diarias, este valor fue el total de la jornada y, en el caso de tareas concretas y de manera general, se ciñó a la duración de la misma. Para el caso de mediciones fijas, se valoró el total de la exposición o el 25% de ésta en función de los condicionantes de la exposición. En ambas situaciones, este planteamiento está muy por encima del mínimo de medidas exigidas por la norma UNE-EN 689 [103].

5.2.6 Equipos utilizados para la valoración de los riesgos seleccionados

Para la valoración de los riesgos seleccionados se utilizaron dos equipos de medición directa, los cuales fueron seleccionados en función de las siguientes valoraciones [23] [102]:

- Rango de la medida: conjunto de valores de la variable física que el monitor tiene capacidad de medir.
- Resolución: definida como el menor incremento de la variable bajo medición que puede ser detectado con certidumbre por dicho monitor.
- Tiempo de respuesta: tiempo transcurrido entre la aplicación de una función y el instante en que el instrumento indica un cierto porcentaje del valor final.

El rango de medida de los equipos debe abarcar al menos los valores considerados en los límites de exposición de cada agente evaluado. La resolución del aparato debe permitir cubrir desde 0,1 a 2 veces el Valor Límite del agente muestreado para medidas a largo plazo y de 0,5 a 2 veces el Valor Límite para las de corta duración [106]. El tiempo de respuesta debe cumplir los requisitos establecidos en la norma UNE-EN 689, según la cual el tiempo de estabilización o respuesta necesario debe ser al menos de 10 segundos para equipos de medición directa.

Teniendo en cuenta que se realizaron tanto medidas personales como fijas, y de acuerdo con lo que se especifica en la Guía de Agentes Químicos [90], se llevaron a cabo mediciones personales con un equipo de muestreo portátil y autónomo.

Para ello, se utilizó el modelo IBRID MX 6, que dispone de seis sensores para oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y pentano, colocándose en la zona de respiración del trabajador. Las especificaciones para cada sensor aparecen en la Tabla 5.10 [135].

Tabla 5.10. Especificaciones de los sensores del IBRID MX6.

Sensor Nombre/Abreviatura/Tipo	Propiedades		Tiempo de respuesta (s)
	Medición		
	Rango	Resolución	
Oxígeno/O ₂ /(electroquímico)	0–30% vol	0,10% vol	5-10
Dióxido de carbono/CO ₂ /(infrarrojo)	0–5% vol	0,01% vol	10-25
Monóxido de carbono/CO/(electroquímico)	0 a 1500 ppm	1,00 ppm	8-18
Sulfuro de hidrógeno/S _H ₂ /(electroquímico)	0 a 500 ppm	0,10 ppm	7-20
Dióxido de azufre/SO ₂ /(electroquímico)	0 a 150 ppm	0,10 ppm	5-20
Combustible/LEL/(catalítico)	0–100% LEL	1% LEL	15-35

Asimismo, se comprobó que los sensores estaban correctamente calibrados y, al inicio de cada medición, se practicó la puesta a cero de los sensores para evitar su saturación [102].

Para las mediciones fijas se utilizó el equipo TESTO 350 XL, que permite medir la presencia de oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de azufre. Las principales especificaciones de los sensores se obtienen del Manual de Instrucciones del equipo Testo 350 XL [136], las cuales vienen reflejadas en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Especificaciones de los sensores del TESTO 350XL.

Sensor Nombre/Abreviatura/Tipo	Propiedades		Tiempo de respuesta (s)
	Medición		
	Rango	Resolución	
Oxígeno/O ₂ /(electroquímico)	0–25% vol	0,10% vol	20
Dióxido de carbono/CO ₂ /(infrarrojo)	0–50% vol	0,01% vol	≤10
Monóxido de carbono/CO/(electroquímico)	0 a 10.000 ppm	1,00 ppm	40
Hidrógeno/H ₂ /(electroquímico)	0 a 300 ppm	0,1 ppm	35
Dióxido de azufre/SO ₂ /(electroquímico)	0 a 5.000 ppm	1 ppm	30

5.3 Métodos utilizados

Para la determinación de la concentración a la que están expuestos los trabajadores en su jornada laboral se utilizó un método cuantitativo. Los métodos cuantitativos permiten calcular la concentración media ponderada correspondiente a una jornada de trabajo, midiendo durante la duración total de la jornada laboral o estimándola a partir de mediciones de duración inferior, comparando finalmente el resultado obtenido con los valores límite.

Existen distintos factores que permiten seleccionar un procedimiento de entre todos los métodos cuantitativos disponibles, los cuales fueron citados en el Capítulo 3 de este trabajo. En primer lugar, y siempre que sea posible, debe seleccionarse un método propuesto por un organismo oficial y nacional. En segundo lugar, debe tenerse en cuenta que, para los agentes en estudio, los valores límite establecidos por el organismo en cuestión sean más restrictivos que los existentes en otras organizaciones.

De este modo, se seleccionó el método propuesto por el INSHT y la Guía Técnica que lo desarrolla [90]. Este método cuantitativo está basado en las recomendaciones de la Norma UNE-EN 689:1996 “Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición” [103] [111].

A su vez, es importante considerar también otros métodos validados por entidades de reconocido prestigio en la materia, competentes de otros países, dentro y fuera de Europa, tales como Occupational Safety and Health Administration (OSHA, USA), National Institute Occupational Safety and Health (NIOSH, USA), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, USA), Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Alemania), Health and Safety Commission (HSC, Reino Unido) y National Board of Occupational Safety and Health (NBOSH, Suecia).

En el siguiente epígrafe se detalla de forma general el procedimiento seguido para la aplicación del método seleccionado [102]. Posteriormente, se particularizará su aplicación a las diferentes situaciones a valorar.

5.3.1 Procedimiento de evaluación cuantitativa

5.3.1.1 Introducción

La Figura 5.10 resume de forma esquemática el procedimiento de aplicación general propuesto en este trabajo, siguiendo las recomendaciones de la Norma UNE-EN689 y que se citó en el Capítulo 4.

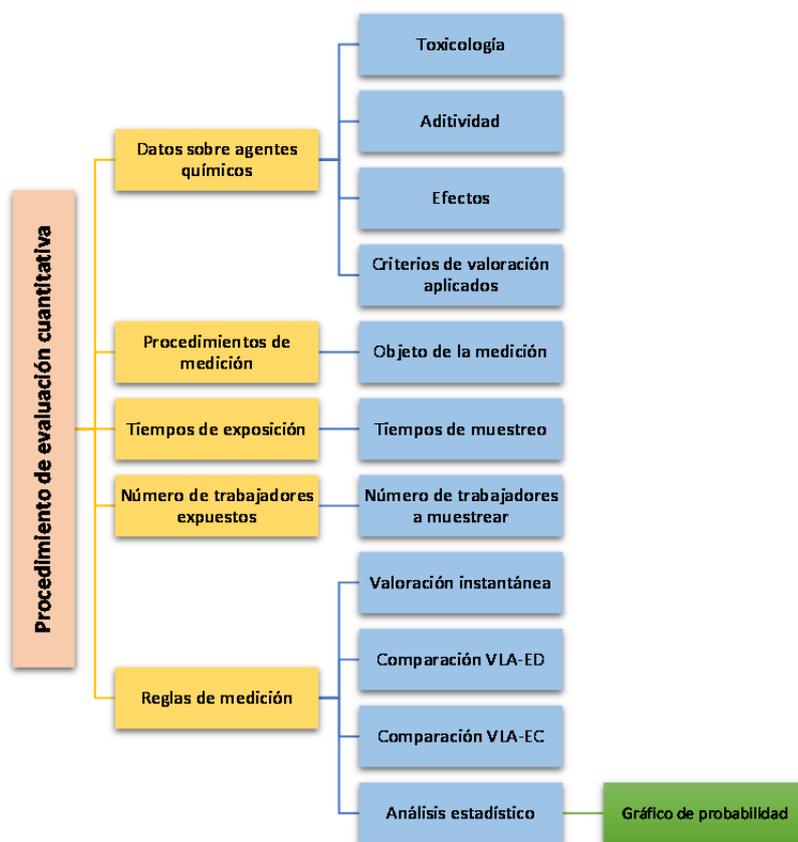


Figura 5.10. Procedimiento de evaluación cuantitativa de exposición agentes químicos por inhalación.

5.3.1.2 Datos sobre los agentes químicos

Una vez identificados los agentes químicos a los que están expuestos los trabajadores indicados en el punto 5.2.1, seguidamente se muestra la información concerniente a cada uno de ellos, necesaria para establecer la estrategia de medición y en la que deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- Toxicología, aditividad con otros contaminantes y tipo de efecto sobre la salud.
- Criterio de valoración aplicado (Valores Límite).

En lo referente a la toxicología, esta información se obtuvo de las fichas de seguridad de cada uno de los agentes evaluados [131] [132] [133] [134], destacando que, en el caso que no se informe explícitamente de ello, los efectos de los contaminantes se consideran aditivos. La información obtenida se recoge en la Tabla 5.12 [137].

Tabla 5.12. Datos de los agentes contaminantes a evaluar.

Agente contaminante	Estado físico	Propiedades físicas	Aditividad	Efectos
Monóxido de carbono	Gas	Extremadamente inflamable	Sí	Largo plazo
Dióxido de carbono	Gas	No inflamable	Sí	Corto y largo plazo
Dióxido de azufre	Gas licuado	Irritante – tóxico - corrosivo	Sí	Inmediatos y largo plazo
Sulfuro de hidrógeno	Gas licuado	Irritante – tóxico - corrosivo	Sí	Inmediatos y largo plazo

En cuanto a los criterios de valoración aplicados, se identificaron los valores límite de cada uno de los contaminantes, los cuales condicionaron también la estrategia de medición a seguir. Los valores límite se obtuvieron del documento de VLA del INSHT publicado en el año 2015 [93]. Asimismo y como referencia, se consideraron los valores establecidos por los organismos de otros países citados anteriormente y recogidos en la Tabla 5.13 [92] [112] [113] [114] [115] [116] [128].

Tabla 5.13. Valores límite de los agentes contaminantes a evaluar.

Organismo	País	Valor de referencia	Contaminantes-ppm			
			CO	CO ₂	SO ₂	SH ₂
INSHT ESPAÑA	VLA	ED8 horas	25	5.000	0,5	5
		EC15 minutos			1	10
	Límites de desviación	3xVLA-ED (30 minutos)	75	15.000		
		5xVLA-ED Nunca	125	25.000		
OSHA USA	PEL	TWA8 horas	50	5.000		
		STEL15 minutos			5	50 (10 min)
		Ceiling15 minutos				20
NIOSH USA	REL	TWA 10 horas	35	5.000	2	
		Ceiling15 minutos	200	30.000	5	10
ACGIH USA	TLV	TWA 8 horas	25	5.000	2	1 (2012)
		STEL15 minutos		30.000	5	5 (2012)
		Ceiling15 minutos				
	Límites de Desviación	3xVLA-ED (30 minutos)	75			
DFG ALEMANIA	Límites de Desviación	5xVLA-ED Nunca	125			
		MAK	MAK 8 horas	30	5.000	1
HSC REINO UNIDO	MEL	Según contaminante (Tabla1.NTP 244 [128])	60	10.000	2	10
		MEL8 horas	30	5.000		5
NBOSH SUECIA	CEL	MEL10 minutos	200	15.000		10
		LLV8 horas	35	5.000	2	10
		STV15 minutos	100	10.000		
		CLV15 minutos			5	15

En este caso, se trabajó con los valores límite de exposición diaria y corta duración del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, por tratarse de un Organismo Oficial y nacional y por presentar, generalmente, los límites más restrictivos en la mayoría de los contaminantes valorados.

En el caso de los contaminantes que no disponen de valores límite de corta duración, se utilizaron para completar la evaluación de los valores de exposición diaria los límites de desviación o valores techo, optándose siempre por los más desfavorables de los presentados por el contaminante.

Con respecto a los valores techo, se tomó el límite de desviación más restrictivo del INSHT para aquellos contaminantes que no disponen del mismo, así como para el resto los propuestos por la DFG, por ser también los más restrictivos. Los valores empleados en cada caso vienen reflejados en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Valores límite utilizados para los agentes contaminantes a evaluar.

Organismo País	Valor de referencia		Contaminantes-ppm			
			CO	CO ₂	SO ₂	SH ₂
INSHT ESPAÑA	VLA	ED8 horas	25	5.000	0,5	5
		EC15 minutos			1	10
	Límites de desviación	3xVLA-ED (30 minutos)	75	15.000		
		5xVLA-ED Nunca	125	25.000		
DFG ALEMANIA	MAK	MAK 8 horas	30	5.000	1	5
	Límites de Desviación	Según contaminante (Tabla1.NTP 244 [128])	60	10.000	2	10

Con respecto al oxígeno, el rango de valores correctos establecidos por las distintas organizaciones consultadas vienen recogidos en la Tabla 5.15 [92] [93] [112] [113].

Tabla 5.15. Valores límite del oxígeno.

Organismo	Valor mínimo O ₂ (%V)	Valor máximo O ₂ (%V)
INSHT	19,5	23,5
OSHA	19,5	23,5
NIOSH	19,5	23,5
ACGIH	18,0	23,5

Por los mismos motivos, se utilizaron para el O₂ los valores establecidos por el INSHT.

5.3.1.3 Identificación de factores de exposición y procedimiento de medición

De los procedimientos de medición establecidos en la norma UNE-EN-689, se seleccionó el procedimiento de medición en base al tipo de exposición, objeto y tipo de medición a realizar en cada situación [106].

Concretamente, se trabajó con dos tipos de mediciones, personales y fijas, seleccionando la más adecuada en función de la situación a valorar. El procedimiento en cada caso fue el siguiente:

1. Análisis general de la situación mediante la valoración de la exposición instantánea en la jornada de trabajo (mediciones para la evaluación aproximada de la variación de concentración en el tiempo y/o en el espacio): mediciones personales.
 - a. Identificación de tareas más características del proceso de elaboración.
 - b. Identificación de emplazamientos o periodos de elevada exposición.
 - c. Localización de las fuentes de emisión.
2. Análisis de la jornada completa de trabajo en el periodo central de campaña y comparación con los valores límite de exposición diaria (mediciones para comparar con los valores límite): mediciones personales.
3. Análisis de las tareas más características en el proceso de elaboración de los distintos tipos de vino (mediciones para comparar con los valores límite): mediciones personales y fijas.
4. Análisis de la eficacia de la ventilación previa a la limpieza de depósitos: mediciones fijas.
5. Análisis de tareas auxiliares (mediciones próximas a una fuente de emisión): mediciones fijas.
6. Puesta a punto y reparaciones de equipos (mediciones en el caso más desfavorable): mediciones personales.

5.3.1.4 Selección de la estrategia de medición

En función de las condiciones a valorar, fue necesario diseñar una estrategia de muestreo que se adaptase a cada situación. Para ello, se consideró el tiempo de exposición, que determina el tiempo de muestreo, y el número de trabajadores expuestos, que define el número de trabajadores a muestrear además de los valores límite de los que dispone cada contaminante a evaluar.

5.3.2 Análisis general de la situación mediante la valoración de la exposición instantánea en la jornada de trabajo

Gases muestreados

Inicialmente, se planteó la medición de todos los gases recogidos en la tabla Tabla 5.12. La presencia puntual de elevadas concentraciones de CO saturó la célula de medición, lo que impidió que el equipo empleado midiese la presencia de este gas. En cambio, sí se contó con medidas para CO₂, SO₂, y SH₂, además de O₂.

Muestra de estudio

Los trabajadores de las diversas bodegas analizadas constituyen grupos homogéneos de exposición, por lo que no es necesario el muestreo de todos los trabajadores. En este caso, se valoró la exposición de dos trabajadores por bodega (salvo en la tipología D, en la que sólo hay un trabajador, y para la que se consideraron dos jornadas del mismo trabajador). Por tanto, la muestra se compuso de 9 trabajadores valorados durante 10 jornadas distintas.

Periodo de muestreo-Tiempo de exposición-Tiempo de muestreo

Teniendo en cuenta que se pretende valorar las condiciones de mayor criticidad de la exposición a contaminantes de estos trabajadores, se seleccionó como periodo de muestreo el compuesto por las semanas centrales de la campaña. En este caso, el tiempo de exposición fue toda la jornada laboral, y considerando que se pretende valorar de forma instantánea toda esta exposición, el tiempo de muestreo coincidió con la jornada laboral.

Tipo de medida y equipo de medida

Se realizaron mediciones personales mediante el equipo Ibrid MX6. Se llevó a cabo un seguimiento continuo del trabajador durante todo el periodo y se tomó información relativa a las actividades realizadas por el mismo.

Según los requisitos marcados para estos equipos en la norma UNE-EN-689 - Anexo A, debe considerarse una duración mínima de la medida igual al tiempo de estabilización de la misma en el equipo correspondiente [103] [111].

Intervalo de muestreo y número de mediciones

Se tomaron registros cada 10 segundos, tiempo suficiente para la estabilización de la medida, lo que permitió evaluar de forma muy precisa la presencia del contaminante durante todo el periodo evaluado [103].

Valoración de la exposición instantánea

A lo largo de cada jornada evaluada se comprobó si se sobrepasaban los valores límite establecidos para los gases analizados. En cada caso, se representaron los límites de exposición diaria, límites de corta duración y valores techo o límites de desviación reflejados en la Tabla 5.14. Seguidamente, se compararon las concentraciones instantáneas con los valores límite teniendo en cuenta las consideraciones realizadas en el apartado 5.3.1.2.

El análisis anterior permitió obtener información relativa a los siguientes puntos:

- Información relativa a las diferentes tareas del proceso de elaboración.
- Identificación de emplazamientos o periodos de elevada exposición.
- Localización de las fuentes de emisión.

Partiendo de estos datos, se determinaron los análisis a efectuar en relación con las tareas específicas y las zonas de elevada exposición.

5.3.3 Análisis de jornadas completas de trabajo y comparación con los valores límite de exposición

Gases muestreados

Los gases muestreados fueron CO₂, SO₂, SH₂ y O₂.

Muestra de estudio

Para la valoración de las jornadas completas de trabajo, se consideraron un total de 10 jornadas (dos jornadas por bodega en estudio). Esto supone un total de muestras superior a 7, límite mínimo para realizar el gráfico de probabilidad de superar el valor límite de exposición diaria.

Periodo de muestreo - Tiempo de exposición - Tiempo de muestreo

La valoración de la jornada de trabajo, independientemente de la duración de la misma (semanas centrales de campaña), se llevó a cabo muestreando el periodo de exposición en su totalidad, que en este caso coincidió con la jornada laboral completa.

Tipo de medida y equipo de medida

Se realizaron mediciones personales mediante el equipo Ibrid MX6. Por tratarse de un sistema de medición directa, se tomaron registros cada 10 segundos, tiempo de estabilización de la medida para dicho equipo.

Intervalo de muestreo y número de mediciones

Las medidas tomadas cada 10 segundos cumplen los requisitos marcados en la norma UNE-EN-689 [103]. Asimismo, se incluyeron más de 30 muestras para cada jornada evaluada, cubriendo el total del tiempo de exposición y por encima del mínimo especificado por la Norma. De este modo, se tomó una medida por cada trabajador, siguiendo los criterios especificados anteriormente.

Estrategia de medición a aplicar

En primer lugar, se valoraron las muestras de forma individual, siguiendo el procedimiento propuesto por la Norma UNE-EN 689.

Para cada caso analizado, se completó la valoración de la exposición con la comparación con el valor límite de corta duración para aquellos contaminantes que disponen de él y, en caso contrario, con los límites de desviación establecidos. Posteriormente, se desarrolló la valoración basándose en los métodos diseñados para cuando se dispone de más de una jornada de trabajo.

En los siguientes puntos se recoge la metodología seguida en todos los casos, referenciada a las expresiones del capítulo teórico anterior.

Análisis de cada jornada con valores de exposición diaria:

Para este análisis, se seleccionó la estrategia de jornada completa tipo B. En ella, se tomaron muestras consecutivas que cubren la totalidad del periodo de exposición, coincidente con la jornada laboral completa.

La exposición diaria a la que está sometida el trabajador se determinó utilizando la expresión (5.2), calculándose la exposición a cada gas de forma separada y comparándose el valor obtenido con los límites de exposición diaria de cada contaminante.

$$ED = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N}{N} \times \frac{T}{8} \quad (5.2)$$

Seguidamente y para valorar la dispersión de los resultados obtenidos en cada una de las jornadas y gases evaluados, se determinó el intervalo de confianza según el cálculo de la concentración diaria de una estrategia tipo B, considerando que se trata de una exposición no uniforme con tiempos de muestreo iguales tomados con un equipo de medición directa ($C_{tv}=0,05$), empleándose para ello las expresiones (5.3) y (5.4).

$$I_{\text{máx}} = I + \frac{1,645 \times CVt \times \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + \dots + C_n^2}}{VLA - ED \times N \times \sqrt{1 + CV^2t}} \quad (5.3)$$

$$I_{\text{mín}} = I - \frac{1,645 \times CVt \times \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + \dots + C_n^2}}{VLA - ED \times N \times \sqrt{1 + CV^2t}} \quad (5.4)$$

Una vez realizado el análisis individual por contaminante, se consideraron los efectos aditivos para valorar la exposición del efecto combinado de los mismos, según la expresión (5.5).

$$\sum \frac{ED_i}{VLA - ED_i} \quad (5.5)$$

Finalmente, se completó la valoración de la jornada completa en los 10 días seleccionados comprobando la exposición a corta duración para aquellos contaminantes que disponían de este parámetro y la comprobación de los límites de desviación para los que no.

Análisis de una jornada con valores de corta duración:

En este caso, para los gases que disponen de valor límite de corta duración y como se dispuso de la medición de toda la jornada de forma instantánea, se identificaron de forma directa los periodos de máxima exposición.

A partir de ahí, se contabilizó el periodo de máxima exposición para 15 minutos cubriendo la mayor parte de los instantes de máxima exposición.

Para el cálculo de las concentraciones dentro de cada periodo de 15 minutos se empleó la fórmula (5.6).

$$EC = \frac{\sum c_i x t_i}{15} \quad (5.6)$$

Una vez calculada la concentración de corta duración para aquellos gases que disponen del VLA-EC, se comprobó que éste no se sobrepasara en ningún momento por ninguna EC a lo largo de cada una de las jornadas evaluadas.

Para los gases que no disponen de valor límite de corta duración, se controlaron las desviaciones por encima del VLA-ED mediante los límites de desviación establecidos por el INSHT. En este caso, se procedió igual que para la comparación con los valores límite de corta duración pero considerando un periodo de máxima exposición de 30 minutos.

Una vez realizado el análisis individual por contaminante, y del mismo modo que en la valoración de la exposición diaria, se tuvieron en cuenta los efectos aditivos para valorar la exposición del efecto combinado de los mismos.

Análisis de varias jornadas con valores diarios:

Esta estrategia permite considerar que la variabilidad de los resultados de las ED se distribuye según una ley logarítmico-normal con $GSD \leq 2$, así como para decidir, con un número reducido de muestras, si la exposición es aceptable o inaceptable, aunque en ocasiones quede abierta la posibilidad de no alcanzar ninguna de estas dos conclusiones.

El procedimiento a seguir fue el siguiente, según el Anexo C de la norma UNE-EN 689 [103].

1. Obtener una concentración ponderada durante toda la jornada referida a un periodo de 8 horas (ED).

2. Obtener el índice de exposición de la jornada para cada una de las jornadas evaluadas.
3. Decidir según el resultado y proponer medidas correctoras en su caso.

Análisis estadístico de los datos:

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos durante la evaluación de la exposición en las distintas jornadas analizadas se utilizó el gráfico de probabilidad. Para su aplicación, se siguió el protocolo de actuación establecido por la norma para la ejecución del método analítico. Partiendo del punto 3 del análisis de los valores diarios, el procedimiento fue el siguiente:

1. Calcular a partir de los valores de ED o de los índices de exposición disponibles los valores de los logaritmos (neperianos o decimales) de MG y GSD mediante las expresiones (5.7) y (5.8), siendo $\text{Ln}i$ los logaritmos naturales de los valores de ED y n el número de datos.

$$\text{LnMG} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}i}{n} \quad (5.7)$$

$$\text{LnGSD} = \sqrt{\frac{\sum[\text{LnMG} - \text{Ln}i]^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum[\text{Ln}i]^2 - n \times (\text{LnMG})^2}{n - 1}} \quad (5.8)$$

2. A partir de los valores anteriores, se calculó el estadístico z utilizando la expresión (5.9):

$$z = \frac{\text{LnVLA} - \text{ED} - \text{LnMG}}{\text{LnGSD}} \quad (5.9)$$

Al trabajar con los índices el valor de $\text{LnVLA} - \text{ED}$ en esta ecuación será nulo, ya que corresponderá al índice unidad.

3. Obtener el valor de P en la tabla de “Distribución normal estándar” [90] para z .

El método gráfico comprende los siguientes pasos:

1. Se ordenan los datos de exposición en orden creciente.
2. Se cuenta el número de datos y, a partir de las tablas G.1 y G.2 “Posiciones en el gráfico para el papel de probabilidad normal” (UNE-EN-689), se obtienen las posiciones adecuadas en el gráfico.
3. Se selecciona un papel para gráficos de probabilidad logarítmica que tenga un eje Y que cubra el intervalo de resultados de la exposición.
4. Se representan cada valor de exposición en el papel de probabilidad logarítmica.
5. Se ajusta una línea recta a los datos, despreciando los puntos fuera de los límites de probabilidad 1% y 99% (si los hubiera). Para los demás datos, se da preferencia a aquellos más

cercanos a la posición del 50%, es decir, en la zona del 20% al 80%.

6. Si los datos no se ajustan a una línea recta es posible que la distribución real no sea logarítmico-normal o que incluya datos que pertenecen a otra población.
7. El valor de la media geométrica (MG) es el valor correspondiente a la probabilidad del 50% y puede leerse directamente a partir de la intersección de la recta ajustada con la línea correspondiente a la probabilidad del 50%.
8. La desviación estándar geométrica (*DSG*) es la pendiente de la recta y una medida de la variabilidad o dispersión de los datos, que viene dada por la expresión (5.10):

$$DSG = \frac{\text{valor del 84\%}}{\text{valor del 50\%}} \quad (5.10)$$

5.3.4 Análisis de tareas

Mediante el análisis del sector, encuestas y entrevistas personales quedaron identificados los puestos de trabajo existentes, las tareas más características de cada uno de ellos y los periodos de máxima exposición [102] [126]. Además, la observación de la medición instantánea permitió conocer, dentro de los criterios anteriores, las tareas, emplazamientos o fuentes de emisión conflictivos donde se alcanzan niveles de concentración de contaminantes que es necesario valorar.

En el proceso de elaboración del vino, las tareas más características son las que están relacionadas con la fermentación. Estas tareas están asociadas a los diversos depósitos presentes en la bodega y, por supuesto, a los procesos de elaboración de los diversos caldos.

Además de las tareas más características de los procesos, se evaluaron aquellas tareas auxiliares comunes o específicas desarrolladas en emplazamientos o focos de emisión con posibilidades de alta generación de contaminantes.

5.3.4.1 Tareas más características en los procesos de elaboración de los vinos

Las tareas más características analizadas para cada proceso de elaboración se describen a continuación.

Elaboración de vino tinto

El procedimiento de fermentación de vino tinto lleva asociadas una serie de tareas por parte del trabajador. Es necesario que durante la fermentación se controle la evolución del proceso, y una vez finalizada, el producto elaborado se trasiega. Posteriormente, los depósitos empleados deben limpiarse para sus siguientes usos, lo que supone además la realización de una serie de tareas previas a esta limpieza.

En los siguientes puntos se recogen, de forma esquemática, el conjunto total de tareas realizadas en función del tipo de depósito, factor que, como se ha indicado, condicionará la realización de las mismas.

- Depósitos de maceración.
 - o Fondo Plano.
 - Descube.
 - Tareas previas a la limpieza: apertura de puerta boca-hombre y calado de madres.
 - Limpieza: retirada de madres y enjuague.
- Ganimede.
 - Descube
 - Tareas previas a la limpieza: apertura de puerta boca-hombre y calado de madres.
 - Limpieza: retirada de madres y enjuague.
- Depósitos autovaciantes.
 - Descube y limpieza: control de autodescubido, apertura de puerta boca-hombre, autolimpieza y enjuague.
- Depósitos subterráneos.
 - Descube: con balsa intermedia y limpieza desde exterior.
 - Limpieza: desde exterior y desde interior final de campaña.

Elaboración de vino blanco

El procedimiento de fermentación del vino blanco también lleva asociadas una serie de tareas por parte del trabajador. Antes del comienzo de la fermentación se realizan únicamente tareas de desfangado. Para ello, se utilizan depósitos de fondo plano o depósitos subterráneos (la fermentación en sí se produce en el exterior en los depósitos llamados de almacenamiento). Al igual que en el caso del vino tinto y una vez terminada la fermentación, el depósito se descuba y se limpia para usos posteriores, con la consiguiente realización de una serie de tareas previas.

- Depósitos de fermentación-almacenamiento.
 - Descube: control de descube.
 - Tareas previas a la limpieza: apertura de puerta boca-hombre.
 - Limpieza: limpieza y enjuague.
- Depósitos subterráneos.
 - Descube: control descube.

- Limpieza: limpieza y enjuague.

Elaboración de mosto

En el proceso de elaboración del mosto se pretende que no dé comienzo la fermentación para que el producto elaborado sea mosto en lugar de vino. Este proceso lleva asociada una tarea característica por parte del trabajador, esto es, el control de la incorporación de cantidades importantes de SO₂, que evita la fermentación del caldo.

Una vez se ha conseguido paralizar el inicio de la fermentación, el depósito se descuba y se limpia para usos posteriores. Por tanto, y teniendo presente que el caldo no está fermentando, la tarea más característica del proceso —incorporación de SO₂—es la que origina un riesgo de exposición elevada a este contaminante.

- Depósitos subterráneos.
 - Control del proceso: incorporación de SO₂ y control de nivel del depósito.

Tareas auxiliares en proximidades a la boca superior del depósito

En los diferentes procesos de elaboración se llevan a cabo una serie de tareas auxiliares en las proximidades de las bocas superiores de los depósitos en plena fermentación.

Algunas de ellas son características de procesos de elaboración concretos, como el control de ciclos de remontado en el proceso de elaboración del vino tinto; otras son comunes a todos los procesos, como el caso de controles de nivel o controles de llenado de los depósitos.

A excepción de la incorporación de SO₂, citada en el apartado anterior como tarea característica del proceso, en los siguientes puntos se identifican las tareas auxiliares más comunes en función de cada proceso de elaboración:

- Elaboración vino tinto.
 - o Fondo Plano.
 - Control del proceso de fermentación: de nivel del depósito, incorporación de SO₂ y de ciclo de remontado.
 - o Depósitos autovaciantes.
 - Control del proceso de fermentación: de nivel del depósito, incorporación de SO₂ y de ciclo de remontado.
 - o Depósitos subterráneos.
 - Control del proceso de fermentación: de nivel del depósito e incorporación de SO₂.

- Elaboración vino blanco.
 - o Depósitos de fermentación-almacenamiento.
 - Control del proceso de fermentación: de nivel del depósito e incorporación de SO₂.

Tareas de puesta a punto y reparaciones de equipos

Durante las jornadas de campaña, cuando las instalaciones están al 100% de su capacidad de producción, la probabilidad de que se produzcan averías o incidentes aumenta considerablemente, condicionándose el correcto desarrollo del proceso productivo.

Para evitar estas situaciones en la medida de lo posible, al inicio de cada jornada se realizan tareas de puesta a punto de la maquinaria y equipos de trabajo.

Pese a ello, las averías inevitables tienen que resolverse sobre la marcha y no siempre en las circunstancias más apropiadas para la seguridad y salud de los trabajadores.

5.3.4.2 Metodología

Gases muestreados

Los gases muestreados fueron CO₂, SO₂, SH₂ y O₂.

Muestra de estudio

La muestra estuvo constituida por los 13 trabajadores de la plantilla de las bodegas analizadas. En cada caso y teniendo en cuenta que todos los trabajadores pueden en determinados momentos realizar todas las tareas en las diversas plantas, fueron seleccionados para ajustarse a las condiciones específicas analizadas.

Periodo de muestreo-Tiempo de exposición-Tiempo de muestreo

Se valoraron las principales tareas dentro del periodo central de campaña.

Tanto para las tareas características como para las tareas auxiliares o de puesta a punto y reparación, la valoración se llevó a cabo muestreando el periodo de exposición en su totalidad.

Tipo de medida y equipo de medida

Las mediciones personales se realizaron mediante el Ibrid MX6 y las fijas mediante el TESTO 350XL.

Intervalo de muestreo y número de mediciones

Se tomaron registros cada 10 segundos, tiempo suficiente para la estabilización de la medida. A su vez, se tomó una muestra por cada una de las tareas evaluadas y condición de realización considerada.

Estrategia de medición a aplicar

Para el análisis individual de las tareas seleccionadas, se diseñó la estrategia a aplicar en función de la duración de la misma y de los valores límite de los gases.

Se analizó cada situación mediante la comparación directa de la concentración resultante en cada una de las tareas evaluadas y, posteriormente, se comprobó el efecto ponderado en el tiempo que tiene dicha concentración, lo que se valoró como “dosis” recibida por el trabajador [118].

Para la determinación del efecto ponderado en el tiempo de la concentración, se calculó la dosis de contaminante recibida por el trabajador durante la ejecución de la tarea considerando la concentración recibida y duración de ésta. Posteriormente, se comprobó que la dosis recibida se encontrara dentro de los rangos máximos permitidos. En caso contrario, estos valores permitirán establecer la programación de tareas diaria para no superar de los límites de exposición.

La concentración recibida durante la realización de la tarea se determinó utilizando la expresión (5.2). A su vez, se determinó la dosis recibida en cada caso, multiplicando la concentración por el tiempo de duración de la tarea. Finalmente, se comparó con la “dosis máxima permitida”, considerando ésta como la mayor dosis que puede recibir un trabajador durante una jornada completa de trabajo.

5.3.5 Diseño de medidas correctoras

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis anteriores, se diseñaron las correspondientes medidas correctoras. Así, siempre que fue posible, se recurrió a la eliminación del foco de emisión. Si el proceso productivo no permitía implementar medidas en este sentido, se optó por medidas organizativas como turnos, tiempos de trabajo, descanso, etc.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Introducción

En los siguientes puntos se presentan los resultados correspondientes a la valoración de la exposición a gases en el proceso de elaboración de vino.

Así, se muestran los datos relativos a las concentraciones de O₂, CO₂ y SH₂ para las distintas bodegas analizadas. Las concentraciones de SO₂ solo se presentan en aquellos casos en los que se obtiene una medición distinta de cero. No se incluyen mediciones de CO debido a los problemas de saturación que presentaron los sensores específicos de los dos medidores utilizados.

6.2 Análisis general de la situación mediante la valoración de la exposición instantánea en distintas jornadas de trabajo

Para cada una de las tipologías seleccionadas, se llevó a cabo un análisis bajo condiciones de normal funcionamiento de las bodegas, especificándose en cada caso las tareas más habituales que se realizan en los días centrales de campaña y las condiciones de ventilación que se dieron durante el proceso de medición.

Así, en los siguientes gráficos se presenta la evolución de las concentraciones instantáneas de los gases analizados a lo largo de la jornada laboral, representándose los resultados correspondientes a las cinco tipologías de bodegas muestreadas —dos jornadas por bodega— durante el periodo de estudio —periodo central de campaña— e incluyendo una descripción de las condiciones generales que caracterizaron la jornada. En el caso del SO₂, solo se muestra la evolución de la presencia de este gas para la tipología B, única en la que se recogió una medida puntual distinta de cero.

Como referencia, y aunque se trate de valores límite para exposiciones marcadas por una determinada duración, en los diferentes gráficos vienen reflejados los límites establecidos para cada uno de los contaminantes en base a la normativa española y otras recomendaciones internacionales, según lo descrito en el capítulo de Materiales y Métodos. Los comentarios de los resultados de la valoración de la exposición instantánea se muestran al final de apartado, con objeto de extender las conclusiones no solo entre las diferentes jornadas sino también entre las distintas tipologías de bodegas analizadas.

6.2.1 Tipología A

En la bodega de tipología A, y de forma habitual durante una jornada laboral, se realizan diferentes tareas en función del proceso de elaboración, manteniéndose en todo momento las puertas abiertas para proporcionar ventilación natural al espacio. Durante el proceso de elaboración se llevan a cabo tareas tales como control de ciclos de remontado o niveles de depósitos. Asimismo, durante una misma jornada coinciden tareas de descube y limpieza de varios depósitos. El ritmo de proceso no es elevado por tratarse de una bodega experimental. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 6.1.

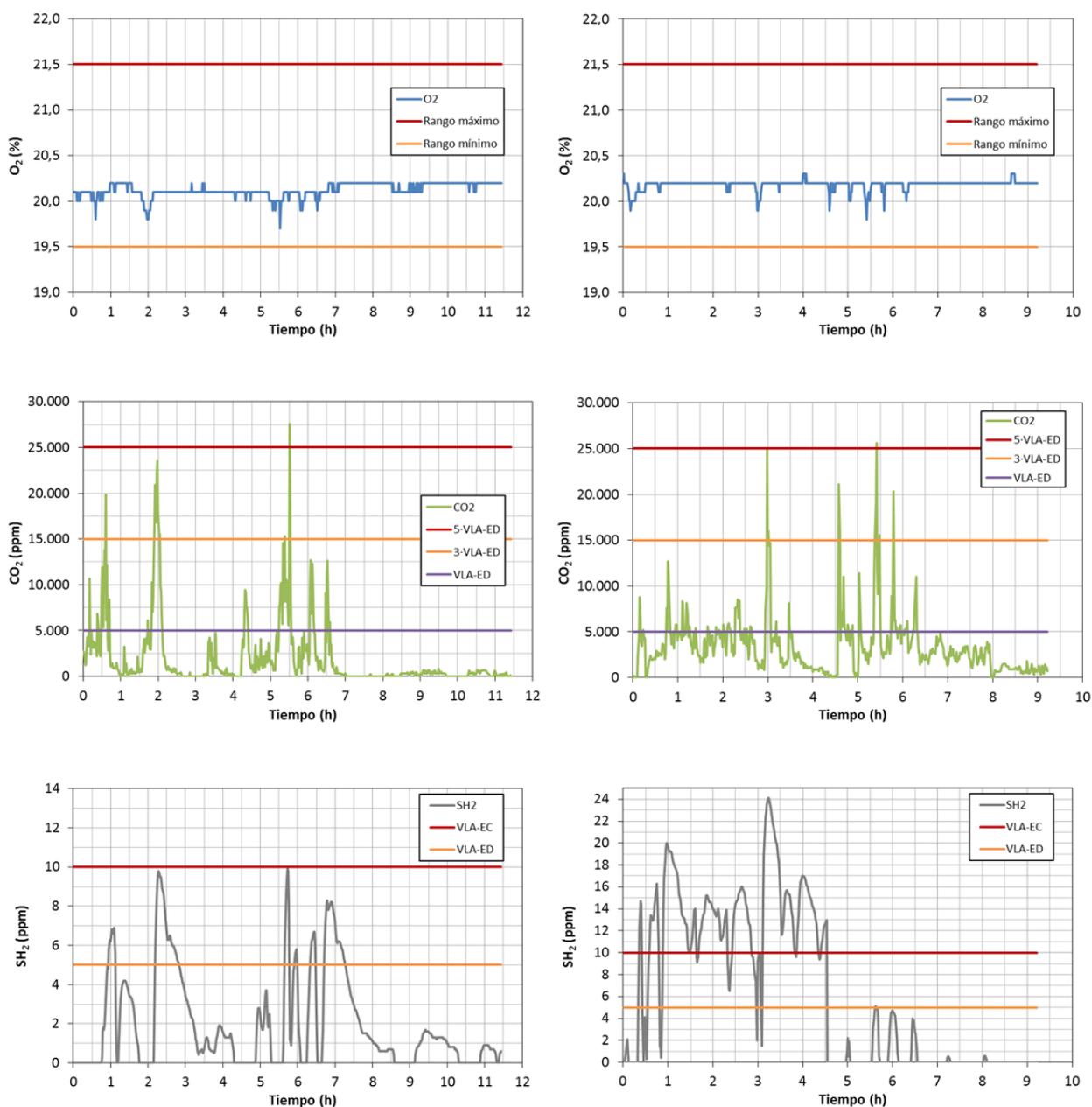


Figura 6.1. Niveles de O₂, CO₂ y SH₂ en la jornada completa 1 (izq.) y 6 (dcha.) de la Tipología A.

Los resultados obtenidos en relación a la evolución de las concentraciones de O₂, CO₂ y SH₂ se presentan en la Figura 6.1.

No se detectó presencia a SO₂. Los niveles de oxígeno se mantuvieron dentro del rango correcto (19,5 a 21,5% en volumen), en ambas jornadas. Los mayores registros de CO₂ se alcanzaron en un par de ocasiones (una en cada jornada) con lecturas por encima del valor techo (25.000 ppm), no llegando en ningún caso a valores mucho más elevados. Como se muestra en los gráficos, se alcanzó en varias ocasiones el límite de desviación (15.000 ppm).

Los valores de SH₂ se mantuvieron en la jornada 1 por debajo del valor techo, mientras que en la jornada 6 durante un período importante de tiempo se registraron valores muy por encima del techo. En estas condiciones de trabajo, resultó necesaria la evaluación concreta de las tareas que se realizaron ese día y que se detallan en posteriores apartados de este trabajo.

6.2.2 Tipología B

En esta tipología de bodega se llevan a cabo tareas generales en la nave de producción de tinto, bajo condiciones de ventilación natural —las puertas permanecen abiertas durante toda la jornada de trabajo y pequeñas aberturas en los portones durante la noche— y donde existen los siguientes elementos: 4 autovaciantes de capacidad 50.000 kg fermentando a la vez, un antiguo depósito Ganimede cuyo mecanismo produce descargas de CO₂ de forma habitual —ya que este depósito no es estanco— y depósitos subterráneos utilizados para el desfogado del caldo blanco donde se incorpora el SO₂ del proceso. Asimismo, también se produce la incorporación de este gas en las tareas de control del proceso de fermentación de blanco realizado en los depósitos exteriores de almacenamiento.

Al igual que en el caso anterior, durante el proceso de elaboración se realizan tareas tales como control de ciclos de remontado o de niveles de depósitos. A su vez, durante una misma jornada coinciden tareas de descube y limpieza de varios depósitos que están destinados a la elaboración de distintos tipos de vino.

Los resultados obtenidos en relación a la evolución de las concentraciones de O₂, CO₂, SH₂ y SO₂ se presentan en la Figura 6.2 y Figura 6.3.

Los niveles de oxígeno se mantuvieron dentro del rango correcto (19,5 a 21,5% en volumen), si bien durante la jornada 7 se alcanzaron valores próximos al 18,5% e inferiores por tanto al valor mínimo seguro. En ese mismo instante se alcanzaron los mayores registros de CO₂ de la jornada (50.000 ppm máximo admisible del equipo). Asimismo, los valores de CO₂ obtenidos en las dos jornadas evaluadas evidenciaron numerosas lecturas por encima del valor techo (25.000 ppm) y del valor límite de desviación (15.000 ppm). Los valores de SH₂ se mantuvieron durante ambas jornadas por debajo del valor techo, el valor límite de exposición diaria y el valor límite de corta duración.

Con respecto al SO_2 , se identificó un único pico de exposición que superó con creces el valor techo (2 ppm), alcanzándose valores de más de 80 ppm en un tiempo muy reducido de exposición. Esta situación fue originada como consecuencia de un fallo técnico cuando se procedía a la conexión de botellas de SO_2 al interior de un depósito de almacenamiento-fermentación de vino blanco.

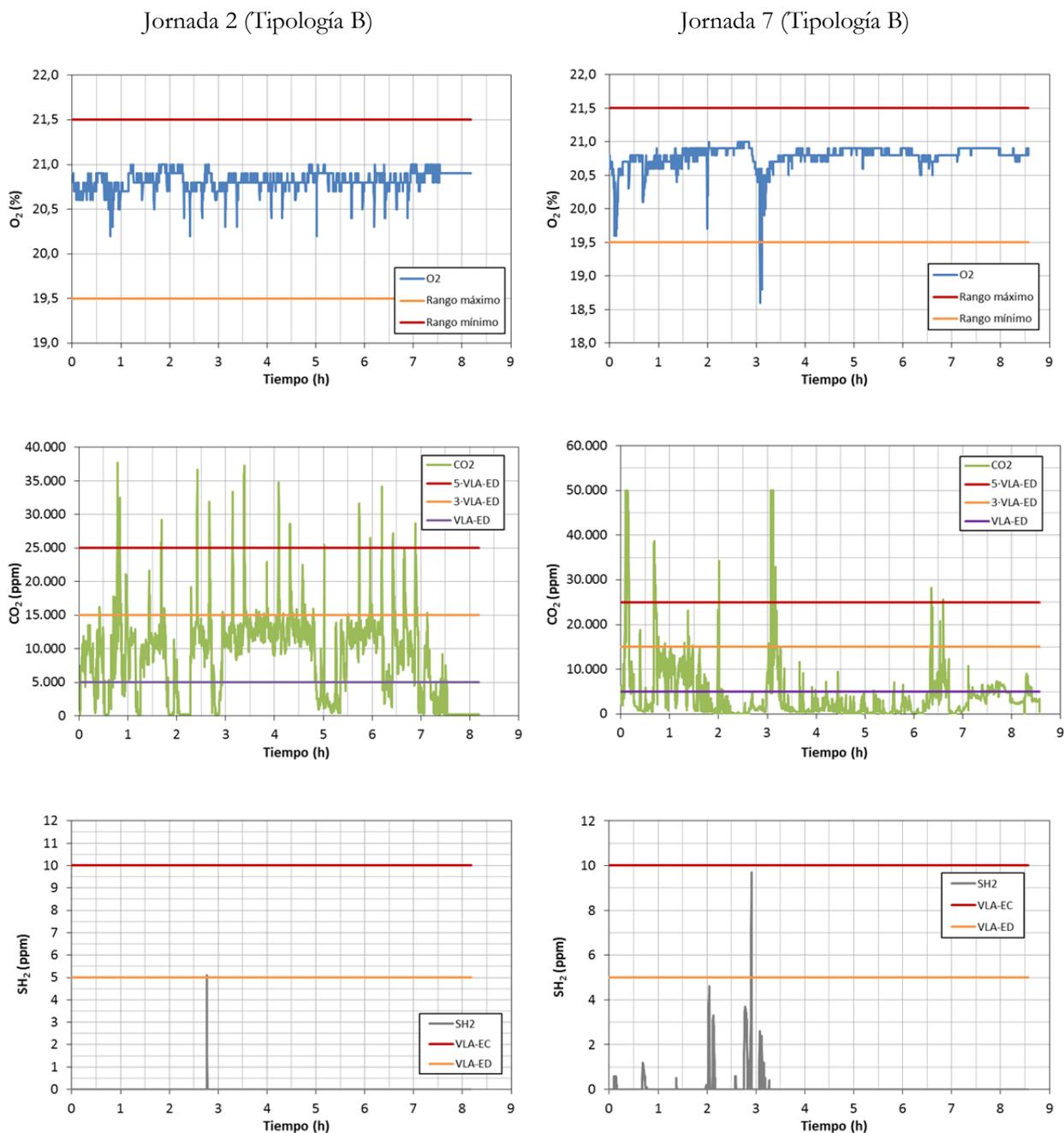


Figura 6.2. Niveles de O₂, CO₂ y SH₂ en una jornada completa de la Tipología B.

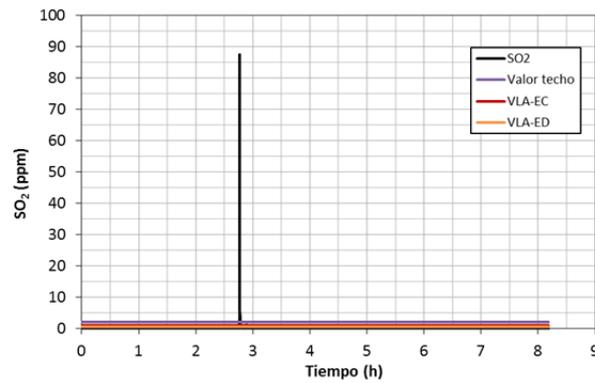


Figura 6.3. Niveles de SO_2 de la jornada completa 2 de la Tipología B.

6.2.3 Tipología C

En la bodega de tipología C, las tareas básicas siempre son de control del proceso de fermentación, descube y limpieza de autovaciantes, ya que éstos son los depósitos empleados para la elaboración de tinto. Otros depósitos instalados en la nave de producción son los de desfangado para la elaboración de blanco. No obstante, éstos no contribuyen a la generación de algunos de los contaminantes en la nave al no llevarse a cabo en ellos el proceso de fermentación del vino blanco. El resto de depósitos se encuentra ubicado en el exterior de la nave de producción.

Durante las jornadas de trabajo, las puertas de la instalación permanecieron abiertas, dejándose durante el periodo nocturno pequeñas rendijas en los portones principales para facilitar la ventilación.

En un día central de campaña pueden concentrarse como máximo el descube y limpieza de 6 autovaciantes de 50.000 kg cada uno, en fases de fermentación diferentes.

Los resultados obtenidos en relación a la evolución de las concentraciones de O_2 , CO_2 , y SH_2 se presentan en la Figura 6.4.

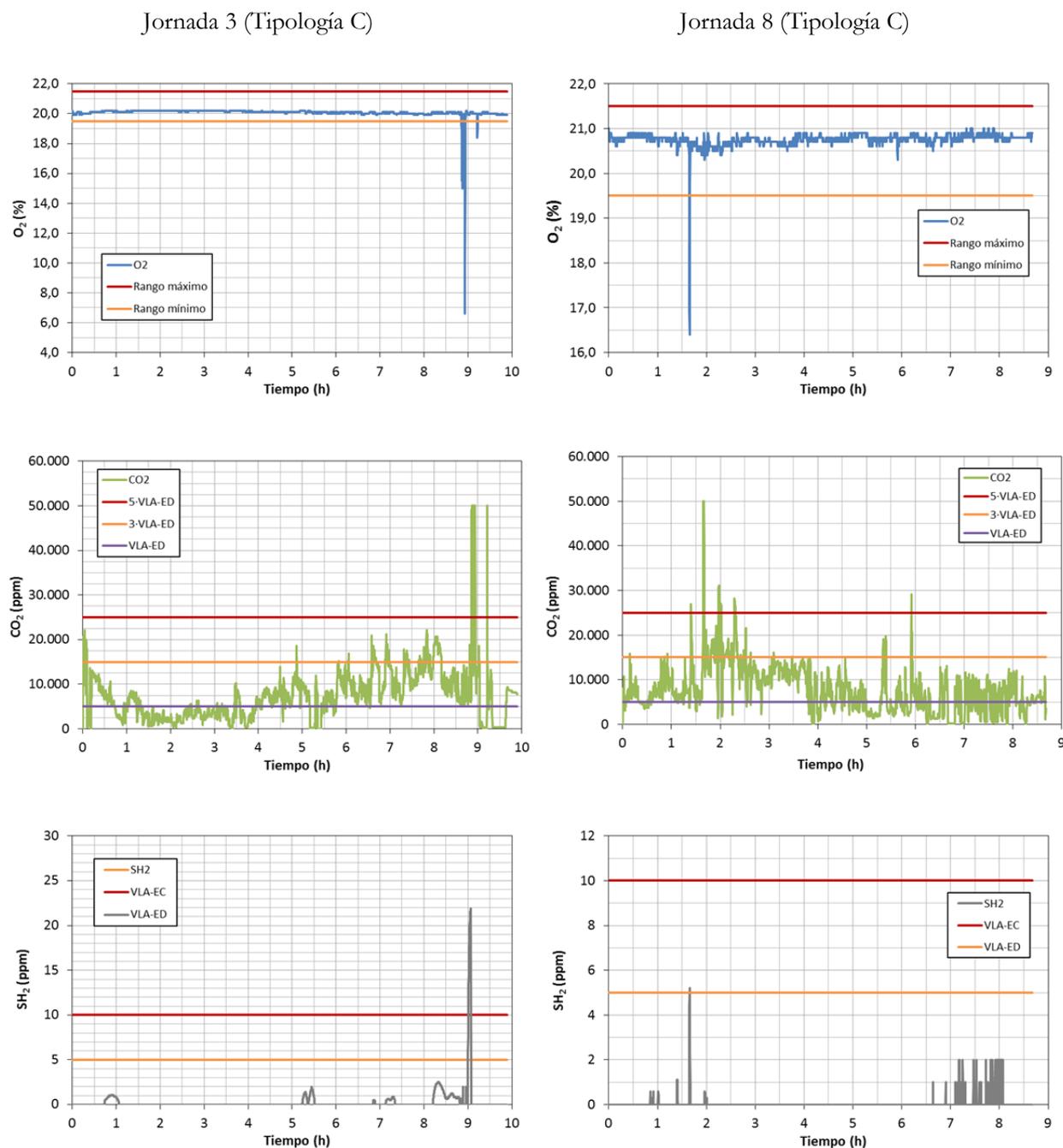


Figura 6.4. Niveles de O₂, CO₂ y SH₂ en una jornada completa de la Tipología C.

En cuanto a las concentraciones de O₂, se identificaron exposiciones muy por debajo del rango seguro (19,5%). Estos instantes coincidieron con la aproximación del trabajador a determinadas zonas de los autovaciantes (tubos de remontado, bocas de depósitos, etc.) por las que pueden producirse fugas del CO₂ del interior del depósito, con el consecuente desplazamiento del O₂. Concretamente, se alcanzaron niveles del 6% y del 16% de volumen de O₂ para cada una de las mediciones efectuadas (jornadas 3 y 8, respectivamente). Dichos picos se correspondieron con valores de CO₂ próximos a 50.000 ppm (rango máximo del equipo de medición). Asimismo, se detectó un valor pico de SH₂ durante la jornada 3, que superó el valor techo de 10 ppm. Durante el resto de la jornada, al igual que en la totalidad de la jornada 8,

los valores permanecieron en un rango adecuado e inferior al valor límite de exposición diaria del contaminante.

6.2.4 Tipología D

En la bodega correspondiente a la tipología D —una bodega familiar—, el ritmo del proceso productivo es inferior al del resto, con la excepción de la bodega experimental. Las tareas, sin embargo, son las mismas que se realizan en cualquier otra instalación, esto es, tareas de control, descube y limpieza. Por tratarse de un recinto privado, la ventilación natural de la instalación es la misma durante el día y la noche, manteniéndose las puertas abiertas permanentemente. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 6.5 y Figura 6.6.

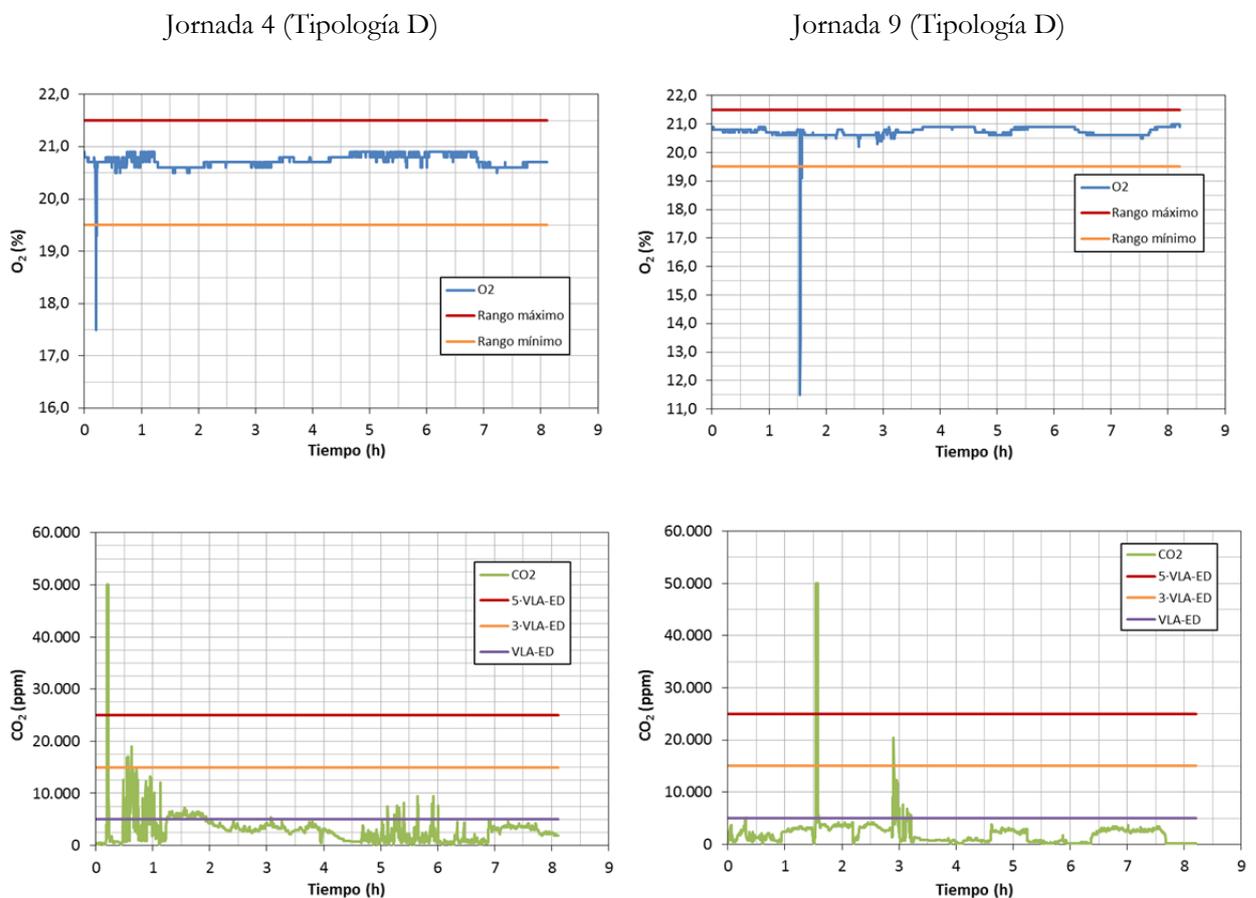


Figura 6.5. Niveles de O₂ y CO₂ en una jornada completa de la Tipología D.

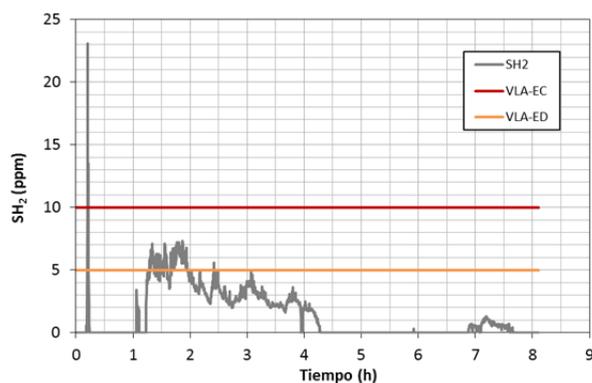


Figura 6.6. Niveles de SH₂ en la jornada completa 4 de la Tipología D.

Al igual que se comentó en la tipología de bodega anterior, el descenso puntual de los valores de O₂ se correspondió con picos de CO₂ hasta 50.000 ppm. En cuanto al SH₂, en la jornada 4 se obtuvo un pico importante por encima del valor techo y del valor máximo de exposición a corta duración (VLA-EC).

6.2.5 Tipología E

En esta tipología de bodega, los procesos productivos que se llevan a cabo y los equipos e instalaciones utilizados son los mismos que en cualquiera de las otros tipos seleccionados. Las diferencias con el resto son consecuencia de varios factores, como mayor capacidad, mayor ritmo productivo, etc. A su vez, esta bodega es la única que presenta un sistema de ventilación forzada, instalado en una de las fachadas de la nave de producción.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6.7 y Figura 6.8.

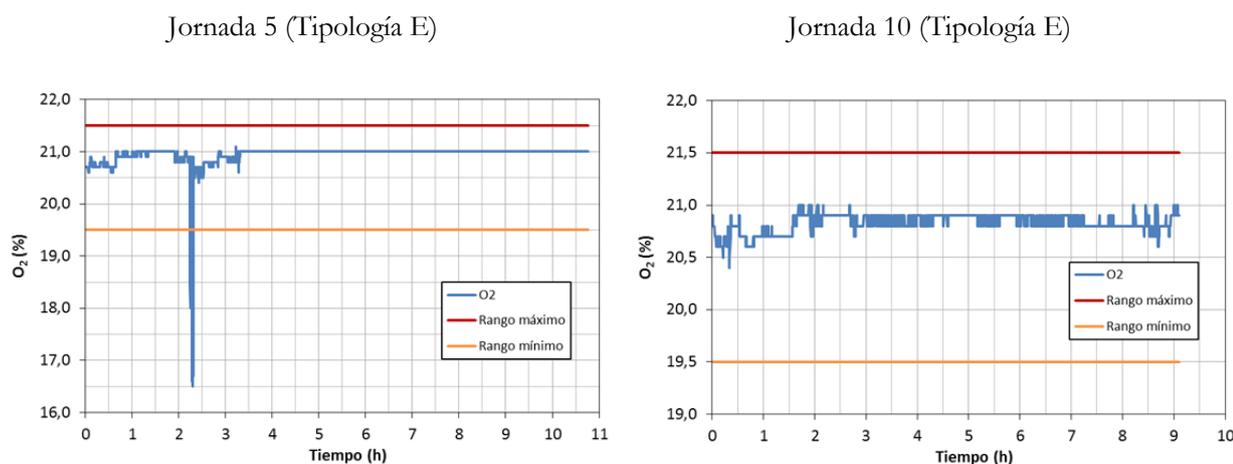


Figura 6.7. Niveles de O₂ en una jornada completa de la Tipología E.

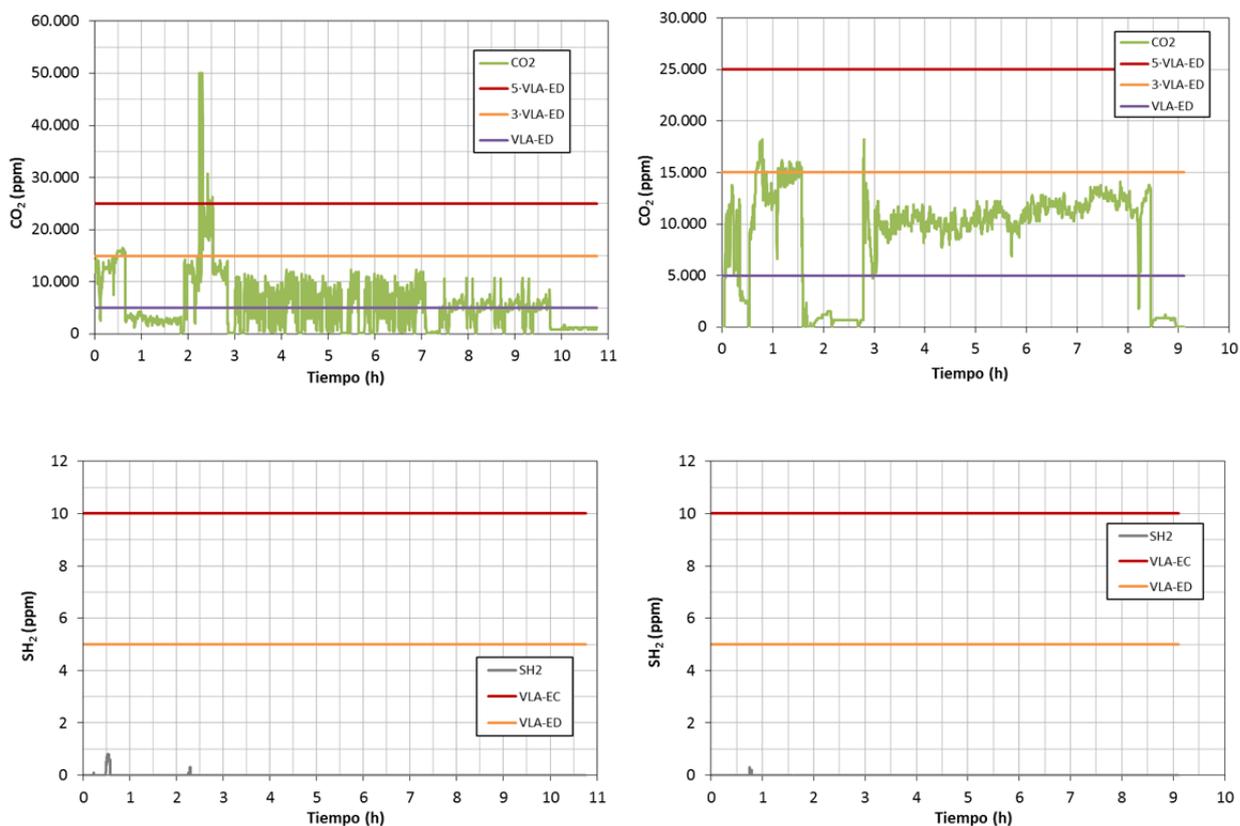


Figura 6.8. Niveles de CO₂ y SH₂ en una jornada completa de la Tipología E.

Tal y como puede apreciarse en las gráficas anteriores, se obtuvo un pico en el que el nivel de CO₂ que duplicó el valor techo (límite de desviación de 5VLA-ED), registro que coincidió con una disminución importante del volumen de oxígeno (16,5%). Tanto en el resto de la jornada 5 como en la totalidad de la jornada 10, los valores alcanzados no sobrepasaron el límite de 5VLA-ED. El SH₂ permaneció en niveles muy bajos durante las dos jornadas de trabajo analizadas.

En este caso, la elevada capacidad de la bodega seleccionada (16.600.000 litros/año) posibilita la disponibilidad de numerosos depósitos, permitiendo a su vez que las tareas de trasiego, descube, limpieza, etc., puedan realizarse con el proceso de fermentación más avanzado, originando la menor exposición a SO₂ de todas las registradas.

6.3 Análisis de jornadas completas de trabajo y comparación con los valores límite de exposición

Como se ha indicado en el capítulo Materiales y Métodos, las jornadas seleccionadas se corresponden con los días centrales de campaña, que a su vez son los más críticos. Esta circunstancia viene derivada de la simultaneidad de dos factores, el aumento en la cantidad de uva recepcionada, por un lado, y la concurrencia

simultánea de diferentes procesos de elaboración, por otro, que de forma continua multiplican el riesgo de exposición a gases por inhalación [119].

6.3.1 Comparación con los valores límite de exposición diaria

En la Figura 6.9 y Tabla 6.1 vienen reflejados los resultados obtenidos en la evaluación de la exposición diaria correspondiente al CO₂ para las 10 por jornadas evaluadas, presentándose tanto la duración de la jornada como los índices de exposición diaria, con sus respectivos límites inferior y superior.

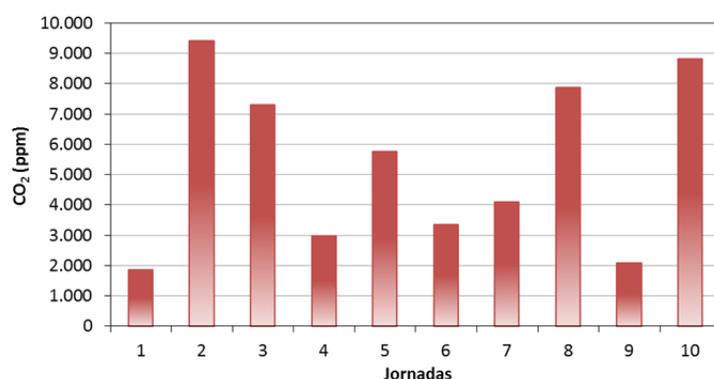


Figura 6.9. Concentración media diaria de CO₂.

Tabla 6.1. Valoración de la exposición por comparación con VLA-ED para el CO₂.

Jornada	CO ₂ (ppm)	Tiempo de medición (h)	ED (ppm)	VLA-ED (ppm)	I _{CO2}	I _{máx}	I _{mín}
1	1.863,17	11,45	2.666,66	5.000	0,53	0,58	0,47
2	9.428,77	8,18	9.648,12	5.000	1,93	2,14	1,71
3	7.299,49	9,90	9.033,12	5.000	1,80	2,05	1,55
4	2.979,77	8,12	3.023,22	5.000	0,60	0,68	0,52
5	5.770,72	10,76	7.762,43	5.000	1,55	1,79	1,31
6	3.347,74	9,21	3.856,87	5.000	0,77	0,97	0,97
7	4.097,34	8,57	4.390,41	5.000	0,87	1,07	1,07
8	7.875,34	8,70	8.564,43	5.000	1,71	1,90	1,90
9	2.089,64	8,20	2.144,06	5.000	0,42	0,61	0,61
10	8.826,47	9,20	10.150,44	5.000	2,03	2,23	2,23

Como puede apreciarse, la concentración promedio de CO₂ fue menos elevada que el valor de la exposición diaria, debido a que las jornadas analizadas superaron la duración de 8 horas correspondientes a una jornada laboral normal. A su vez, el índice de exposición de la sustancia calculado estuvo siempre comprendido en el intervalo máximo-mínimo. Esto supone que la exposición se mantendrá dentro de este rango durante el resto de las jornadas no analizadas y con una probabilidad del 90%.

De entre las diez jornadas evaluadas, tan solo en cuatro de ellas se obtuvieron valores aceptables de CO₂,

coincidiendo éstas con tipologías de bodegas donde existen depósitos de maceración de fondo plano (tipos A y D). Esto puede ser debido a que en estos tipos de bodegas (familiar y experimental) los ritmos de producción son más bajos, además de disponer de una menor capacidad, situaciones ambas que dan lugar a un menor concurrencia en la realización de determinadas tareas y una menor existencia de focos o emplazamientos con elevada generación de contaminantes.

Por otro lado, en la Figura 6.10 y Tabla 6.2 vienen reflejados los resultados obtenidos en la evaluación de la exposición diaria correspondiente al SO₂ para las 10 por jornadas evaluadas.

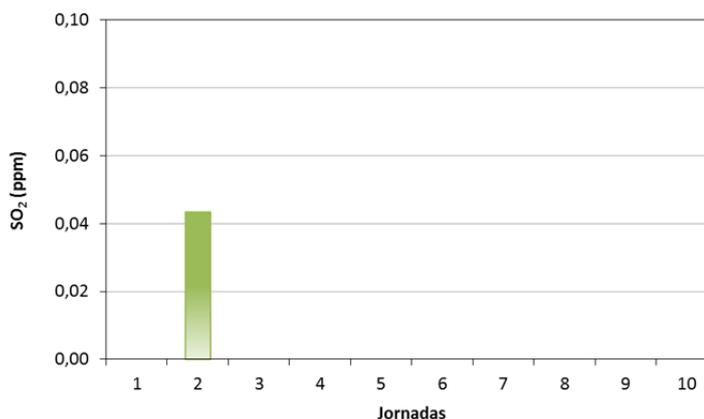


Figura 6.10. Concentración media diaria de SO₂.

Tabla 6.2. Valoración de la exposición por comparación con VLA-ED para el SO₂.

Jornada	SO ₂ (ppm)	Tiempo de medición (h)	ED (ppm)	VLA-ED (ppm)	I _{SO2}	I _{máx}	I _{mín}
2	0,04	8,18	0,04	0,5	0,08	0,11	0,06

De entre las diez jornadas analizadas, únicamente en la jornada 2 correspondiente a la tipología B se registraron valores de concentración media diaria de SO₂ (0,043 ppm), debido posiblemente a que se trata de la única tipología en la que se elabora mosto como producto terminado, lo cual implica el empleo de grandes cantidades de SO₂ para impedir que prospere la fermentación. Pese a ello, el índice de exposición de la sustancia fue muy inferior al valor de 0,1, por lo que la situación de exposición a este contaminante puede calificarse como aceptable.

Finalmente, en la Figura 6.11 y Tabla 6.3 vienen reflejados los resultados obtenidos en la evaluación de la exposición diaria correspondiente al SH₂ para las 10 por jornadas evaluadas.

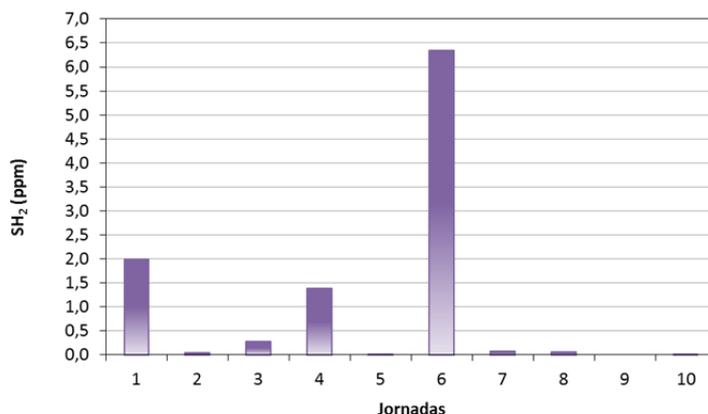


Figura 6.11. Concentración media diaria de SH₂.

Tabla 6.3. Valoración de la exposición por comparación con VLA-ED para el SH₂.

Jornada	SH ₂ (ppm)	Tiempo de medición (h)	ED (ppm)	VLA-ED (ppm)	I _{SH2}	I _{máx}	I _{mín}
1	1,99	11,45	2,86	5	0,57	0,61	0,52
2	0,04	8,18	0,04	5	0,01	0,01	0,00
3	0,27	9,90	0,34	5	0,07	0,11	0,02
4	1,39	8,11	1,41	5	0,28	0,33	0,23
5	0,01	10,76	0,01	5	0,00	0,00	0,00
6	6,34	9,21	7,30	5	1,46	1,46	1,45
7	0,08	8,57	0,08	5	0,01	0,01	0,01
8	0,06	8,70	0,06	5	0,01	0,01	0,01
9	0,00	8,20	0,00	5	0,00	0,00	-0,001
10	0,00	9,20	0,00	5	0,00	0,00	-0,002

La mayor concentración de SH₂ se obtuvo durante la medición efectuada en la jornada 6, correspondiente a la tipología A, siendo esta exposición inaceptable para la salud del trabajador (7,30 ppm). En estas condiciones de trabajo, resulta necesario llevar a cabo una evaluación concreta de las tareas que se realizaron ese día y que se detallan en posteriores apartados de este trabajo.

En todos los casos y dado que el índice de exposición a la sustancia calculado estuvo siempre comprendido dentro del intervalo máximo-mínimo, puede concluirse que, con una probabilidad del 90%, la exposición en el resto de jornadas no medidas se encontrará en el rango del intervalo que se obtuvo para las jornadas analizadas y siempre que se mantengan similares condiciones de trabajo.

Los valores del índice de exposición de la sustancia de las jornadas 1 y 4 hacen que la situación sea indeterminada, no pudiendo establecerse ninguna conclusión al respecto. Sin embargo, estas dos jornadas, junto con la anterior, pertenecen a bodegas de las tipologías A y D, esto es, las únicas que disponen de depósitos de maceración de fondo plano. En el análisis por tareas se ha evaluado cómo influye el tipo de depósito en la exposición.

Por otro lado y en relación a la valoración de los efectos aditivos de los diferentes contaminantes, la Tabla 6.4 muestra los valores del índice total de exposición (I_{total}), donde se aprecia que solo en tres de las diez jornadas los niveles de exposición fueron adecuados ($I_{total} < 1$). A su vez, dos de estas tres jornadas se correspondieron con la tipología D —bodega familiar—, caracterizada por una capacidad y ritmo de proceso inferior al resto, con la excepción de la bodega experimental tipo A.

Tabla 6.4. Índice total de exposición de las sustancias por jornadas.

Jornada	I_{CO_2}	I_{SO_2}	I_{SH_2}	I_{total}
1	0,53	0,00	0,57	1,10
2	1,92	0,08	0,00	2,02
3	1,80	0,00	0,06	1,87
4	0,60	0,00	0,28	0,88
5	1,55	0,00	0,00	1,55
6	0,77	0,00	1,46	2,23
7	0,87	0,00	0,01	0,89
8	1,71	0,00	0,01	1,72
9	0,42	0,00	0,00	0,42
10	2,03	0,00	0,00	2,03

6.3.1.1 Análisis de probabilidad

Una vez expuestos resultados de las mediciones diarias realizadas, y con objeto de verificar si esta situación se mantiene a lo largo del tiempo, se llevó a cabo el análisis de la probabilidad de la exposición por inhalación a los agentes químicos objeto de este trabajo.

Así, la Tabla 6.5 muestra los cálculos previos efectuados para la determinación de la desviación estándar geométrica y la probabilidad de que se supere o no el valor límite de exposición diaria.

Tabla 6.5. Índice total de exposición de las sustancias por jornadas.

Jornada	I_{total}	$\ln I_{total}$	$\ln (I_{total})^2$
1	1,10	0,10	0,01
2	2,02	0,70	0,50
3	1,87	0,62	0,40
4	0,88	-0,12	0,01
5	1,55	0,44	0,19
6	2,23	0,80	0,64
7	0,89	-0,11	0,01
8	1,72	0,54	0,30
9	0,42	-0,84	0,72
10	2,03	0,70	0,50
Total	14,76	2,85	3,29

A partir de estos resultados, se determinaron las siguientes variables estadísticas.

$$\text{LnMG} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}i}{n} = \frac{2,85}{10} = 0,28 \quad (6.1)$$

$$\text{LnGSD} = \sqrt{\frac{\sum[\text{Ln}i]^2 - n \cdot (\text{LnMG})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{3,29 - 10 \cdot (0,28)^2}{10 - 1}} = 0,52 \quad (6.2)$$

$$z = \frac{\text{LnVLAED} - \text{LnMG}}{\text{LnGSD}} = \frac{0 - 0,28}{0,52} = -0,54 \quad (6.3)$$

Seguidamente y a partir de la tabla de Distribución normal estándar [90], para un valor $z = -0,54$, se obtuvo una $p = 0,29$. De este modo, se concluye que, con una probabilidad del 29,46%, los resultados obtenidos en las 10 jornadas analizadas serán similares al resto de jornadas a lo largo de la vida laboral del trabajador. O lo que es lo mismo, existe un 70,54% de probabilidad de que superen los valores límite de exposición diaria para las jornadas no analizadas.

Asimismo, el resultado obtenido para la GSD, de valor 1,68, refleja que las exposiciones registradas durante las jornadas analizadas no siguen una distribución constante, lo que se correspondería con un valor unitario de la GSD.

El valor de la probabilidad de que se supere el VLA-ED corrobora lo observado en la evaluación de la exposición diaria. Así, de las 10 jornadas analizadas, tan solo 3 de ellas se hallaron dentro de una situación aceptable, una se consideró en situación indeterminada, mientras que en el resto se superaron los valores límite. A su vez, esta elevada probabilidad se correspondió con el valor obtenido para la GSD, que se halló entre el intervalo de 1,25 a 2,5.

6.3.2 Comparación con los valores límite de corta duración

Además de la valoración correspondiente al total de la jornada y considerando las concentraciones medias, es necesario comprobar la existencia de exposiciones puntuales de corta duración. Para ello y como se indicó en el capítulo de Materiales y Métodos, se emplearon los VLA-EC o límites de desviación.

Una vez identificados mediante el análisis de la evolución de las concentraciones instantáneas los periodos de máxima exposición, se valoraron mediante la comparación con los VLA-EC —para aquellos contaminantes que dispongan de este parámetro, como el SO₂ y SH₂— y mediante los límites de desviación para el CO₂.

Para presentar gráficamente los resultados, se seleccionaron dos de las jornadas evaluadas, correspondientes a la jornada 1 (tipología A) y la jornada 2 (tipología B).

A partir de la valoración instantánea y en el caso de la bodega de tipología A, se obtuvieron unas concentraciones de SH_2 muy elevadas en las dos jornadas evaluadas. De entre las dos jornadas analizadas, la sexta superó con creces a la primera. Sin embargo, se seleccionó esta última porque la sexta representa una situación muy particular —descube de varios depósitos de fondo plano donde se elabora vino tinto— que será evaluada en el apartado correspondiente al análisis de tareas características.

Asimismo, se seleccionó la jornada 2 por presentar los valores más elevados de CO_2 y SO_2 de entre las diez jornadas analizadas.

En la Figura 6.12 se muestran los periodos de corta duración de la jornada 1 en que se superaron los límites de desviación para el CO_2 .

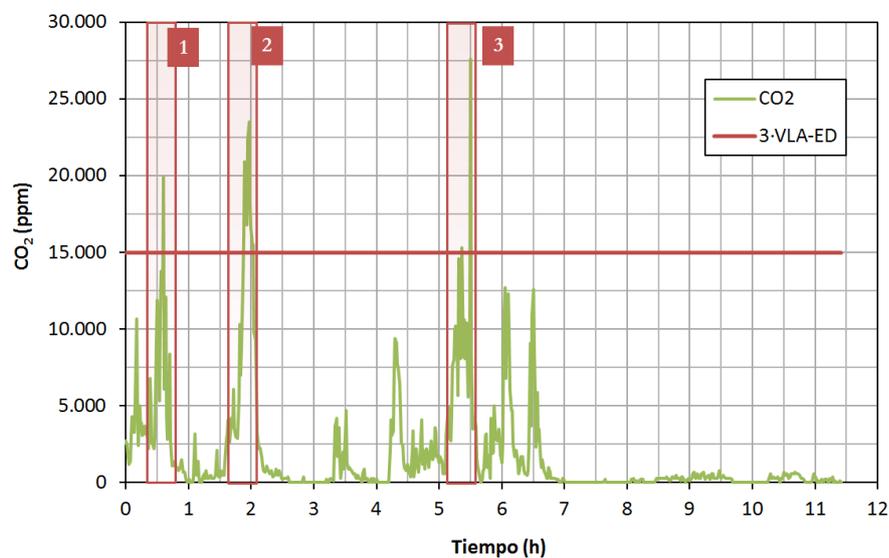


Figura 6.12. Gráfico de identificación de periodos de máxima exposición para el CO_2 en la Jornada 1.

Así, se detectaron tres periodos de mayor intensidad de exposición a CO_2 durante 30 minutos y se procedió al análisis de los mismos de forma independiente. Los resultados se recogen gráficamente en la Figura 6.13 y analíticamente en la Tabla 6.6.

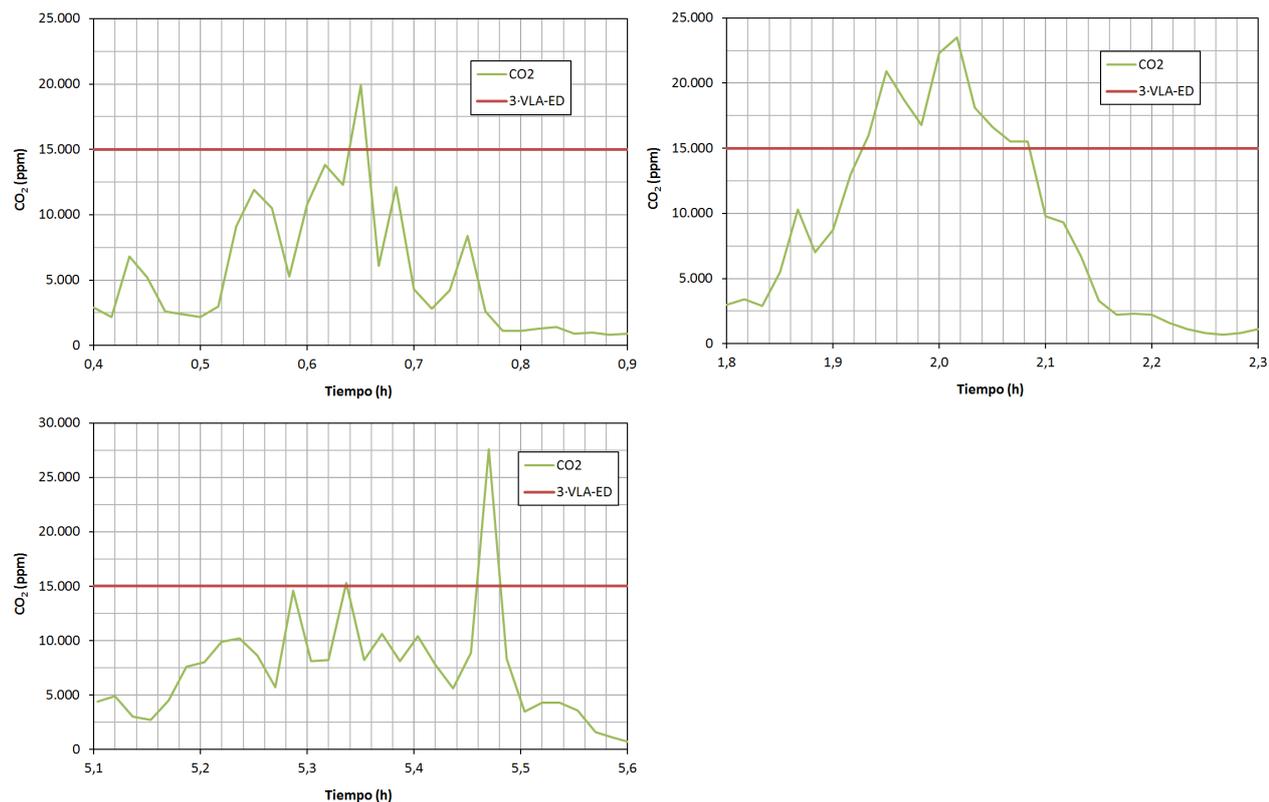


Figura 6.13. Periodos de mayor intensidad de presencia de CO₂ en Jornada 1.

Tabla 6.6. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 1.

Jornada 1	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	5.633,33	30	-	15.000
	P2	9.423,33	30	-	15.000
	P3	7.653,33	30	-	15.000

Los resultados obtenidos arrojaron valores de concentraciones por debajo del límite de desviación del contaminante, por lo que, en contra de lo que pudiera pensarse en un principio, la situación es aceptable desde el punto de vista de la corta duración.

Por otro lado, la Figura 6.14 muestra la evolución del SH₂ con respecto a sus límites de corta duración. En ningún momento de la jornada se superó el VLA-EC, por lo que la situación es aceptable.

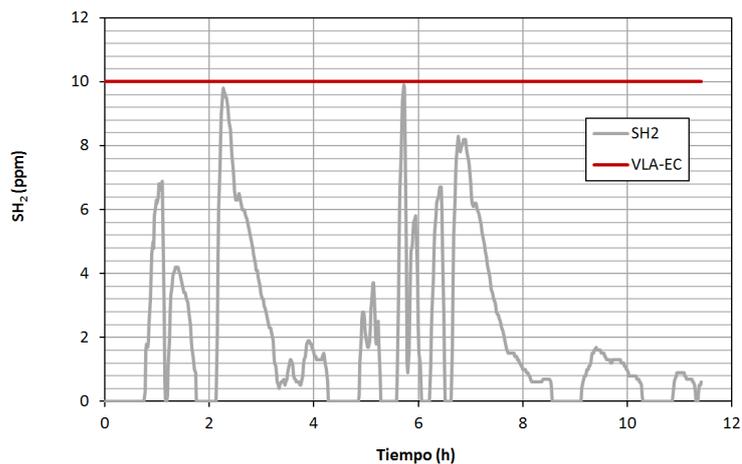


Figura 6.14. Gráfico de identificación de períodos de máxima exposición para el SH₂ en la Jornada 1.

Con respecto a la jornada 2, los resultados obtenidos por encima de los límites de desviación para el CO₂ vienen reflejados en la Figura 6.15.

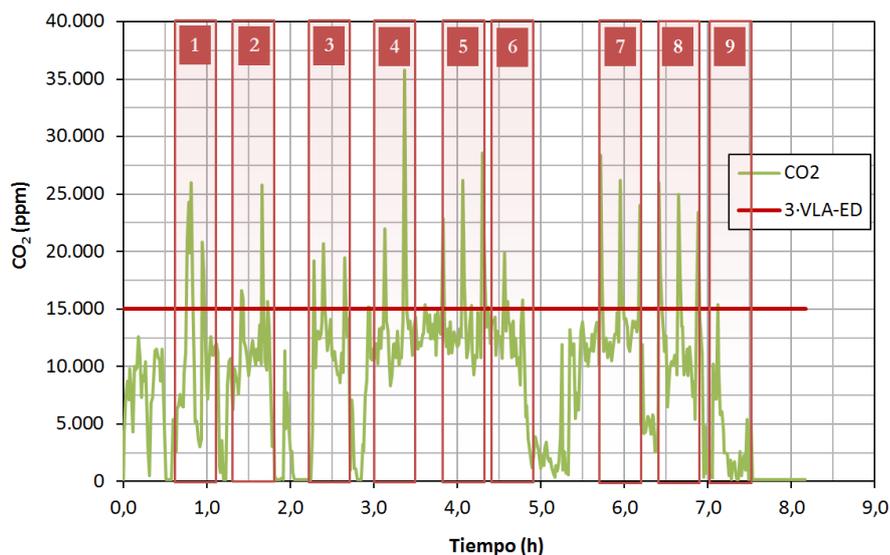


Figura 6.15. Gráfico de identificación de períodos de máxima exposición para el CO₂ en la Jornada 2.

Así, se detectaron nueve situaciones en las que la exposición superó 3 VLA-ED —límite de desviación para 30 minutos—, superándose en algunos de estos casos el valor techo del contaminante 5 VLA-ED.

Los periodos de mayor intensidad se recogen en la Figura 6.16 y Figura 6.17.

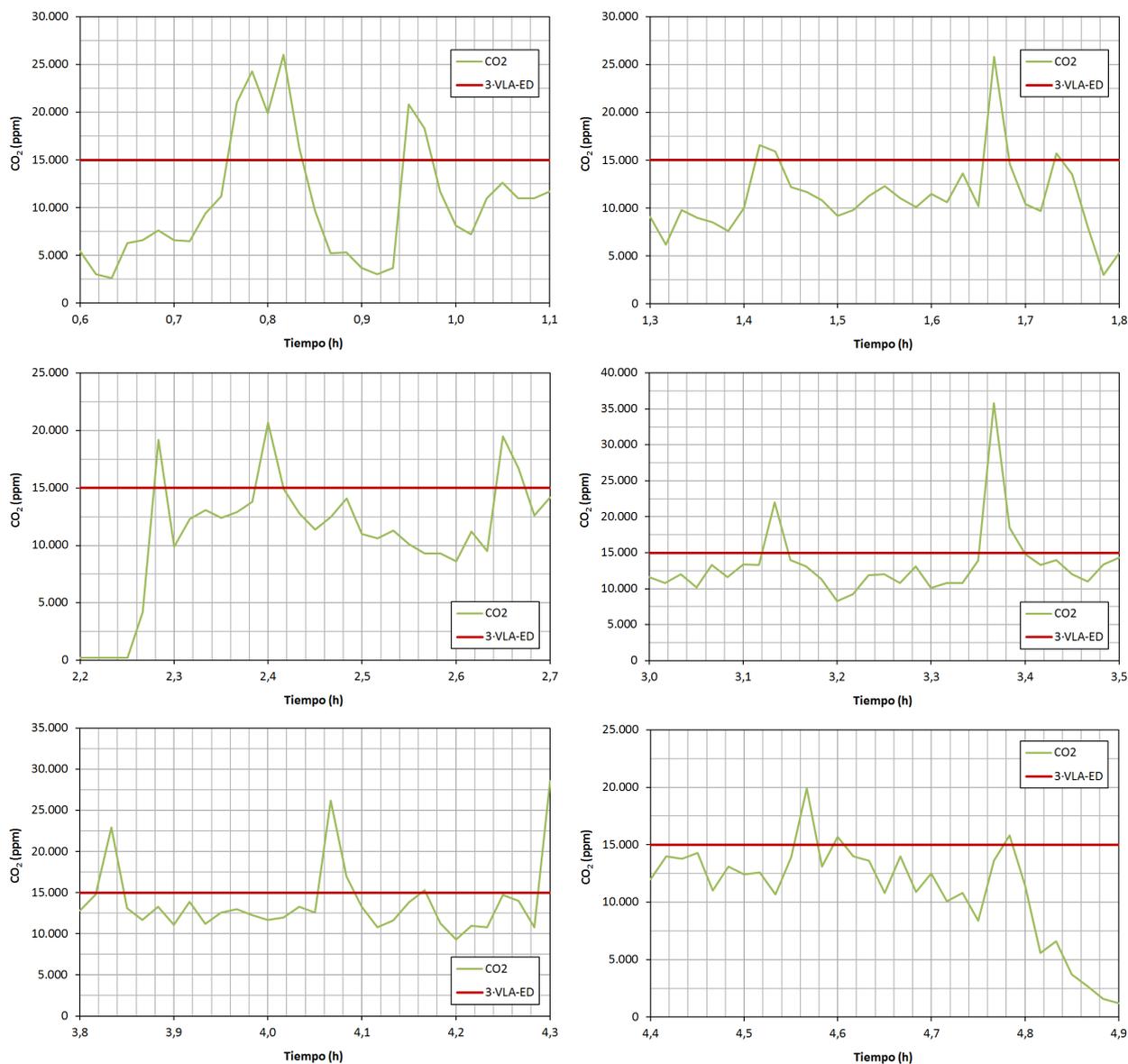


Figura 6.16. Periodos de mayor intensidad de presencia de CO₂ en Jornada 2 (I).

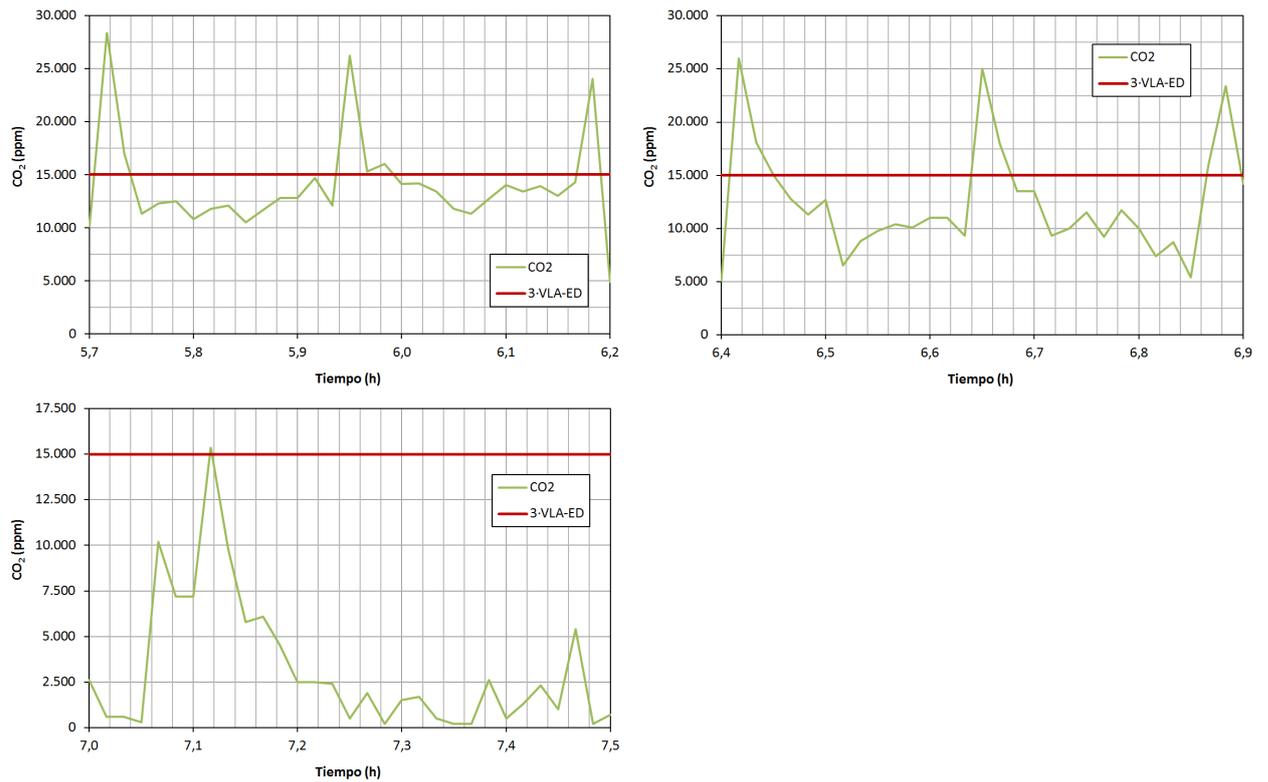


Figura 6.17. Periodos de mayor intensidad de presencia de CO₂ en Jornada 2 (II).

Con respecto al SO₂ y el SH₂, se identificaron los siguientes tramos por encima de los valores límite de corta duración. El desarrollo de los tramos identificados se presentan en la Figura 6.18 y Figura 6.19, respectivamente.

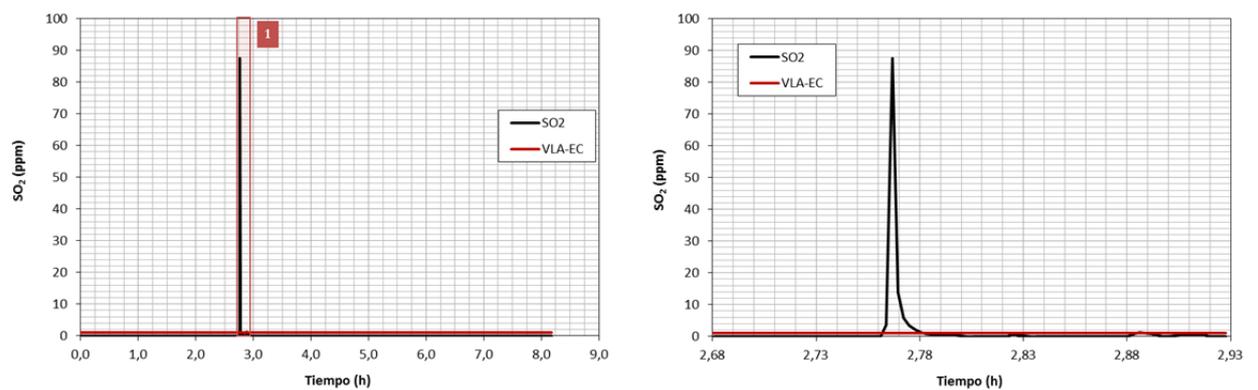


Figura 6.18. Identificación de periodos de máxima exposición para el SO₂ en la Jornada 2. Detalle del mismo.

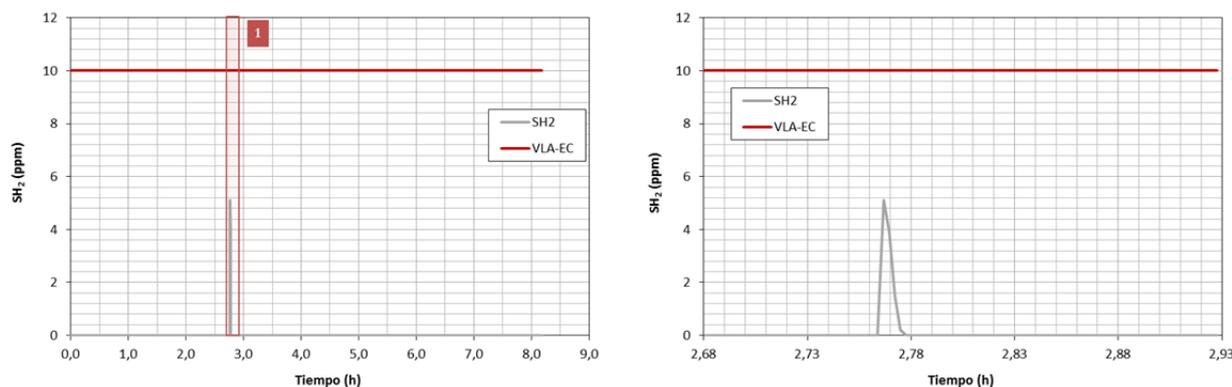


Figura 6.19. Identificación de períodos de máxima exposición para el SH₂ en la Jornada 2. Detalle del mismo.

Seguidamente y de forma analítica se presentan los datos obtenidos en la jornada 2 para todos los contaminantes evaluados (Tabla 6.7).

Tabla 6.7. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos y concentraciones de SO₂ y SH₂ para periodos de 15 minutos en Jornada 2.

Jornada 2	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	11.294,40	30	-	15.000
	P2	11.048,88	30	-	15.000
	P3	11.318,88	30	-	15.000
	P4	13.560,00	30	-	15.000
	P5	13.460,55	30	-	15.000
	P6	11.448,88	30	-	15.000
	P7	14.019,44	30	-	15.000
	P8	12.807,77	30	-	15.000
	P9	3.603,33	30	-	15.000
SO ₂	P1	0,12	15	1	-
SH ₂	P1	0,01	15	10	-

En ninguno de los casos evaluados se obtuvieron resultados por encima de los límites de desviación o del valor límite de corta duración de cada contaminante analizado. En cuanto al SO₂, la concentración existente se debió a la detección de una fuga producida durante la conexión de una botella de gas en un depósito de almacenamiento de vino blanco. Pese al origen de esta fuga, los niveles registrados se encontraron dentro de un rango aceptable ($(EC_{\text{máximo}} / VLA-EC) < 0,5 \text{ ppm}$).

Del mismo modo, los datos obtenidos en el resto de jornadas evaluadas se resumen en la Tabla 6.8, Tabla 6.9, Tabla 6.10, Tabla 6.11, Tabla 6.12, Tabla 6.13, Tabla 6.14 y Tabla 6.15.

Tabla 6.8. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 3.

Jornada 3	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	9.991,66	30	-	15.000
	P2	4.822,22	30	-	15.000
	P3	4.231,11	30	-	15.000
	P4	1.878,88	30	-	15.000
	P5	3.328,33	30	-	15.000
	P6	9.854,44	30	-	15.000

Tabla 6.9. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos y concentraciones de SH₂ para periodos de 15 minutos en Jornada 4.

Jornada 4	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	2.762,77	30	-	15.000
SH ₂	P1	1,06	15	10	-

Tabla 6.10. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 5.

Jornada 5	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	18.333	30	-	15.000

Tabla 6.11. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos y concentraciones de SH₂ para periodos de 15 minutos en Jornada 6.

Jornada 6	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	5.436,66,4	30	-	15.000
	P2	3.493,33	30	-	15.000
	P3	7.783,33	30	-	15.000
SH ₂	P1	12,19	15	10	-

Tabla 6.12. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 7.

Jornada 7	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	9.485,55	30	-	15.000
	P2	9.738,88	30	-	15.000
	P3	8.697,77	30	-	15.000
	P4	1.760,55	30	-	15.000
	P5	10.018,88	30	-	15.000
	P6	6.048,88	30	-	15.000

Tabla 6.13. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 8.

Jornada 8	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	11.547,77	30	-	15.000
	P2	16.276,66	30	-	15.000
	P3	13.751,11	30	-	15.000
	P4	4.815,00	30	-	15.000
	P5	6.151,11	30	-	15.000

Tabla 6.14. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 9.

Jornada 9	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	5.777,77	30	-	15.000
	P2	4.091,11	30	-	15.000

Tabla 6.15. Concentraciones de CO₂ para periodos de 30 minutos en Jornada 10.

Jornada 10	Periodo	EC (ppm)	Tiempo de medición (h)	VLA-EC (ppm)	3VLA-ED (ppm)
CO ₂	P1	12.475,55	30	-	15.000
	P2	14.347,77	30	-	15.000
	P3	8.089,44	30	-	15.000

Durante las jornadas 3, 4, 7, 9 y 10 no se obtuvieron registros superiores al límite de desviación para 30 minutos ni del valor techo para cada contaminante.

En cambio, durante las jornadas 5 y 8 se detectó un periodo de tiempo en el que la concentración de CO₂ superó de desviación para 30 minutos.

Finalmente, en lo referente a la evaluación de jornada 6 y dado el largo periodo de tiempo en el que superó el valor techo del contaminante (4h 24'), se procedió a evaluar la totalidad del intervalo —periodo de exposición continuo, Figura 6.20—, obteniéndose una concentración muy superior a la permitida para la comparación con el valor límite de corta duración del contaminante (15 minutos).

Por tanto, la elevada diferencia entre el tiempo en el que se superó el valor techo y el tiempo para el cual se calcula dicho valor no permite materializar ninguna conclusión, por lo que se hace necesario recurrir a un estudio detallado en el apartado de tareas características.

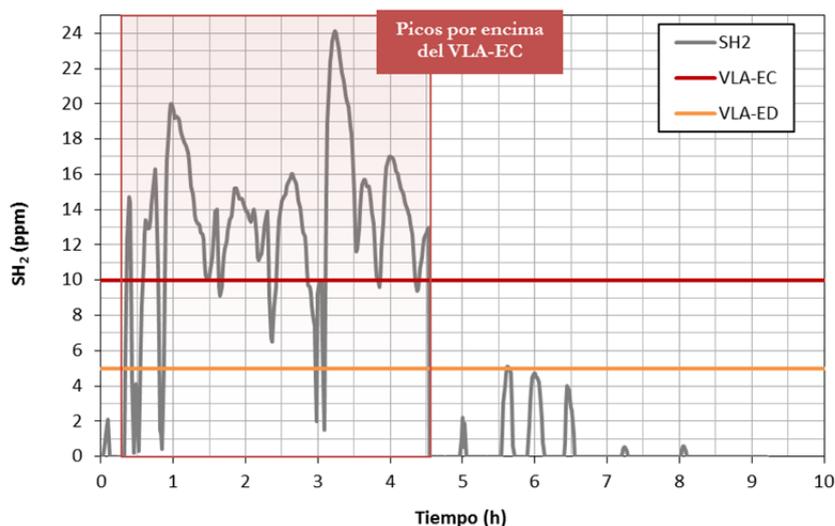


Figura 6.20. Identificación de período de máxima exposición para el SH₂ en la Jornada 6. Detalle del mismo.

6.4 Análisis de las tareas

Junto a las tareas más características de los diferentes procesos de elaboración de vino, se evaluaron aquellas tareas auxiliares comunes o específicas para cada uno de los procesos, así como las desarrolladas en emplazamientos o focos de emisión en los que existía a priori la posibilidad de una elevada generación de contaminantes.

Las tareas analizadas fueron indicadas en el capítulo de Materiales y Métodos. Aunque existen importantes similitudes entre las tareas desarrolladas en las distintas bodegas, ya que se encuentran en la misma zona de influencia, trabajan con sistemas productivos similares, idénticas variedades de uva y vinos elaborados, se han detectado números factores que condicionan la exposición a los gases de estudio. Además, la realización de las tareas puede variar entre las diferentes bodegas o dentro de una misma instalación, debido a aspectos tales como su duración, el momento concreto en que se realiza con respecto al estado del proceso de fermentación, limitaciones de capacidad de la bodega en plena campaña, el tipo de vino elaborado, etc.

De este modo, en los siguientes apartados se recogen los resultados correspondientes al análisis de las tareas más características —diferenciadas en función del producto elaborado— seguidas de las auxiliares y, finalmente, las de puesta a punto y reparación de equipos.

6.4.1 Tareas características en la elaboración de vino tinto

Las tareas más características del proceso de elaboración de vino tinto son las consistentes en el decube y limpieza de depósitos con su previa ventilación. Seguidamente se representa la evolución de los gases analizados a lo largo de estas tareas. En los casos en los que se han llevado a cabo varias mediciones, se ha optado por representarlas de forma conjunta para facilitar su comparación.

6.4.1.1 Descubre de depósitos de maceración

La Figura 6.21 muestra distintos momentos del proceso de descube de un depósito de maceración de fondo plano en el que se llevó a cabo la medición de los gases contaminantes.



Figura 6.21. Imágenes correspondientes a un descube de depósito de maceración de fondo plano.

Los resultados correspondientes a la exposición a CO_2 y SH_2 durante las tareas de descube de un depósito de maceración de vino tinto vienen reflejados en la Figura 6.22. Así, los datos correspondientes al porcentaje de oxígeno se mantuvieron dentro del rango permitido (19,5-21,5%), obteniéndose valores comprendidos entre 20,6 y 21,0% en volumen. No se obtuvo ningún valor para la medida del SO_2 , dado que previamente a la realización del descube se había llevado a cabo su transformación en SH_2 .

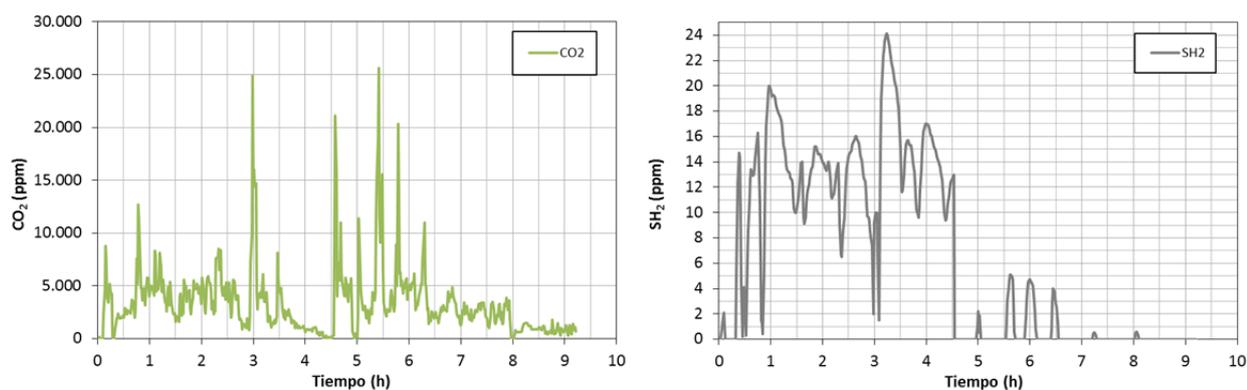


Figura 6.22. Concentración de CO_2 y SH_2 durante el descube de un depósito de maceración.

Los valores elevados de SH_2 y la no existencia de SO_2 registrados durante la medición son debidos a que ésta se llevó a cabo durante la fase inicial del proceso de fermentación, esto es, el descube se realizó cuando el proceso no había terminado completamente, circunstancia motivada por necesidades de capacidad en la instalación.

De forma general, durante la tarea se alcanzaron valores elevados del SH_2 , muy por encima del valor techo del cotaminante (10 ppm), mientras que el CO_2 presentó un único valor por encima del límite de desviación de 5 VLA-ED (25.000 ppm).

En la Tabla 6.16 se muestran las concentraciones y dosis recibida —definida como el producto de la concentración media por la duración de la tarea— durante la realización de la actividad.

Tabla 6.16. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante la tarea de descube de un depósito de maceración.

	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	9,22	3.347,74	30.856,11	40.000
SH ₂	9,22	6,34	58,43	40

En base a los datos calculados, la dosis recibida de SH₂ en las condiciones en la que se llevó a cabo la tarea, esto es, con permanencia del trabajador de forma continua en los alrededores de la boca inferior de un depósito de maceración durante el tiempo total de su descube —circunstancia que no se da habitualmente en la práctica, dado que la extensa duración del descube motiva la realización de otras tareas de forma simultánea [138]—, y el hecho de que el descube se produjera aun cuando el proceso de fermentación no había finalizado, fue muy superior a la dosis máxima permitida de este contaminante.

6.4.1.2 Descube y limpieza de depósitos subterráneos

En ocasiones se utilizan los depósitos subterráneos existentes en las instalaciones para el almacenamiento temporal de vino procedente del prensado de las madres (vino prensa), que da lugar a un vino de una calidad inferior. En otras, su uso se limita al almacenamiento de vino de mala calidad destinado a las industrias alcoholeras.

El descube de los depósitos destinados a vino prensa puede realizarse de forma directa, o bien utilizando una balsa intermedia. La periodicidad de esta tarea oscila entre una o dos veces al día en función de la capacidad y la producción de la bodega.

En los depósitos subterráneos destinados a vino para alcoholeras, el descube se realiza únicamente al final de la campaña, ya que este vino no es considerado en sí un producto, sino un subproducto destinado para otro fin, con lo que las cantidades producidas suelen ser mínimas.

6.4.1.2.1 Descube con balsa intermedia y limpieza desde exterior

En estos casos, el descube del depósito subterráneo se realiza en dos fases: primero, del subterráneo a una balsa intermedia, y de ésta, al depósito de almacenamiento definitivo, normalmente situado en el exterior de la nave de elaboración. Durante esta tarea, el trabajador se sitúa en las cercanías de la boca superior del depósito subterráneo y de la balsa, y en ocasiones, se acerca al interior de la misma.

Para esta valoración, se cuantificaron dos tareas de descube en la misma instalación y condiciones de ejecución, durante dos días diferentes y en distintos momentos de la campaña.

Al igual que durante el descube del depósito de maceración, los valores correspondientes al porcentaje de oxígeno se encontraron dentro del rango permisible, en un intervalo entre 20,6 a 21% en volumen.

En cuanto a la exposición a los gases CO_2 y SH_2 , la Figura 6.23 y Figura 6.24 muestran los resultados obtenidas durante las mediciones efectuadas.

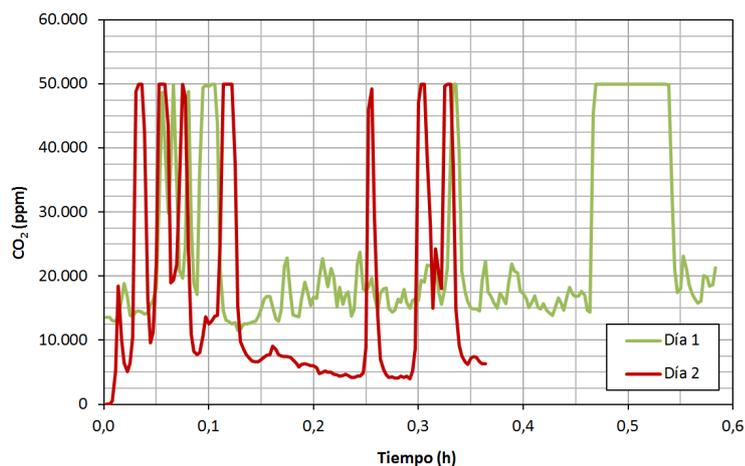


Figura 6.23. Comparación de concentraciones de CO_2 en tareas de descube de vino prensa en depósitos subterráneos de dos días distintos.

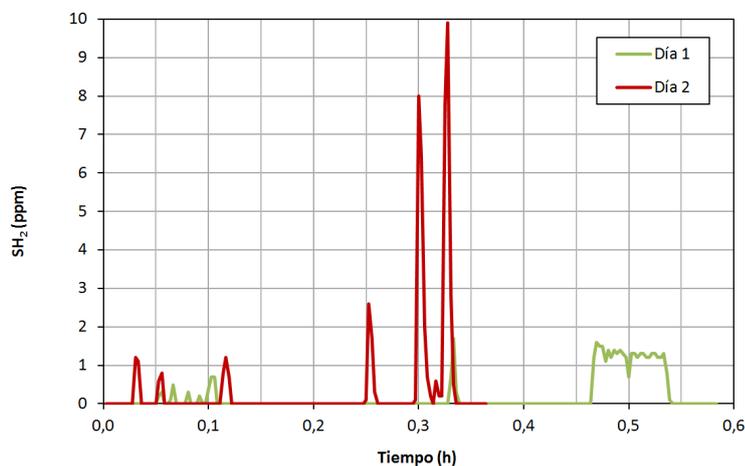


Figura 6.24. Comparación de concentraciones de SH_2 en tareas de descube de vino prensa en depósitos subterráneos de dos días distintos.

La exposición al CO_2 presente durante el control de la tarea de descube fue elevado en numerosos momentos, llegando a alcanzarse valores de 50.000 ppm, máximo admisible registrado por el equipo de medición personal utilizado.

Con respecto al SH_2 , no se detectaron valores superiores al valor techo del contaminante. Asimismo, las dosis recibidas en los dos días en los que se analizó la tarea vienen reflejados en la Tabla 6.17.

Tabla 6.17. Concentraciones y dosis de CO_2 , SO_2 y SH_2 durante la tarea de descube de un depósito subterráneo de vino prensa.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO_2	Día 1	0,58	23.630,33	13.705,59	40.000
	Día 2	0,36	16.460,79	5.925,88	
SO_2	Día 1	0,58	0,35	0,20	4
	Día 2	0,36	0,00	0,00	
SH_2	Día 1	0,58	0,01	0,01	40
	Día 2	0,36	0,03	0,01	

Con los resultados obtenidos se pone de manifiesto que la utilización de estos depósitos supone un riesgo añadido frente a los aéreos, debido a que los restos del proceso que inevitablemente quedan en el fondo de estos depósitos —aunque se limpien periódicamente una o más veces al día— mantienen activa la reacción de fermentación, haciendo las veces de pie de cuba, con lo que las concentraciones existentes de los gases generados son siempre elevadas [139].

En esta situación la concentración sobrepasó el límite de desviación del contaminante para 30 minutos, con lo que la dosis recibida en las tareas evaluadas de forma completa suponen un riesgo para la salud del trabajador.

Durante la medición correspondiente al día 2, no se detectó presencia de SO_2 . Esta circunstancia implica una mayor presencia de SH_2 con respecto al día 1, ya que la reacción de fermentación se encontraba en un estado más avanzado.

Una vez descubado el depósito, se procedió a su enjuague desde el exterior. La salida del SH_2 se produce de forma más rápida que la del CO_2 debido a la diferencia de densidad entre estos gases. Esto provoca que, al finalizar la tarea, ya no se detectan valores de SH_2 . En cambio, siguen registrándose niveles de CO_2 , que disminuyen paulatinamente a medida que avanza el proceso de llenado del depósito con caldo procedente de un nuevo prensado. Por ello, los valores de CO_2 no alcanzaron el valor cero al finalizar la tarea.

6.4.1.2.2 Descube de final de campaña

La Figura 6.25 muestra distintas imágenes de las tareas de descube de un depósito subterráneo de vino destinado a las industrias alcohólicas.

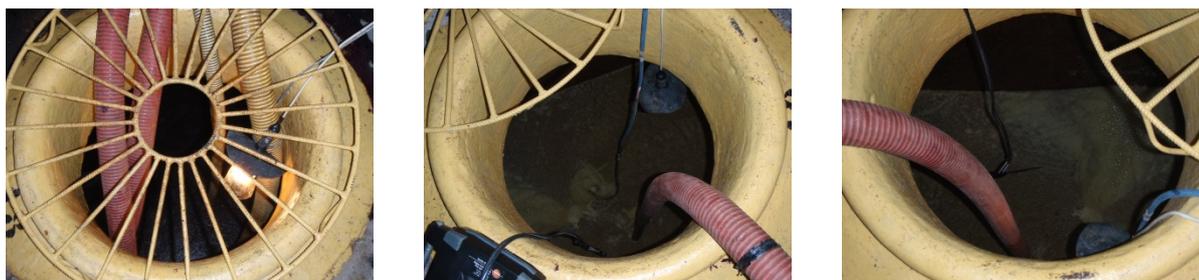


Figura 6.25. Imágenes correspondientes al descube de un depósito subterráneo de vino con destino a alcoholeras

Como se ha comentado anteriormente, este descube suele realizarse una vez en campaña. Si fuera necesario, porque la cantidad generada fuera superior a la capacidad del depósito destinado a este fin, en lugar de proceder al descube del mismo se emplearía otro de similares características.

La Figura 6.26 y Figura 6.27 muestran la evolución de las concentraciones de CO_2 y SH_2 durante la tarea de descube de vino destinado a alcoholeras en depósitos subterráneos en final de campaña.

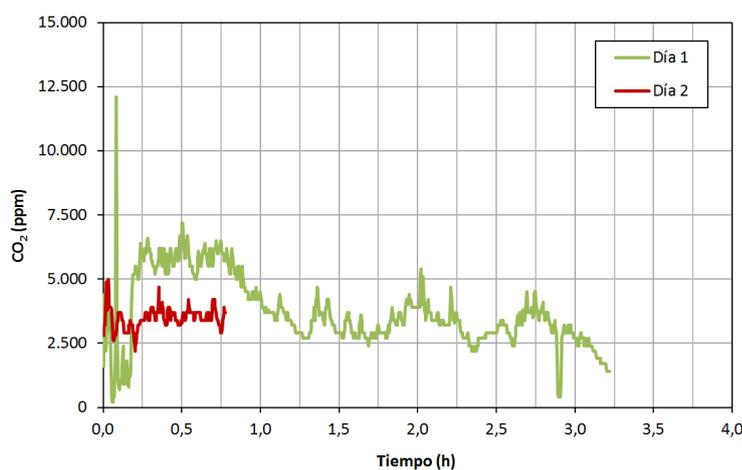


Figura 6.26. Comparación de concentración de CO_2 en tareas de descube de vino tinto en depósitos subterráneos en final de campaña.

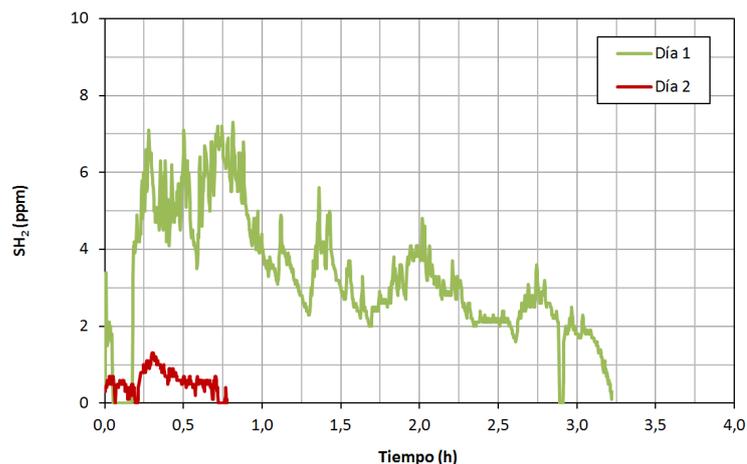


Figura 6.27. Comparación de concentración de SH₂ en tareas de descube de vino tinto en depósitos subterráneos en final de campaña.

En ningún caso durante la realización de la tarea se alcanzaron los valores límite o valores techo de cada uno de los contaminantes evaluados. Las concentraciones de CO₂ fueron mucho menores que las correspondientes al descube periódico. En el caso del SH₂ ocurrió exactamente lo contrario.

En la Tabla 6.18 se presentan los resultados obtenidos en ambos días de concentración y las dosis recibidas por el trabajador.

Tabla 6.18. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante la tarea de descube de un depósito subterráneo de vino destinado a la alcoholera.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Día 1	3,22	3.711,46	11.950,90	40.000
	Día 2	0,70	3.493,21	2.445,24	40.000
SH ₂	Día 1	3,22	3,28	10,56	40
	Día 2	0,70	0,57	0,39	40

Los niveles de concentración de CO₂ fueron similares en ambos días, pese a la diferencia en cuanto a duración de la tarea y del estado del caldo que se descuba. Al igual que en los casos anteriores, los niveles de concentración de los gases fueron más elevados en la fase inicial de la tarea, acumulándose en el fondo del depósito a medida que avanza el descube. De este modo, el trabajador situado junto a la boca superior del depósito estuvo expuesto paulatinamente a menores niveles de concentración del gas.

Asimismo, los resultados muestran la influencia de la duración de la tarea de descube final de campaña en lo referente a la determinación de la dosis recibida por el trabajador, teniendo presente que se trata de un depósito de las mismas características medido dos días diferentes. Esta duración dependerá de los restos existentes en el interior del depósito que hay que trasegar.

Como en el caso anterior, hay una diferencia sustancial entre la concentración y dosis de SH_2 en los dos días analizados. Esto es debido a diferencias en el estado en el proceso de fermentación del vino que se descuba, en el que influyen los restos acumulados en el fondo de depósito que hacen las veces de pie de cuba, por lo que en ocasiones el proceso de fermentación no ha concluido.

6.4.1.3 Limpieza de depósitos de maceración

La tarea de limpieza de depósitos de maceración de fondo plano requiere el acceso del trabajador al interior del depósito para la retirada de madres, término empleado para designar las partes sólidas de la uva que quedan tras la retirada del vino.

En principio, tras abrir la boca inferior o boca hombre del depósito se procede al calado (apertura de un canal en la masa formada) para favorecer la correcta aireación del interior del depósito. El comienzo del calado se realiza desde el exterior del depósito, desde la boca a la parte libre de la masa de madres. Una vez se abre el hueco, el trabajador accede al interior del depósito para continuar con la tarea. La limpieza concluye con el enjuague del depósito.

En este caso, se analizó la misma tarea pero en diferentes condiciones de trabajo, esto es, con tubo de remontado abierto o cerrado, con ventilación natural o forzada, con distinta duración y en diferentes estados del proceso de fermentación.

6.4.1.3.1 Maceración fondo plano con tubo de remontado abierto y cerrado

Previamente a la limpieza, y para evitar que el trabajador acceda al depósito cuando todavía pueden existir elevadas concentraciones de los gases procedentes de la reacción de fermentación, se realiza una aireación del mismo. En el caso de los depósitos de maceración de fondo plano, se recurre a un sistema de ventilación forzada para acelerar el proceso. Esta ventilación se mantiene también durante el posterior proceso de limpieza [138].

Para llevar a cabo esta ventilación, se introduce un conducto flexible a través del cual se fuerza la entrada de aire limpio desde el exterior. Asimismo, es necesario abrir la boca inferior del depósito —cerrada durante todo el proceso— que normalmente se encuentra obstruida por la presencia de madres. El trabajador debe retirarlas ayudándose de un rastrillo que permite abrir un canal hasta la parte libre de madres del depósito y garantizar el paso de la corriente de aire hacia el exterior.

Al contrario que en los depósitos de almacenamiento-fermentación de vino blanco en los que se utilizan capacidades muy diferentes, en los depósitos de maceración se suele trabajar con capacidades pequeñas, alrededor de 25.000 l. Esto es debido a que su limpieza requiere la extracción de madres de forma manual, por lo que a mayor capacidad del depósito, mayor cantidad de madres a retirar y dificultada del proceso.

En la Figura 6.28 y Figura 6.29 se presentan los resultados correspondientes a dos mediciones de las concentraciones de gases en la boca inferior de un depósito de maceración de fondo plano de tamaño típico (25.000 l).

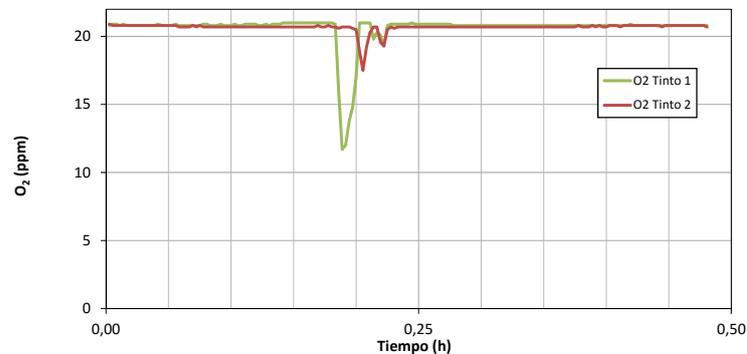


Figura 6.28. Concentración de O₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino tinto.

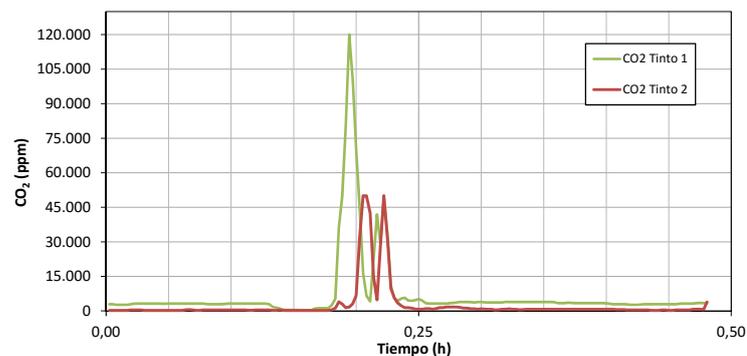


Figura 6.29. Concentración de CO₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino tinto.

Como puede apreciarse, existen importantes diferencias en las concentraciones máximas detectadas. Esto puede ser debido a que la retirada del caldo se realizó en una fase diferente de la fermentación —en algunos casos, los requerimientos del proceso de producción obligan al descube prematuro para liberar el depósito—. Esta temprana retirada provocó que las concentraciones de CO₂ en el depósito fueran más elevadas que en fases posteriores, y que se detectaran picos de mayor intensidad en la boca del depósito durante el proceso de aireación.

En las dos mediciones efectuadas, tal y como puede apreciarse en la Figura 6.28 y Figura 6.29, el periodo en el que se detectaron elevadas concentraciones fue muy reducido. Asimismo, el depósito se ventiló de forma rápida en los dos casos (15 minutos) [138]. Pese a la brevedad del periodo de ventilación, se alcanzaron niveles instantáneos de mucha intensidad, circunstancia que debe tenerse en cuenta al llevar a cabo la apertura del depósito.

A su vez, se detectaron picos intermitentes que pueden ser debidos a que las madres no forman una pasta compacta, sino que existen bolsas de gases ocluidas que se liberan a medida que se realiza el calado del depósito [140] [141] [142].

De los resultados anteriores puede deducirse que, transcurrido un periodo mínimo de 15-20 minutos, puede iniciarse la posterior tarea de limpieza en depósitos de la capacidad tipo evaluada. La Figura 6.30 muestra con detalle la tarea de limpieza.



Figura 6.30. Imágenes de limpieza de depósito de maceración de fondo plano.

Por otro lado, en el análisis general de tareas realizado en el apartado 6.2 se observó que las concentraciones de gases analizadas podían variar si el tubo de remontado de los depósitos se hallaba abierto o cerrado durante el proceso de fermentación, esto es, se registraron menores concentraciones debido a las pérdidas de emisiones causadas por la apertura del tubo de remontado. Partiendo de esta situación, resulta de interés valorar también en la tarea de limpieza de depósitos de maceración de fondo plano la situación del tubo de remontado abierto o cerrado.

Así, en la Figura 6.31 y Figura 6.32 se muestra la evolución de los distintos contaminantes detectados durante la realización de la tarea de limpieza de depósito de maceración con tubo de remontado abierto y cerrado.

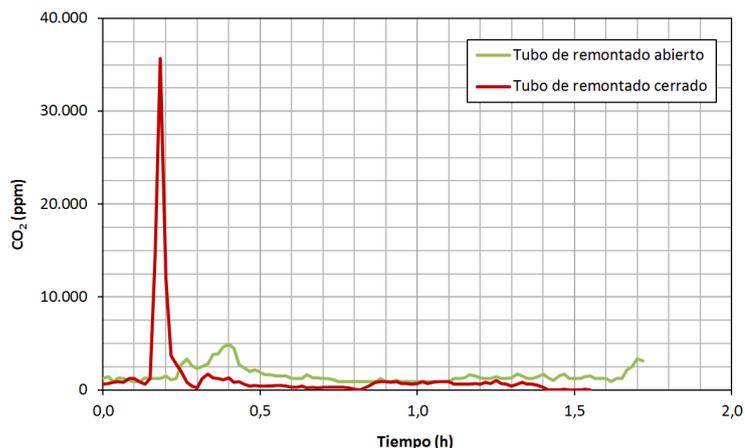


Figura 6.31. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto en depósitos de maceración.

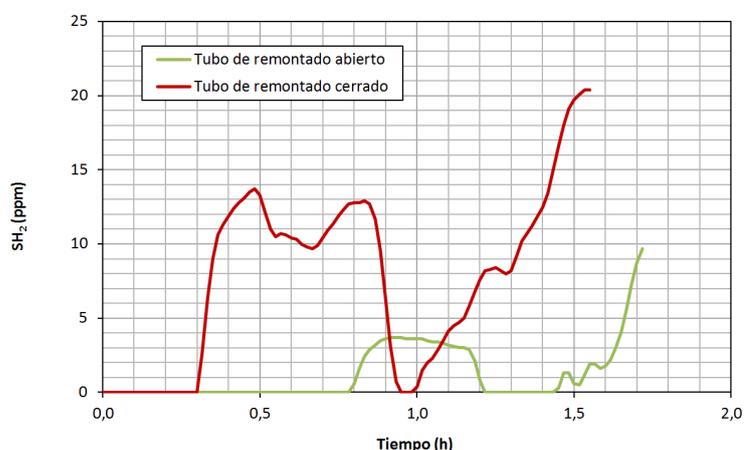


Figura 6.32. Comparación de concentración de SH₂ en tareas de limpieza de vino tinto en depósitos de maceración.

En la Tabla 6.19 se presentan los resultados obtenidos en cuanto a concentración y dosis recibida durante la ejecución de la tarea.

Tabla 6.19. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante la tarea de limpieza con tubo de remontado abierto y cerrado.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Tubo abierto	1,71	1.554,36	2.657,96	40.000
	Tubo cerrado	1,55	1.316,12	2.039,99	40.000
SH ₂	Tubo abierto	1,71	1,24	2,12	40
	Tubo cerrado	1,55	7,81	12,10	40

Aun teniendo las tareas analizadas una duración aproximada, los diferentes niveles de SH₂ observados indican estados muy diferentes dentro del proceso de fermentación en las situaciones analizadas. A consecuencia de lo anterior, se da una situación particular según la cual una elevada proporción de SH₂ se

correspondió con una concentración de CO₂ menor de la que se generaría si el proceso estuviera más avanzado. Este hecho explica que la concentración y dosis de CO₂ a la que el trabajador estuvo expuesto en ambos casos fuera del mismo orden de magnitud independientemente del estado del tubo de remontado.

Por tanto, queda clara la importancia de la apertura o no del tubo de remontado del depósito en lo referente a la exposición al CO₂, si bien es necesario para la correcta comparación de la dosis recibida que la reacción de fermentación se encuentre en la misma fase.

6.4.1.3.2 Maceración fondo plano con y sin ventilación previa

En la Figura 6.33 y Tabla 6.20 se exponen los resultados de la concentración y dosis de CO₂ recibida durante la tarea de limpieza de un depósito de maceración de 26.070 l con tubo de remontado cerrado y con el proceso de fermentación finalizado. La condición anterior deriva en que las concentraciones de SO₂ y SH₂ son cero.

Se analizó el nivel de CO₂ bajo dos premisas: en primer lugar, considerando que antes de la tarea de limpieza el depósito había ventilado durante 12 horas; y en segundo lugar, teniendo en cuenta que la limpieza se realizó inmediatamente después del descube, o lo que es lo mismo, sin ventilar previamente. En ninguno de los dos casos, se realizó el calado hasta el inicio de la tarea, si bien durante la realización de las mismas se empleó un sistema de ventilación forzada.

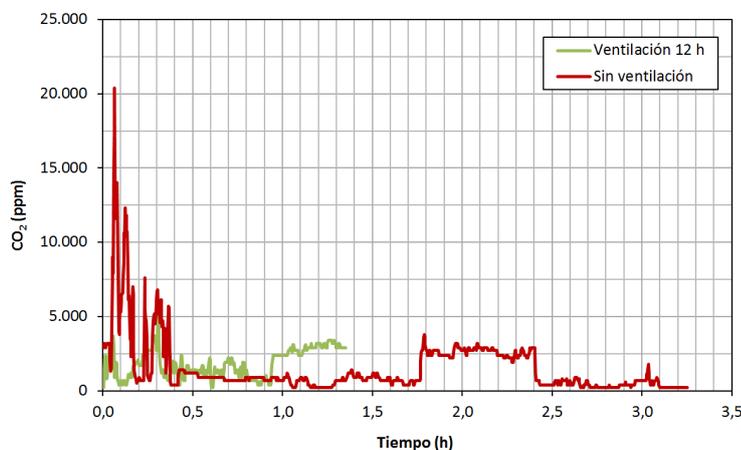


Figura 6.33. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto con y sin ventilación previa.

Tabla 6.20. Concentraciones y dosis de CO₂ durante la tarea de limpieza.

CO ₂	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
Ventilado 12 h	1,35	1.859,10	2.454,01	40.000
Sin ventilar	3,52	1.497,01	5.269,47	40.000

Los resultados obtenidos muestran que la ventilación previa no será efectiva si no se realiza el calado o apertura de la chimenea de aireación en las madres contenidas en el depósito. La concentración de CO₂ medida fue similar en ambos casos, mientras que la dosis aumentó significativamente en el caso sin ventilar como consecuencia de la mayor duración de la tarea.

Es preciso indicar que el distinto modo de proceder, en lo que a la secuencia de ventilación-limpieza se refiere, afectó considerablemente a la exposición del trabajador al contaminante —en este caso, CO₂—. Así, en el ensayo sin ventilación previa tiene lugar el solapamiento de la salida de los gases del interior del depósito con el inicio de la tarea de limpieza en sí, instante en el que se registran las mayores concentraciones. Esta circunstancia se traduce en mayores concentraciones y dosis recibidas durante la realización de la tarea de limpieza.

6.4.1.3.3 Maceración en depósito de fondo plano con tubo de remontado cerrado y diferente duración de la tarea.

Para analizar la influencia de la duración de la tarea de limpieza de depósitos de maceración de fondo plano, las mediciones se llevaron a cabo en depósitos recién descubados y con tubo de remontado cerrado.

Así, se seleccionaron depósitos sin ventilación previa ni calado de madres, en el mismo estado del proceso de fermentación —finalizada—, y en los que se empleó ventilación forzada durante la ejecución de la tarea de limpieza. Los diferentes tiempos empleados se debieron a factores tales como la compacidad de la masa de madres, paradas originadas por la necesidad de descansos en la ejecución de la tarea —considerables esfuerzos físicos dentro de un espacio confinado—, entre otros.

La primera medición se llevó a cabo durante un tiempo inferior a la totalidad de la tarea, si bien superior al 25% de la exposición, circunstancia exigida por la Norma UNE EN 689 [103].

En la Figura 6.34 se muestra la evolución de las situaciones evaluadas.

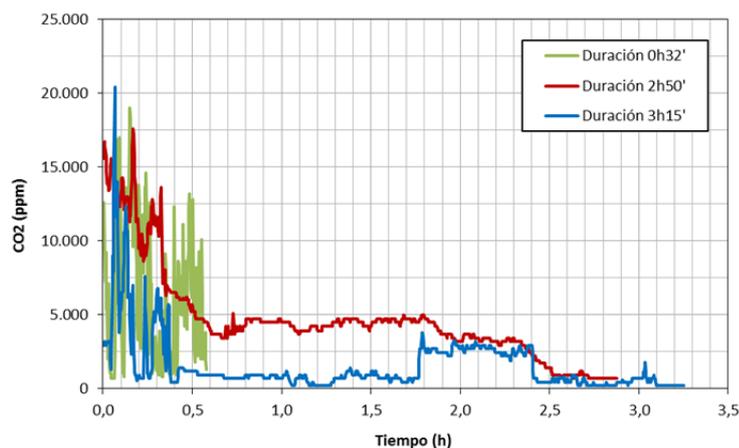


Figura 6.34. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto con distinta duración.

Como consecuencia de que el proceso de fermentación había concluido, se registraron concentraciones de SO₂ y SH₂ iguales a cero. En cambio, las concentraciones y dosis de CO₂ en cada caso se recogen en la Tabla 6.21.

Tabla 6.21. Concentraciones y dosis de CO₂ durante la tarea de limpieza con duraciones diferentes.

CO ₂	Tiempo de medición (h)	de Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
Duración 32'	0,57	6.375,48	3.634,02	40.000
Duración 2h50'	2,87	4.672,84	13.411,05	40.000
Duración 3h15'	3,25	1.497,01	4.865,28	40.000

En todas las situaciones analizadas, y una vez calado el depósito y conectado el sistema de ventilación forzada, la concentración de CO₂ durante la primera parte de la tarea de limpieza —alrededor de media hora— fue considerablemente más elevada que en el resto, como corroboran los resultados de concentración de CO₂ medidos en la primera de las tareas (25% de exposición). Esto es debido a la mayor densidad del CO₂ con respecto al aire, que origina que se ubique en las partes más bajas del depósito, hasta donde la masa de madres le permite. Una vez efectuado el calado y conectado el sistema de ventilación forzada, el CO₂ abandona el depósito de forma efectiva y rápida.

6.4.1.3.4 Ganimede con maceración fondo plano y ventilación natural

El aprovechamiento que hace el sistema Ganimede del CO₂ generado por la propia reacción de fermentación hace que, de forma general, no sea necesaria la ventilación forzada durante las tareas de limpieza de este tipo de depósitos. La ventilación natural previa a la limpieza es suficiente.

La evolución de la ventilación natural de este tipo depósitos se analizó en uno tipo que, como en el caso de los depósitos de maceración de fondo plano, tiene una capacidad de 25.000 l, aproximadamente.

La Figura 6.35, Figura 6.36 y Figura 6.37 muestran la evolución de dicha ventilación.

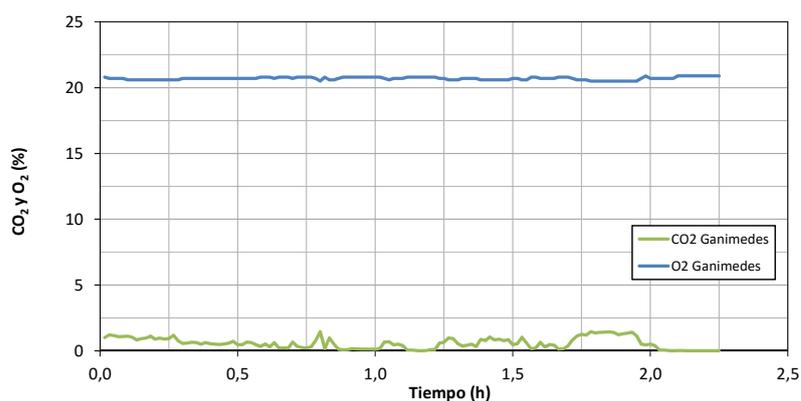


Figura 6.35. Concentración de O₂ y CO₂ durante la ventilación previa de un depósito de vino tinto Ganimede.

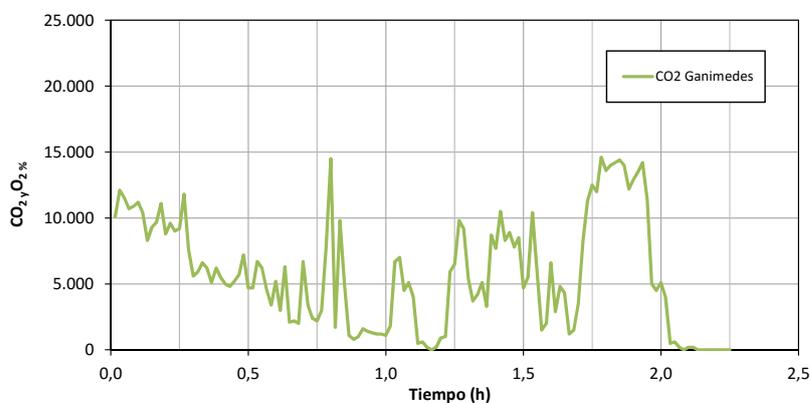


Figura 6.36. Concentración de CO₂ durante la ventilación previa de un depósito de vino tinto Ganimede.

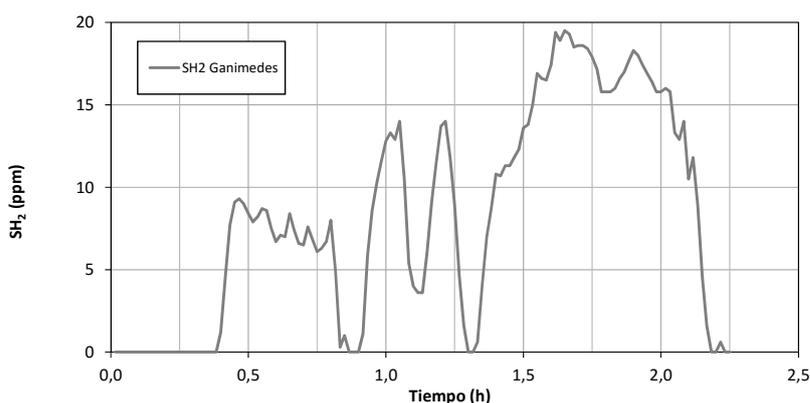


Figura 6.37. Concentración de SH₂ durante la ventilación previa de un depósito de vino tinto Ganimede.

Como puede observarse, la ventilación natural sin calado del depósito es eficaz tras el transcurso de unas dos horas, tiempo muy superior a los 15 minutos necesarios para ventilar un depósito de maceración de fondo plano con ventilación forzada.

Este tiempo es suficiente para que el CO₂ y el SH₂ abandonen el depósito por su boca inferior, en el mismo orden que en cualquier depósito de maceración, primero CO₂, situado en la parte que está en contacto con las madres, y posteriormente el SH₂.

La diferencia en los sistemas de ventilación utilizados en un sistema Ganimede y uno convencional o de maceración hace necesaria la comparación de ambas situaciones. Así, se llevó a cabo el análisis de la evolución de las concentraciones de los contaminantes generados.

En la Figura 6.38 se muestra una comparativa de la evolución de la concentración de CO₂ en las tareas de limpieza de un depósito de maceración de fondo plano sistema Ganimede —sin ventilación previa ni calado o chimenea de aireación y sin sistema de ventilación forzada durante la ejecución de la tarea— y de un depósito de maceración de fondo plano convencional —con ventilación previa ya calado y con ventilación forzada durante la realización de la tarea—, siendo en ambos casos la ventilación previa de 12 horas.

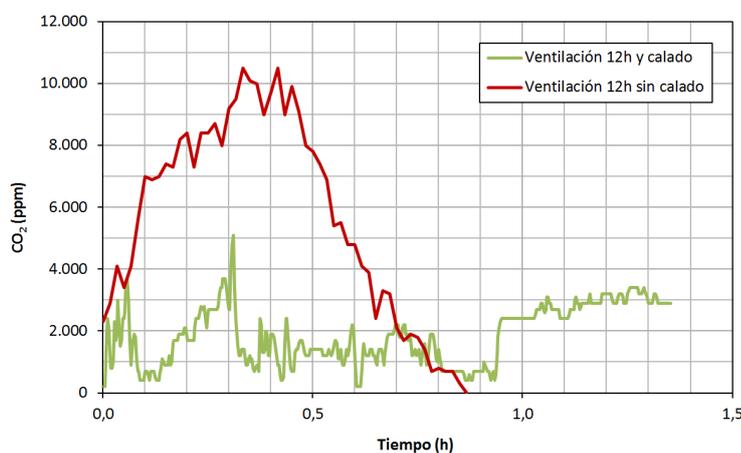


Figura 6.38. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto en depósitos de maceración en distintas condiciones de ventilación.

Los valores de la concentración y dosis recibida se muestran en la Tabla 6.22.

Tabla 6.22. Concentraciones y dosis de CO₂ durante la tarea de limpieza de un depósito Ganimede y uno convencional o de maceración.

CO ₂	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
Maceración ya calado	1,35	1.859,10	2.509,78	40.000
Ganimede sin calar	0,86	5.798,07	4.986,34	40.000

La ausencia de chimenea de aireación conlleva la presencia de altos niveles de CO₂ cuando se procede a la apertura de ésta, pese a haber permanecido abierta la boca inferior del depósito durante 12 horas. Una vez abierta la chimenea de aireación y pasado un determinado tiempo, no se detectaron niveles de CO₂ en el Ganimede —debido a que en este tipo de depósito se emplea el propio CO₂ generado para favorecer el

contacto con las madres y el caldo existente—, al contrario de lo que ocurrió en el depósito de maceración de fondo plano, donde no se aprovecha este CO_2 en el propio funcionamiento del depósito. En este último, el enjuague —parte final de la tarea— hace que sigan existiendo concentraciones de CO_2 al final de la misma, debido a que el gas situado en la parte baja del depósito asciende a la vez que entra el agua de limpieza.

Esta situación se repitió en todas aquellas limpiezas donde se produce la retirada de madres y posterior enjuague, alcanzándose finalmente niveles de CO_2 de 3.000 ppm, aproximadamente, dependiendo del caso. En ocasiones, es posible que el trabajador permanezca dentro del depósito después del enjuague por algún requerimiento en particular, lo que originaría niveles de concentración aún más bajos que los citados anteriormente, debido a la acumulación del gas en la parte inferior del depósito.

De este modo, los resultados corroboran claramente la efectividad de la chimena de aireación en la ventilación previa a la limpieza de un depósito de maceración, siendo por tanto la realización de esta tarea más segura cuando se realiza la ventilación previa con el depósito ya calado [138].

Finalmente y al igual que en los casos analizados anteriormente, la duración de la tarea condiciona la dosis recibida por el trabajador.

6.4.1.3.5 Maceración fondo plano, misma capacidad y distintos estados de fermentación

Cuando la reacción de fermentación no ha finalizado, se estará generando CO_2 . Mientras exista SH_2 , no se habrá generado todo el CO_2 correspondiente a la cantidad de uva contenida en el depósito. Sin embargo, cuando el proceso ha concluido, habrá más CO_2 retenido en el espacio cerrado y no se detectará SH_2 . Asimismo, hay que tener en cuenta que en los primeros momentos se ventila el CO_2 y después el SH_2 , ya que éste último es menos denso, y se sitúa por encima del CO_2 .

En la Figura 6.39 y Figura 6.40 se recoge la evolución de los gases generados en dos situaciones correspondientes a diferentes estados del proceso de fermentación. Las mediciones se efectuaron en depósitos similares y bajo las mismas condiciones —recién descubados— previas a la tarea de limpieza.

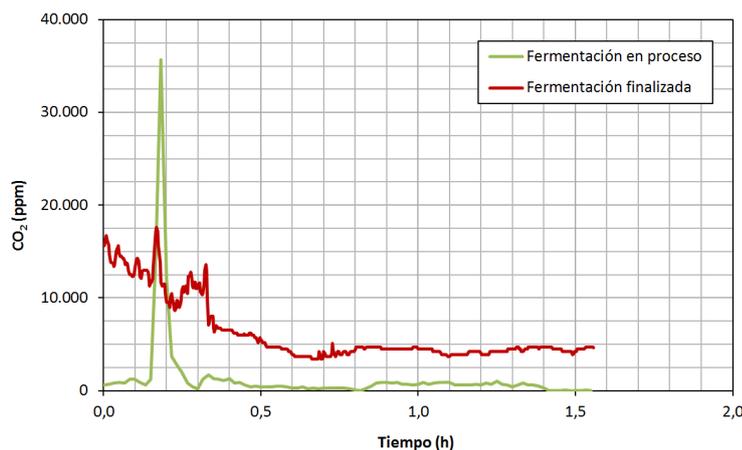


Figura 6.39. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto en distintos estados de fermentación.

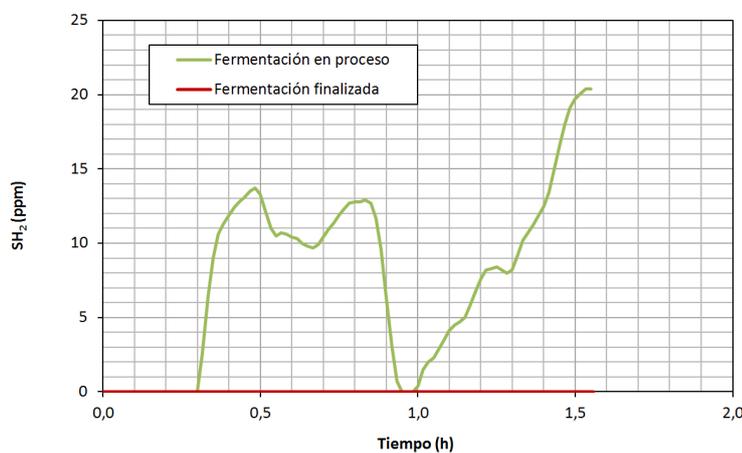


Figura 6.40. Comparación de concentración de SH₂ en tareas de limpieza de vino tinto en distintos estados de fermentación.

Las concentraciones y dosis aparecen recogidas en la Tabla 6.23.

Tabla 6.23. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante la tarea de limpieza de un depósito de maceración en distintos estados de fermentación.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	En proceso	1,55	1.316,12	2.039,98	40.000
	Finalizada	2,87	4.672,84	13.411,05	40.000
SH ₂	En proceso	1,55	7,81	12,10	40
	Finalizada	2,87	0	0	40

Los resultados obtenidos verifican las hipótesis planteadas. Los diferentes estados en la reacción de fermentación condicionan la generación de CO_2 y SH_2 . La limpieza realizada en un depósito de maceración donde no ha terminado la fermentación alcohólica— en proceso— arrojó menores valores de CO_2 y elevados niveles de SH_2 .

Por tanto, en condiciones idénticas de limpieza, a mayor concentración de CO_2 le corresponderá una menor concentración de SH_2 y viceversa.

6.4.1.4 Limpieza de depósitos subterráneos

En lo referente a la limpieza de depósitos subterráneos, habitualmente se procede mediante dos formas diferenciadas, en función de la necesidad o no del acceso del trabajador al interior del depósito. De forma periódica, cada uno o dos días en base a la producción de la bodega, se lleva a cabo el descube y posterior limpieza desde el exterior de los depósitos subterráneos destinados al vino prensa. Por otro lado, los depósitos empleados para el almacenamiento del caldo detinado a las industrias alcohólicas, se descubren y limpian al finalizar la campaña, requiriéndose por parte del trabajador —esta vez de forma obligatoria— el acceso al interior del espacio.

En consecuencia, en los siguientes apartados se muestran una comparativa entre distintas situaciones características relacionadas con la limpieza de depósitos subterráneos.

6.4.1.4.1 Limpieza desde exterior e interior

La limpieza desde el exterior se realiza habitualmente casi todos los días de campaña. Esta tarea consiste en un enjuague del depósito desde la boca superior del mismo y el posterior descube de los restos que han quedado en la parte baja del mismo mediante una bomba de aspiración.

Por otro lado, el final de la campaña conlleva la limpieza desde el interior de los depósitos subterráneos. Para la realización de esta tarea se procede al descube y ventilación del depósito. Esta ventilación se lleva a cabo instalando un sistema de ventilación forzada durante un día completo y dejando el depósito con ventilación natural durante toda la noche siguiente. Asimismo, el sistema de ventilación permanece activo durante la completa realización de la tarea.

La evolución de los resultados se muestran en la Figura 6.41.

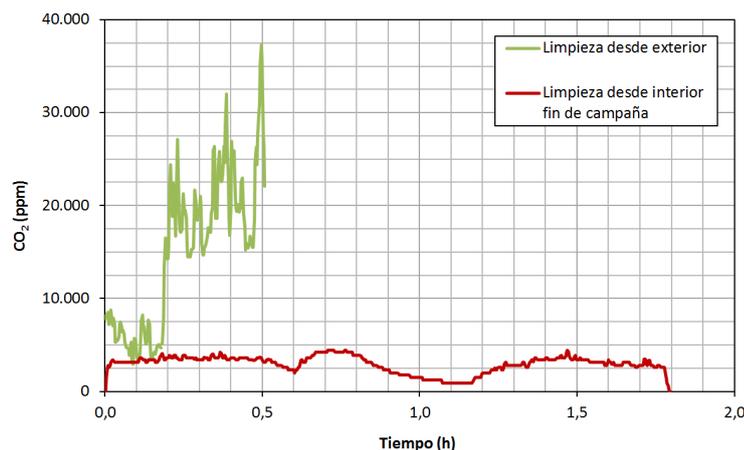


Figura 6.41. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto desde exterior e interior.

En la Tabla 6.24 se exponen los valores de la concentración y dosis recibida durante la limpieza de depósitos subterráneos desde el exterior y el posterior enjuague y durante la limpieza desde el interior al final de campaña.

Tabla 6.24. Concentraciones y dosis de CO₂ durante la tarea de limpieza de un depósito subterráneo desde exterior e interior.

CO ₂	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
Desde exterior y enjuague	0,5	15.030,03	7.515,01	40.000
Desde interior final de campaña	1,79	2.923,00	5.232,17	40.000

Al contrario de lo que pudiera pensarse en un principio, los resultados muestran que la concentración de CO₂ en la limpieza de depósitos subterráneos desde el exterior es muy superior a la registrada cuando se realiza la limpieza desde el interior. Esto es debido a dos factores: por un lado, a la entrada del agua de limpieza en el depósito subterráneo, la cual origina la salida del gas almacenado en el fondo del mismo, y por otro lado, a la aspiración mediante bombas de trasiego de las aguas generadas en el enjuague del depósito.

En cambio, cuando la limpieza se lleva a cabo desde el interior, la zona de respiración del trabajador se mantiene alejada de la zona que ocupa el CO₂ restante y que ocupa la parte baja del depósito. La incorporación de aire desde el exterior –sistema de ventilación activado– mantiene las concentración de este gas en un rango seguro para el trabajador que opera en el interior.

En ningún caso –limpieza desde el exterior o el interior– la dosis recibida se acerca al valor correspondiente a la dosis máxima permitida.

6.4.1.4.2 Limpieza desde interior en final de campaña

La limpieza desde el interior se lleva a cabo tras de un largo periodo de ventilación, alrededor de 28 horas, combinado la ventilación forzada durante la jornada de trabajo previa a la limpieza y la tarea en sí con la ventilación natural durante la noche.

La evolución de la ventilación del depósito viene reflejada en la Figura 6.42, Figura 6.43 y Figura 6.44.

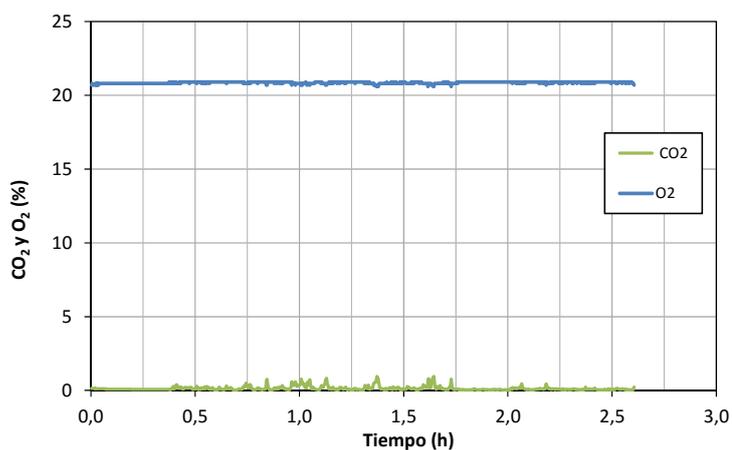


Figura 6.42. Concentración de O₂ y CO₂ durante la ventilación previa de un depósito subterráneo de vino tinto.

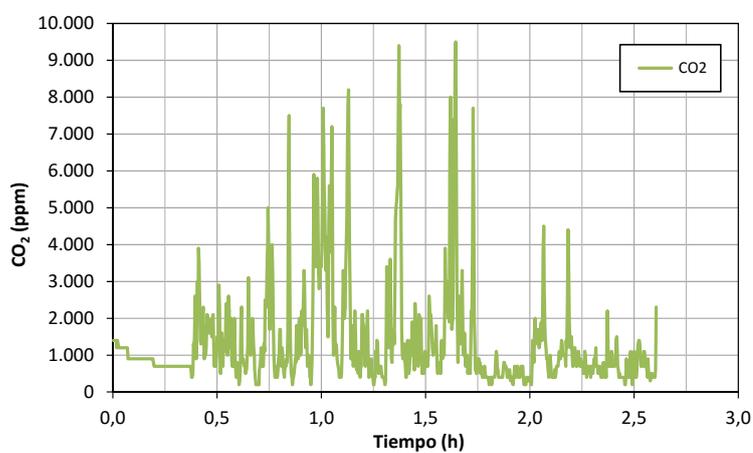


Figura 6.43. Concentración de CO₂ durante la ventilación previa de un depósito subterráneo de vino tinto.

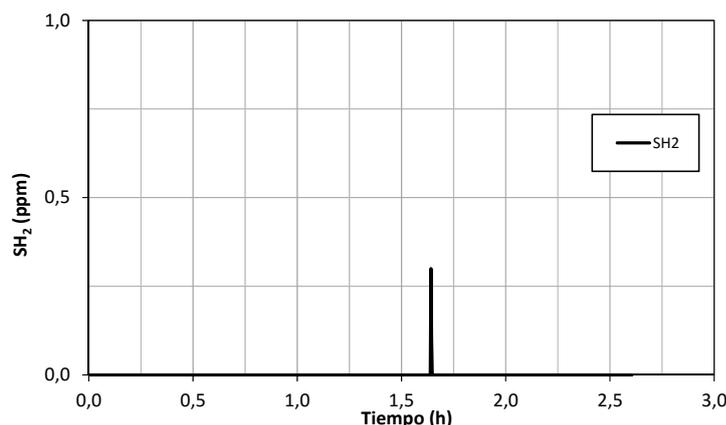


Figura 6.44. Concentración de SH₂ durante la ventilación previa de un depósito subterráneo de vino tinto.

Los resultados obtenidos a partir de la evolución de la ventilación efectuada previamente a la entrada del operario en el interior del depósito arrojaron valores de tiempo superiores a 2,5 horas para alcanzar niveles seguros de concentración de los contaminantes existentes.

Seguidamente, se analizó la tarea de limpieza propiamente dicha bajo el criterio de dos duraciones diferentes, reflejándose la evolución de las concentraciones en la Figura 6.45.

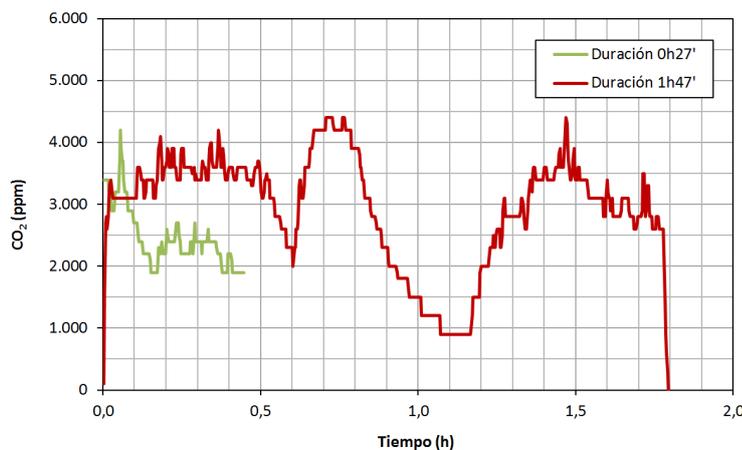


Figura 6.45. Comparación de concentración de CO₂ en tareas de limpieza de vino tinto con distinta duración.

La Figura 6.45 muestra la concentración de CO₂ para ambas tareas. Como puede apreciarse en el gráfico, el valor final medido en la tarea de mayor duración desciende hasta cero; esto es debido a que el equipo personal siguió midiendo cuando el trabajador salió del depósito, cosa que no ocurrió en la tarea de menor duración.

La Tabla 6.25 muestra los resultados obtenidos para distintas duraciones de la misma tarea de limpieza.

Tabla 6.25. Concentraciones y dosis de CO₂ durante la tarea de limpieza de un depósito subterráneo desde interior en final de campaña

CO ₂	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
Duración 1h 47'	1,79	2.923,06	5.232,27	40.000
Duración 0h 27'	0,44	2.458,38	1.081,68	40.000

Al igual que lo comentado para los depósitos de maceración de fondo plano, la mayor exposición del trabajador tuvo lugar al inicio de la tarea, obteniéndose valores próximos de concentración en ambos casos.

A su vez y bajo las mismas condiciones de limpieza, la concentración de CO₂ se mantuvo dentro de los mismos rangos. La dosis, sin embargo, al estar condicionada por la duración de la tarea, que a su vez obedece a una mayor cantidad de restos —generados en mayor o menor medida por la calidad del caldo almacenado— a retirar, sí experimentó una variación significativa en los dos casos analizados, siendo muy superior durante la limpieza con una duración más extensa.

6.4.1.5 Descube y limpieza de depósitos autovaciantes

En los depósitos autovaciantes, donde no se requiere el acceso del trabajador al interior del mismo para las tareas de limpieza, se analizaron de forma conjunta el descube (tareas de control), apertura de boca hombre y limpieza de estos depósitos.

En la figura Figura 6.46 se muestran distintas imágenes de la realización de esta tarea, apreciándose la entrada de parte del cuerpo del trabajador en el interior del depósito autovaciante para labores de asistencia al descube automático.



Figura 6.46. Imágenes de descube y limpieza de depósito autovaciante.

6.4.1.5.1 Descubre y limpieza de autovaciantes con tubo de remontado abierto y cerrado

Al igual que en los depósitos de maceración de fondo plano, se analizó la influencia del estado del tubo de remontado en el posterior descube, apertura boca hombre y limpieza de estos depósitos. En la Figura 6.47 se muestra la evolución de los gases analizados para estas dos situaciones.

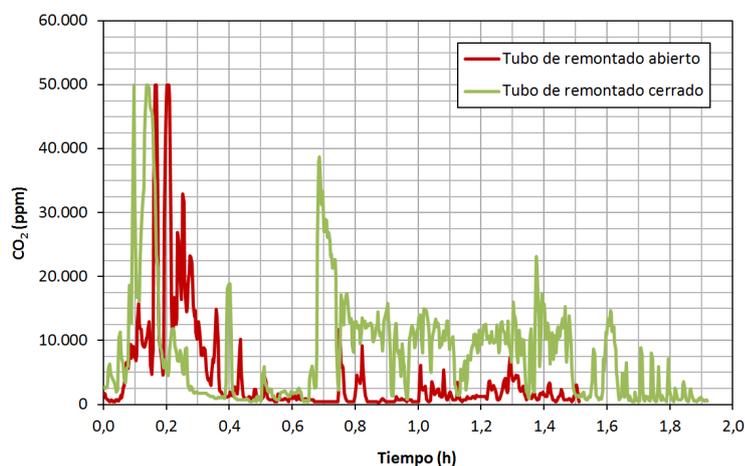


Figura 6.47. Comparación de concentraciones de CO₂ en tareas de limpieza de autovaciantes con tubos de remontado abierto y cerrado.

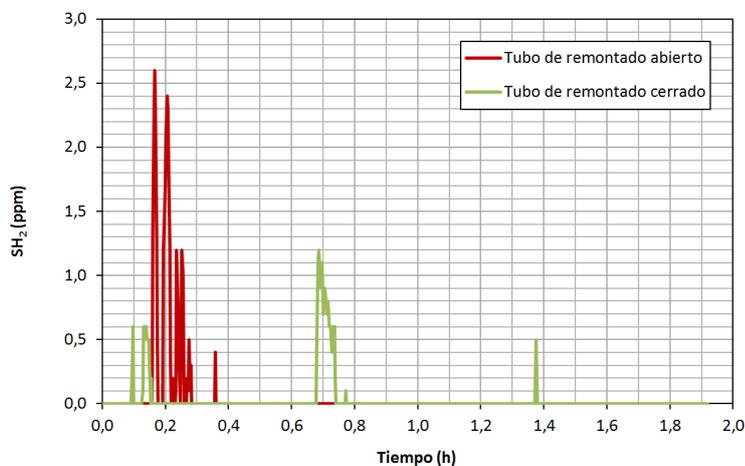


Figura 6.48. Comparación de concentraciones de SH₂ en tareas de limpieza de autovaciantes con tubos de remontado abierto y cerrado.

Los resultados de concentraciones y dosis recibidas apareceren en la Tabla 6.26.

Tabla 6.26. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante el descube y limpieza de autovaciantes.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Tubo abierto	1,51	4.273,52	6.452,98	40.000
	Tubo cerrado	1,91	8.092,1	15.455,91	40.000
SH ₂	Tubo abierto	1,51	0,06	0,09	40
	Tubo cerrado	1,91	0,03	0,06	40

El mantenimiento de un tubo de remontado abierto en un depósito autovaciante disminuye la exposición a CO₂ durante la tarea de descube, apertura de puertas y limpieza. La influencia de este factor aportó los mismos resultados que cuando se trata de un depósito de maceración de fondo plano.

Al igual que en otros casos comentados con anterioridad, las dosis de SH₂ dependieron del estado de la fermentación y de duración de la tarea, y en ningún caso del estado del tubo de remontado, dado que la densidad de este contaminante no es lo suficientemente alta para que abandone el depósito autovaciante por esta vía.

De este modo, la limpieza de depósitos autovaciantes, aun no requiriendo la incorporación del trabajador al interior del depósito, supone la recepción de dosis elevadas de gases contaminantes por inhalación.

6.4.1.5.2 Descube y limpieza de autovaciantes en situaciones más y menos favorables

Una vez verificado en el apartado anterior que las exposiciones a CO₂ son menos elevadas cuando el tubo de remontado del depósito permanece abierto durante el proceso de fermentación, se analizaron dos nuevas situaciones en las que influye este factor. Así, se definió una situación favorable, bajo las condiciones de zona ventilada y tubo de remontado abierto, y otra menos favorable, caracterizada por estar instalado el depósito en una zona sin ventilación y con el tubo de remontado cerrado.

En ambas situaciones, se tomaron medidas de concentración durante el descube y limpieza correspondientes a 6 autovaciantes.

La Figura 6.49 y Figura 6.50 muestran la evolución de la exposición a los gases existentes en esta tarea de limpieza y bajo las dos situaciones valoradas.

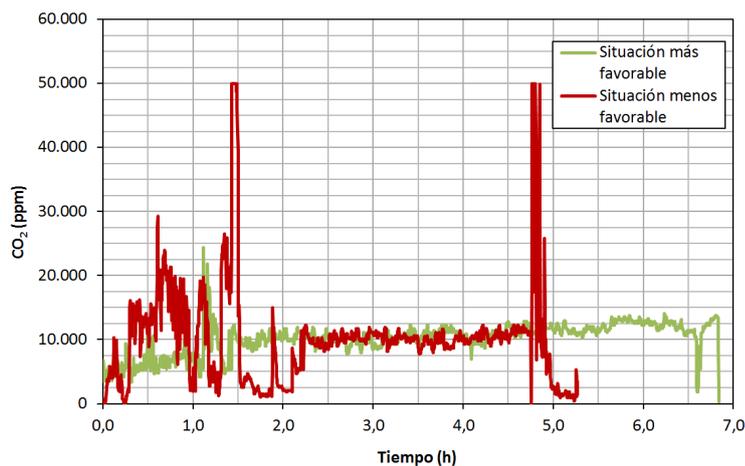


Figura 6.49. Comparación de concentraciones de CO₂ en tareas de limpieza de 6 autovaciantes en situaciones más y menos favorables.

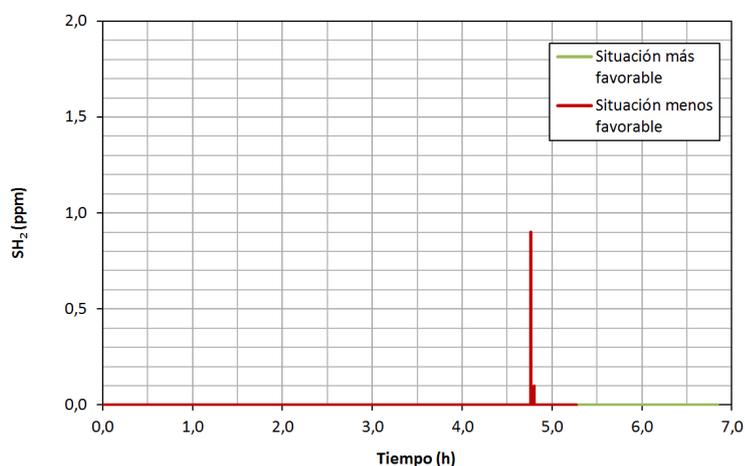


Figura 6.50. Comparación de concentraciones de SH₂ en tareas de limpieza de 6 autovaciantes en situaciones más y menos favorables.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.27.

Tabla 6.27. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante el descube y limpieza de 6 autovaciantes en situaciones más y menos favorables.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Más favorable	6,83	10.117,3	69.101,1	40.000
	Menos favorable	5,26	9.937,1	52.269,1	40.000
SH ₂	Más favorable	6,83	0	0	40
	Menos favorable	5,26	0,0005	0,0026	40

Los resultados confirmaron que aun estando en la situación considerada de entrada más favorable, la dosis de CO₂ recibida por un trabajador que cubriera esta tarea en su totalidad estaría por encima del límite

permitido para las 8 horas de jornada laboral completa, llegando a alcanzarse niveles de 50.000 ppm (rango admisible del equipo). Esta situación inaceptable obligaría a restringir el tiempo de exposición mediante turnos de trabajo o descansos si se tratara de un único trabajador que permaneciera en la zona de forma continuada.

Las concentraciones de SH_2 fueron insignificantes, confirmando que la fermentación en ambas situaciones evaluadas estaba prácticamente finalizada.

6.4.1.5.3 Descube y limpieza de autovaciantes en situaciones de atasco

Seguidamente y continuando con el análisis de las tareas de descube y limpieza de depósitos autovaciantes, se llevó a cabo un estudio en una instalación con mayor número de autovaciantes y manteniendo el sistema de remontado cerrado, considerando también una mayor o menor ventilación en la zona donde se hallan ubicados los autovaciantes. Asimismo, es preciso tener en cuenta la posibilidad de que se produzcan atascos en este tipo de depósitos, situación justificada dada su elevada frecuencia en el normal funcionamiento de una bodega durante el periodo de estudio.

De este modo, se consideraron de nuevo dos situaciones: una, en la que los depósitos autovaciantes se encuentran instalados en una zona correctamente ventilada —situación más favorable— pero donde se producen atascos y descargas bruscas durante la tarea, y otra, con una ventilación natural menos efectiva —situación menos favorable— pero en la que no se produjeron atascos durante el desarrollo de la tarea.

La Figura 6.51 y Figura 6.52 muestran la evolución de las concentraciones de los dos gases existentes.

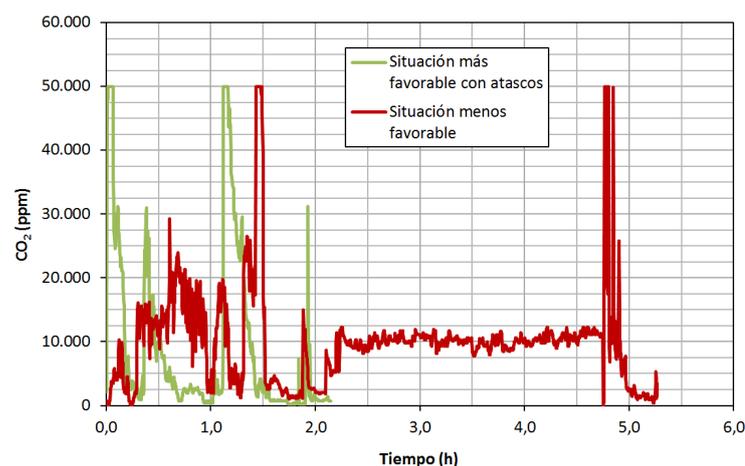


Figura 6.51. Comparación de concentraciones de CO_2 en tareas de limpieza y descube de autovaciantes en situación de ventilación más favorable con atascos y ventilación menos favorable sin atascos.

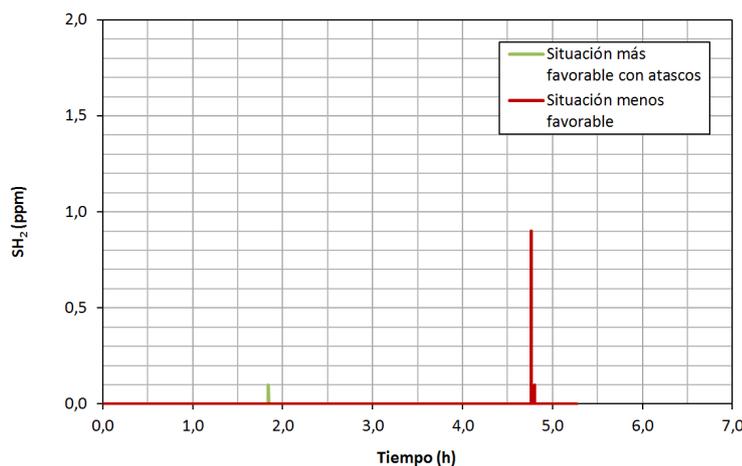


Figura 6.52. Comparación de concentraciones de SH₂ en tareas de limpieza y descube de autovaciantes en situación de ventilación más favorable con atascos y ventilación menos favorable sin atascos.

Aun en el caso de una ventilación más favorable, los resultados obtenidos evidenciaron el aumento de la exposición a CO₂ cuando se producen las descargas bruscas de las madres durante el descube y limpieza del depósito. Asimismo, no se presentan valores de SO₂.

Los valores determinados vienen reflejados en la Tabla 6.28.

Tabla 6.28. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ en tareas de limpieza y descube de autovaciantes en situación de ventilación más favorable con atascos y ventilación menos favorable sin atascos.

	Situación	Tiempo de medición (h)	de Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Más favorable con atascos	2,14	9.237,56	19.768,20	40.000
	Menos favorable	5,26	9.937,11	52.269,10	40.000
SH ₂	Más favorable con atascos	2,14	0,0001	0,0002	40
	Menos favorable	5,26	0,0005	0,00263	40

Así, la situación de ventilación menos favorable presentó dosis de CO₂ por encima del límite permitido. Este hecho revela la influencia positiva de una correcta ventilación de las instalaciones durante las tareas de descube y limpieza de depósitos autovaciantes aun en presencia de atascos.

Al igual que en el caso anterior, esta tarea resulta más peligrosa para la salud del trabajador, pese a no tener que acceder al interior de ningún depósito, siendo necesaria la aplicación de las mismas medidas correctoras comentadas en el apartado anterior.

6.4.2 Tareas características en la elaboración de vino blanco

Una vez concluido el análisis de las tareas más características desarrolladas en la elaboración de vino tinto, seguidamente se muestra el estudio efectuado para las distintas condiciones de ejecución de las tareas de limpieza de depósitos de almacenamiento de fondo plano donde fermenta el caldo blanco.

En el caso de las tareas analizadas bajo distintas premisas, se ha optado por representarlas de forma conjunta para facilitar su comparación, calculándose el valor correspondiente a las dosis de contaminantes recibidas por el trabajador.

Así, una vez descubado el depósito quedan en el fondo del mismo los barro o lías, los cuales deben ser retirados para su limpieza. Esta retirada exige al trabajador el acceso al interior del depósito, ya que deben ser arrastradas para forzar su salida a través de un orificio dispuesto para tal fin.

La Figura 6.53 muestra distintas imágenes de las operaciones que componen el proceso de limpieza de un depósito de almacenamiento-fermentación de vino blanco.

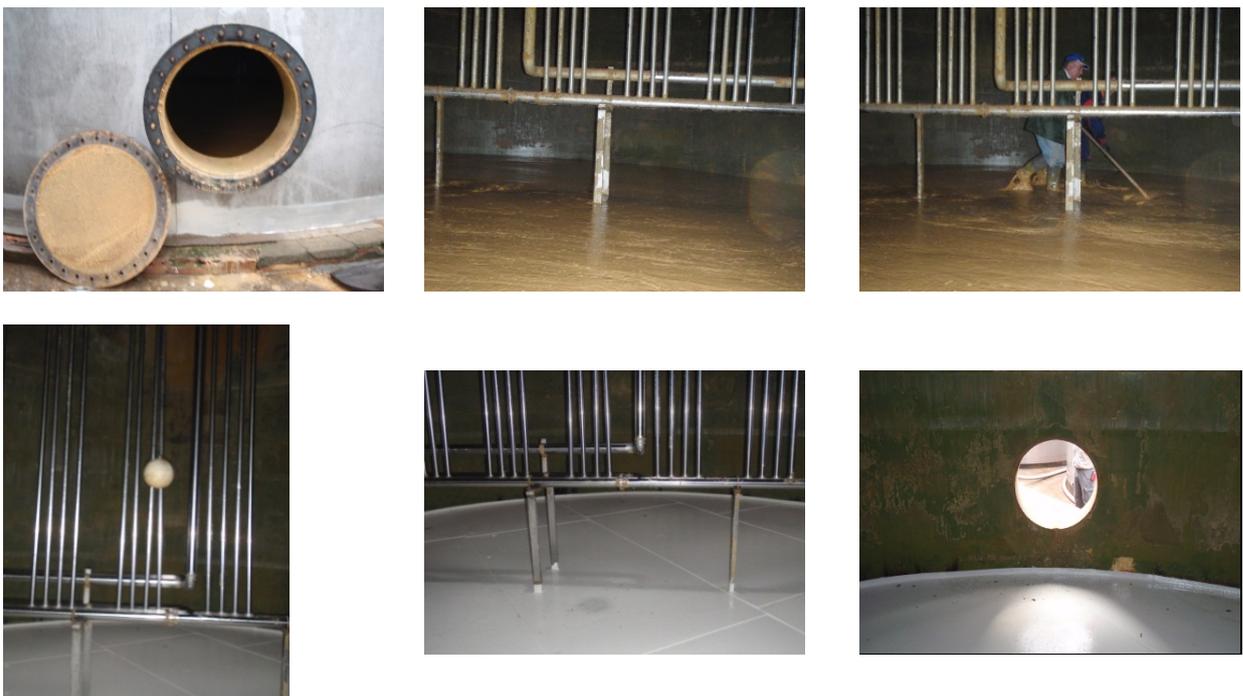


Figura 6.53. Tareas de limpieza en depósitos de almacenamiento donde se produce la fermentación del vino blanco.

Previa a la entrada del trabajador, se realiza la ventilación del depósito —que en este caso es una ventilación natural—, sin ayuda de elementos mecánicos que fueren la aireación del depósito. Esto se consigue abriendo la boca inferior del depósito, originándose así una corriente de aire, ya que la boca superior de estos depósitos permanece abierta durante todo el proceso. De este modo, durante la tarea de limpieza no se utiliza ventilación forzada.

Estos depósitos de almacenamiento-fermentación disponen de capacidades muy diferentes que van desde 250.000 l a 1.000.000 l. Para el análisis de la ventilación, las mediciones se realizaron en depósitos con una capacidad media de 400.000 l, mostrándose los resultados en la Figura 6.54 y Figura 6.55.

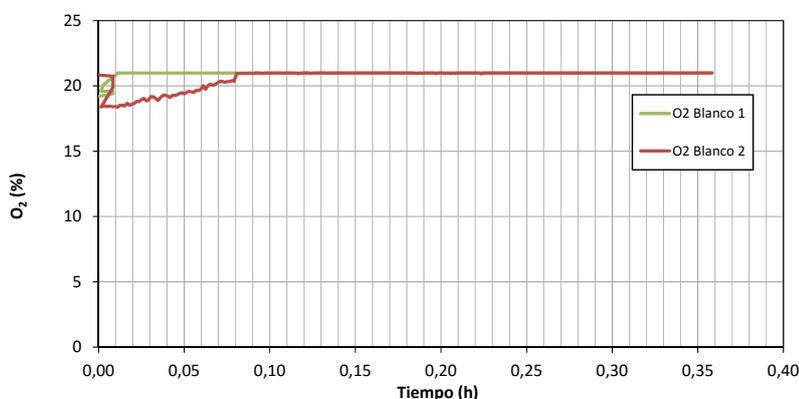


Figura 6.54. Concentraciones de O₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino blanco.

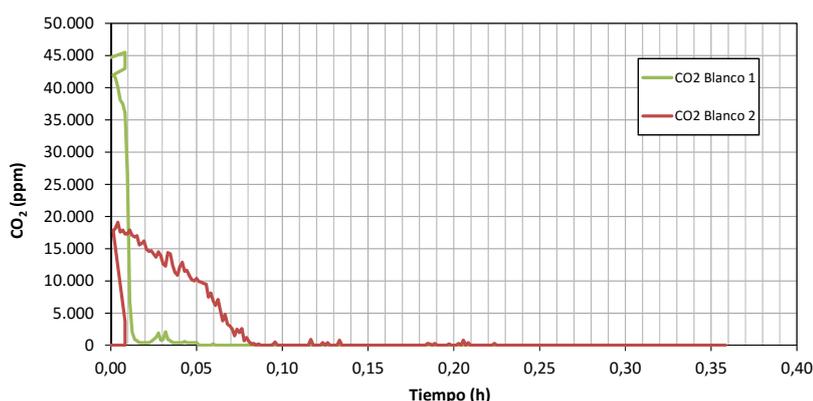


Figura 6.55. Concentraciones de CO₂ durante la ventilación previa de dos depósitos de vino blanco.

Como puede apreciarse, la evolución de la ventilación en los dos depósitos fue similar, con ligeras diferencias en los valores de las concentraciones iniciales. En ambos casos, fue suficiente el transcurso de pocos minutos para que en la boca inferior del depósito las concentraciones medidas alcanzasen valores normales, esto es, concentraciones de oxígeno en torno al 21% y prácticamente nulas de CO₂.

Dado que los dos depósitos están situados en la zona exterior de las instalaciones, la diferencia en cuanto a los tiempos de ventilación puede ser debida a que hayan existido condiciones ambientales singulares (presión, velocidad del viento, etc.), que originaran una aireación más o menos rápida.

En todo caso, se puso de manifiesto que en un breve espacio de tiempo —alrededor de 6 minutos—, se consigue una aireación del depósito en la cota correspondiente a la boca, pudiendo existir concentraciones de CO₂ más elevadas en el fondo del depósito. Hay que destacar que el trabajador permanece de pie durante

el desarrollo de la tarea. La valoración se realiza en la zona de respiración del trabajador, tal y como marca la norma UNE-EN 689.

Una vez ventilado, se puede proceder a la limpieza, si bien los depósitos suelen permanecer abiertos durante mucho más tiempo del necesario para la ventilación. Sin embargo, por ser el CO₂ más denso que el aire, la ampliación del periodo de ventilación no reduce la concentración de este gas en el fondo del depósito, al encontrarse por debajo de la cota de la boca inferior, siendo esta circunstancia la que impide la salida del mismo.

En los siguientes apartados se muestra el análisis de distintas opciones de ejecución de las tareas de limpieza de depósitos de almacenamiento de fondo plano donde fermenta el caldo blanco.

6.4.2.1 Limpieza de depósitos de almacenamiento de diferentes capacidades

En el presente epígrafe se recogen las diferencias en la realización de la tarea de limpieza en depósitos de diferentes capacidades. En todos los casos se realizó una ventilación natural del depósito mediante la apertura de la boca hombre, originándose una corriente o chimenea de aireación, ya que la boca superior está siempre abierta y no existe ninguna masa en su interior que se interponga entre ambas. De este modo, se seleccionaron tres capacidades diferentes: 1.000.000 l, 405.000 l y 260.000 l.

En la Figura 6.56, Figura 6.57 y Figura 6.58 se muestran las evoluciones de los gases existentes y la comparativa en función de las distintas capacidades.

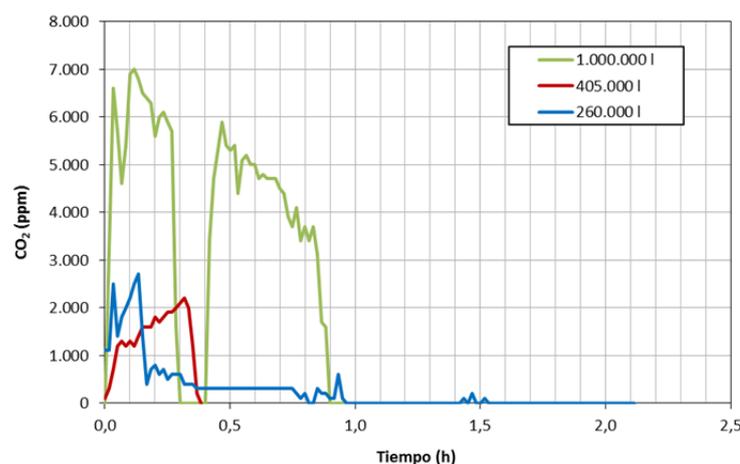


Figura 6.56. Comparación de concentraciones de CO₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.

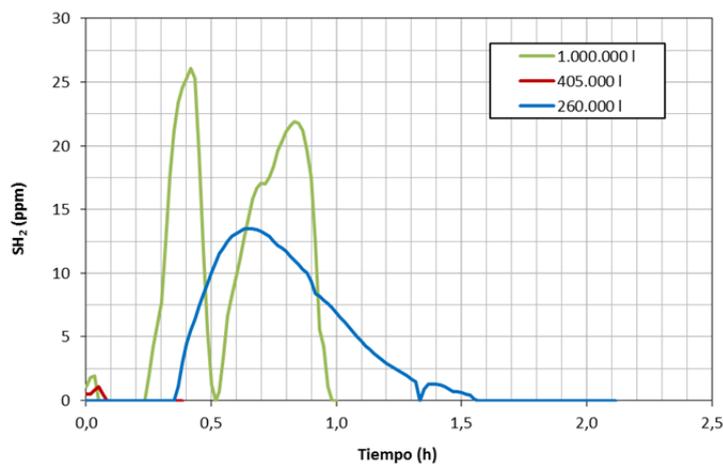


Figura 6.57. Comparación de concentraciones de SH₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.

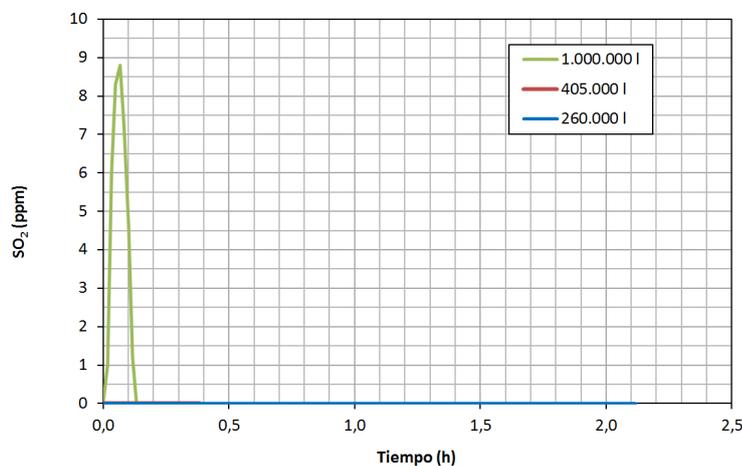


Figura 6.58. Comparación de concentraciones de SO₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6.29.

Tabla 6.29. Concentraciones y dosis de CO₂, SO₂ y SH₂ durante la limpieza de vino blanco en depósitos de distintas capacidades.

	Capacidad (l)	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida ppm)
CO ₂	1.000.000	0,88	4.143,39	3.646,18	40.000
	405.000	0,40	1.345,83	538,33	40.000
	260.000	2,13	274,21	584,06	40.000
SH ₂	1.000.000	0,88	10,47	9,21	40
	405.000	0,40	0,14	0,05	40
	260.000	2,13	3,69	7,85	40
SO ₂	1.000.000	0,88	0,70	0,616	4
	405.000	0,40	0,00	0	4
	260.000	2,13	0,00	0	4

La concentración del CO₂ depende de la capacidad de los depósitos analizados: a una mayor capacidad se genera una mayor concentración de CO₂ durante la reacción de fermentación. También puede apreciarse que, aunque los depósitos estén previamente ventilados, la retirada de las lías provoca incrementos de la concentración de CO₂, si bien éstos niveles no llegan a ser problemáticos.

Con respecto a la concentración de los gases SH₂ y SO₂, y al igual que se apuntó para la elaboración de vino tinto, los valores obtenidos dependen de la fase en la que se encuentre el proceso de fermentación, esto es, a mayor concentración de SO₂ le corresponde una menor concentración de SH₂.

Debido a la diferente densidad entre los gases analizados, se ventilará de forma más rápida el CO₂, necesiándose un poco más de tiempo para la ventilación del SH₂ y el SO₂. Estos últimos no siempre están presentes, ya que si el proceso de fermentación está terminando, sólo estará presente el CO₂ generado durante el mismo [138].

Por otro lado, los resultados ponen de manifiesto que las concentraciones y dosis recibidas en las tareas de limpieza de depósitos de fermentación-almacenamiento de vino blanco presentan niveles de exposición mucho menos elevados que los obtenidos que durante las tareas de limpieza de depósitos de vino tinto, donde el proceso de fermentación se realiza en contacto con la masa de uva o madres.

Dado que la cantidad de barros o lías almacenados en el fondo de los depósitos viene determinada por la capacidad de los mismos y el número de trasiegos realizados, este parámetro condiciona la duración de la tarea y la consecuente determinación de la dosis recibida por el trabajador [139].

6.4.2.2 Limpieza de depósitos de almacenamiento con la misma capacidad y diferentes tiempos de ventilación

En la Figura 6.59 y Figura 6.60 se muestra la evolución de los gases existentes durante la tarea de limpieza de un depósito de 400.000 l de vino blanco bajo diferentes tiempos de ventilación previa.

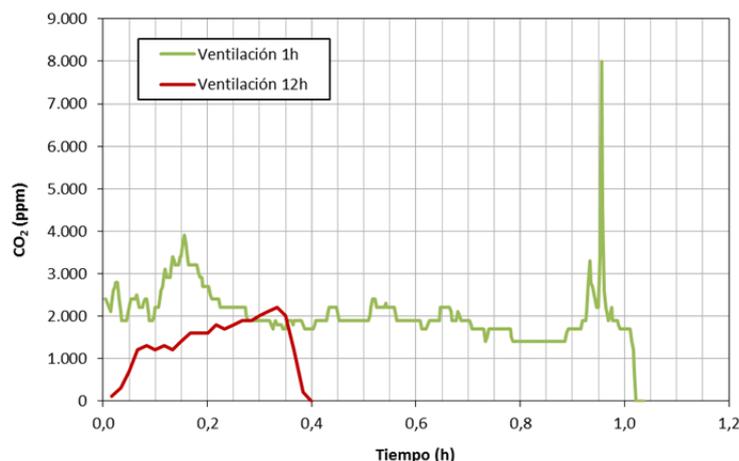


Figura 6.59. Comparación de concentraciones de CO₂ en tareas de limpieza de vino blanco con distinta ventilación.

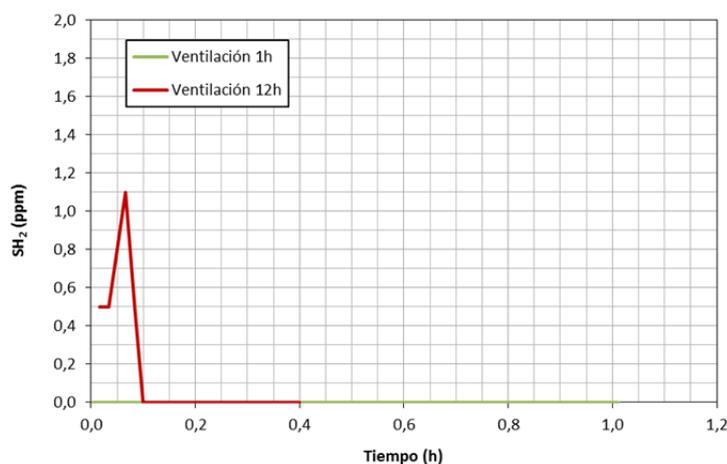


Figura 6.60. Comparación de concentraciones de SH₂ en tareas de limpieza de vino blanco con distinta ventilación.

Independientemente de los resultados obtenidos para la ventilación natural de un depósito de almacenamiento de vino blanco —que habitualmente arrojan tiempos aproximados de 6 minutos para depósitos de una capacidad de 400.000 l hasta que se alcanzan valores correctos de emisiones—, al comenzar la tarea de limpieza propiamente dicha y remover los barroes para su eliminación a través del desagüe del depósito se produce un incremento en la concentración de los gases medidos, como ya se observó en los gráficos anteriores.

Asimismo, las condiciones de partida fueron diferentes en los casos analizados. En el primero, en el que la ventilación duró 1 hora, la concentración de CO₂ partió de niveles próximos a 2.500 ppm; en cambio, en el depósito que permaneció abierto 12 horas, los valores iniciales fueron prácticamente nulos.

Este hecho contrasta con lo observado con anterioridad, esto es, que una ventilación de mayor duración proporciona menores niveles de CO₂. Esto será así siempre y cuando la cota a la que permanecen los gases —justo por encima del nivel del líquido—, esté próxima a la boca inferior del depósito, siendo ésta la única vía de escape para los gases almacenados en el interior.

En caso contrario —como se observó en el depósito ventilado durante 12 horas— y aun siendo muy extenso el periodo de ventilación, los gases no tuvieron acceso a la salida por estar situados en una cota inferior a ésta [139].

Los datos obtenidos se recogen en la Tabla 6.30.

Tabla 6.30. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante la limpieza de vino blanco con distinta ventilación.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Ventilado 1 h	1,01	2.062,91	2.083,53	40.000
	Ventilado 12 h	0,40	1.345,83	538,33	40.000
SH ₂	Ventilado 1 h	1,01	0,00	0	40
	Ventilado 12 h	0,40	0,14	0,05	40

6.4.2.3 Limpieza de depósitos de almacenamiento con la misma ventilación y diferentes capacidades

La Figura 6.61 y Figura 6.62 recogen la evolución de los gases en los casos analizados para depósitos con el mismo nivel de ventilación y diferente capacidad.

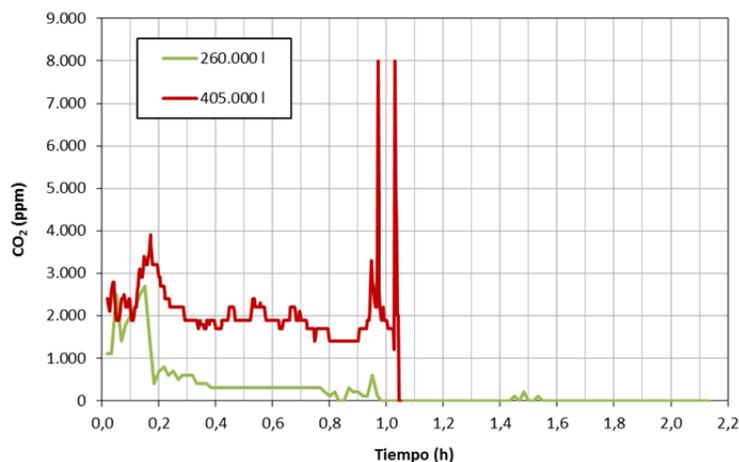


Figura 6.61. Comparación de concentraciones de CO₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de diferente capacidad y misma ventilación.

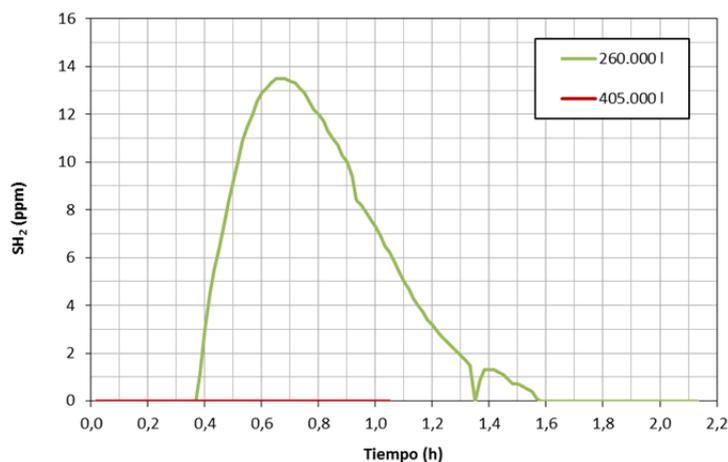


Figura 6.62. Comparación de concentraciones de SH₂ en tareas de limpieza de vino blanco en depósitos de diferente capacidad y misma ventilación.

A la vista de las gráficas puede afirmarse que una situación de ventilación similar origina valores de concentración de CO₂ iniciales distintos de cero, que además vienen condicionados por la capacidad del depósito y por el estado del proceso de fermentación del vino, como puede apreciarse por la ausencia de SH₂ en el depósito de 405.000 litros.

Los resultados obtenidos vienen reflejados en la Tabla 6.31.

Tabla 6.31. Concentraciones y dosis de CO₂ y SH₂ durante la limpieza de vino blanco en depósitos de diferente capacidad y misma ventilación.

	Capacidad (l)	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	260.000	2,13	274,21	584,06	40.000
	405.000	1,01	2.062,91	2.083,50	40.000
SH ₂	260.000	2,13	3,69	7,85	40
	405.000	1,01	0,00	0	40

De este modo y para las mismas condiciones de ventilación, una mayor capacidad del depósito implica una mayor concentración de CO₂, circunstancia que también fue observada en la elaboración de vino tino — maceración fondo plano y autovaciante—.

6.4.3 Tarea característica en la elaboración de mosto

Se ha considerado como tarea característica en la elaboración del mosto la correspondiente a la incorporación de SO₂ en el caldo para evitar el comienzo de la fermentación y conseguir así mosto en lugar de vino como producto final.

Esta medición se llevó a cabo con un equipo de medición directa fijo, situado en la boca superior del depósito destinado a la elaboración del mosto. La evolución de la exposición a CO₂ y SO₂ viene representada en la Figura 6.63 y Figura 6.64.

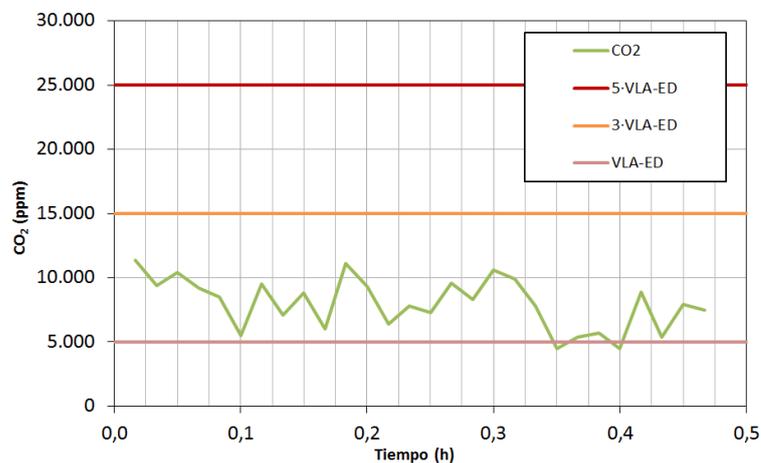


Figura 6.63. Concentración de CO₂ durante la incorporación de SO₂ al proceso.

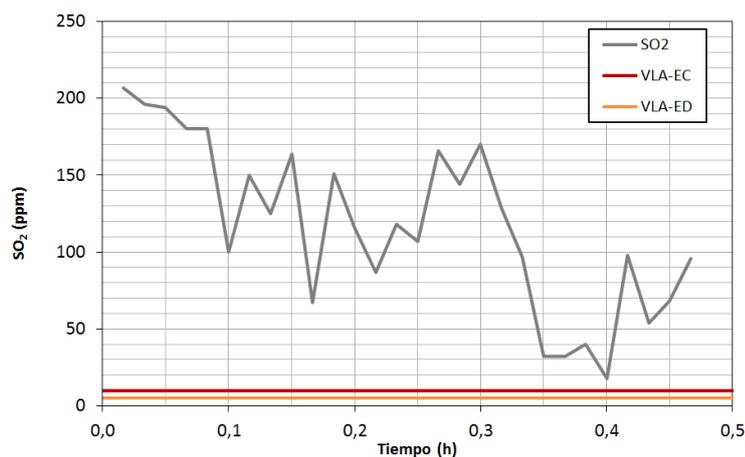


Figura 6.64. Concentración de SO_2 durante la incorporación de SO_2 al proceso.

Los niveles de concentración de CO_2 permanecieron por debajo del límite de desviación para 30 minutos, por lo que la situación puede considerarse aceptable siempre y cuando no se supere el citado tiempo de exposición.

En cuanto a la exposición al SO_2 y dada la singularidad de la tarea —incorporación de grandes cantidades de este gas al proceso— los resultados obtenidos evidenciaron que existen elevadas proporciones de SO_2 en la boca superior del depósito, consecuencia inherente a la tarea en sí, superándose del orden de 20 veces el valor techo del contaminante (10 ppm). En estas condiciones, el trabajador debe evitar situarse en las proximidades del foco de emisión —entendiéndose como tal la boca superior del depósito—, pudiéndose realizar las tareas de control sin mayor problema añadido.

6.4.4 Tareas auxiliares en las proximidades a bocas de depósito

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos para distintas tareas auxiliares que se llevan a cabo habitualmente en la elaboración de los distintos tipos de vino. Se trata de tareas o labores inherentes al propio proceso productivo, que se desarrollan en emplazamientos o focos de emisión con alta generación de contaminantes.

De este modo, a lo largo del proceso de fermentación puede ser necesario el acceso al foco para diversas tareas de control. Para ello, se llevaron a cabo mediciones fijas durante intervalos cortos de tiempo en la boca de diversos depósitos y bajo condiciones distintas, con objeto de valorar el riesgo añadido para el trabajador que opera próximo a los focos de emisión considerados.

6.4.4.1 Incorporación de SO₂

En todo proceso de elaboración de vino, independientemente del tipo del que se trate, se requiere la incorporación de determinadas cantidades de SO₂ para los fines recogidos en el capítulo de descripción del proceso de elaboración del vino.

Las cantidades a incorporar difieren notablemente de las aportadas en el proceso de elaboración del mosto, siendo éstas últimas muy superiores con objeto de que no se inicie la fermentación del caldo.

La Figura 6.65 muestra la evolución de las concentraciones de SO₂ para tres casos diferentes de elaboración de vino tinto y blanco blanco, habiéndose medido en la boca del depósito correspondiente. Asimismo, se han representado los valores límite del contaminante reflejados en la normativa consultada.

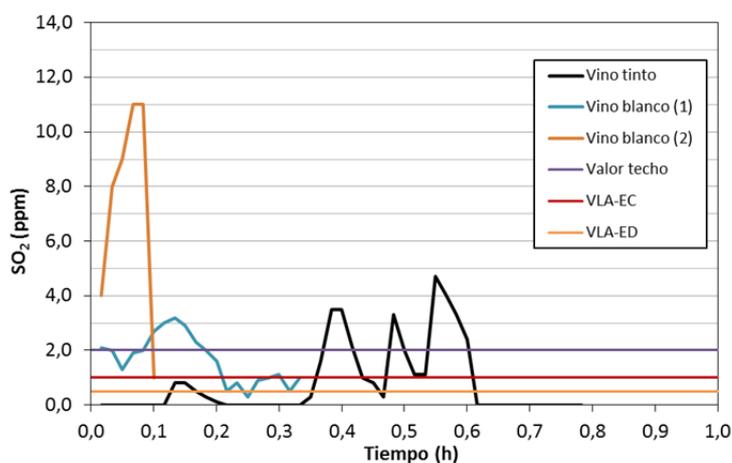


Figura 6.65. Concentraciones de SO₂ para distintos procesos de elaboración de vino.

Los resultados obtenidos vienen reflejados en la Tabla 6.32.

Tabla 6.32. Concentraciones y dosis de SO₂ para distintos procesos de elaboración de vino.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
SO ₂	Vinto tinto	0,70	0,79	0,55	4
	Vino blanco (1)	0,30	1,65	0,49	4
	Vino blanco (2)	0,10	8,88	0,89	4

En todos los casos analizados, los valores obtenidos para las dosis recibidas por el trabajador durante el tiempo de exposición de la tarea fueron muy inferiores a los máximos permitidos para el contaminante. En el análisis correspondiente al menor tiempo de medición (6 minutos), se obtuvieron los mayores valores de concentración y, por tanto, de dosis recibida por el trabajador, no alcanzando en ningún caso la dosis máxima permitida. Asimismo, el tiempo de duración de la medida supera los tiempos estándares de

realización de las tareas de control correspondientes, por lo que la dosis real que recibiría el trabajador en esta tarea sería todavía menor.

6.4.4.2 Control de ciclo de remontado

En la elaboración de vino tinto, resulta imprescindible la realización de ciclos de remontado para facilitar el contacto del caldo con las madres. Sea cual sea el sistema de remontado —automático o manual—, puede ser necesario controlar el nivel del depósito durante el ciclo. En base a ello, la boca superior de un depósito durante el remontado es susceptible de considerarse como un foco de emisión.

En este caso, se analizaron dos ciclos de remontado automático en un depósito tipo de maceración de fondo plano —25.000 litros—, con una duración aproximada de 10 minutos. Para ello, se cuantificaron con el medidor Testo XL350 las concentraciones de CO₂ en la boca superior del depósito (medición fija). La Figura 6.66 y Figura 6.67 muestran la evolución de las mismas, representándose también los valores límite y los límites de desviación del contaminante.

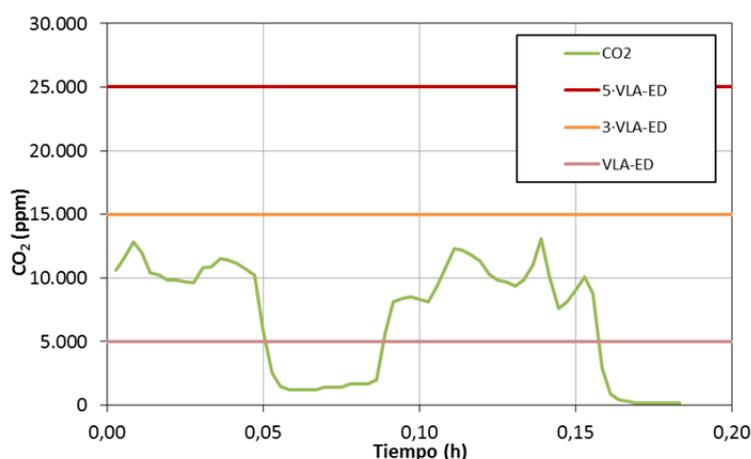


Figura 6.66. Concentraciones de CO₂ durante la tarea de ciclo de remontado (1).

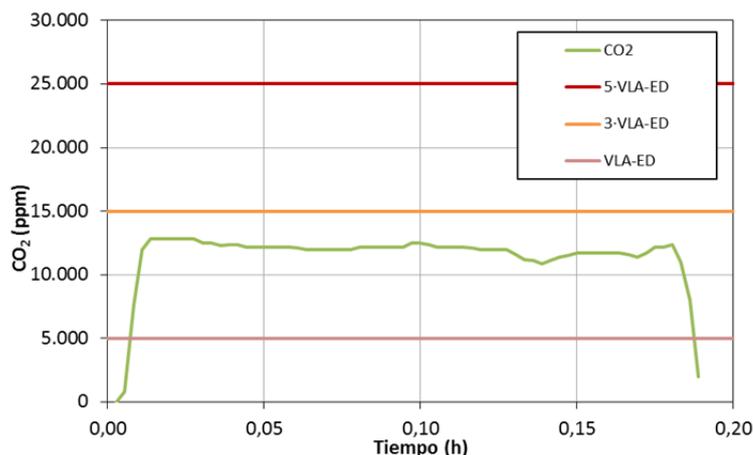


Figura 6.67. Concentraciones de CO₂ durante la tarea de ciclo de remontado (2).

En ninguna de las dos mediciones se superaron el valor de desviación para 30 minutos (15.000 ppm). La concentración de CO₂ correspondiente a la primera medición ascendió a 6.900 ppm, mientras que en la segunda se alcanzaron niveles de 11.500 ppm. Esta diferencia puede ser debida al estado de la fermentación del caldo objeto de remontado, más avanzado en el segundo de los casos.

6.4.4.3 Otros controles del proceso

En relación con el control de llenado de un depósito de vino tinto, en este caso del tipoo autovaciante, donde las madres se incuban conjuntamente con el caldo, se obtuvieron concentraciones de CO₂ por encima del valor límite de desviación para 30 minutos, si bien no se superó el valor techo del contaminante, reflejándose los resultados en la Figura 6.68.

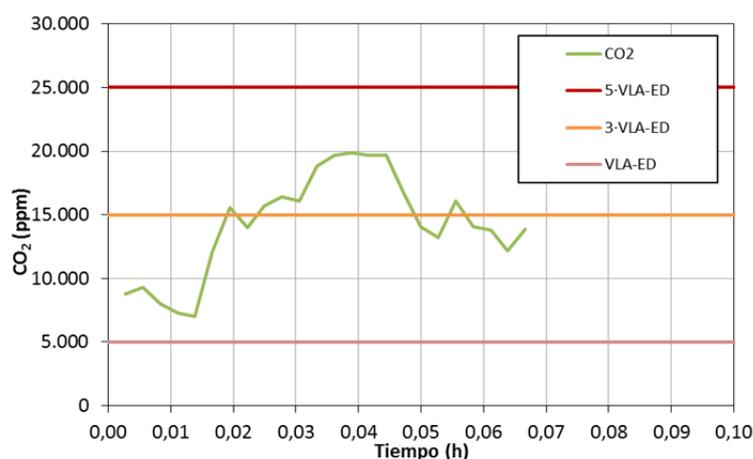


Figura 6.68. Control del llenado de un depósito de vino tinto autovaciante.

Por otro lado, se analizó la exposición de las tareas de control que se llevan a cabo en las bocas superiores de los depósitos durante el proceso de fermentación. Una de estas tareas consiste en el control del nivel del depósito.

Así, se registraron valores muy elevados durante el control del nivel de depósitos, tanto de vino blanco como de tinto, llegando a alcanzarse el máximo admisible del equipo de medición. La evolución de la concentración viene reflejada en la Figura 6.69.

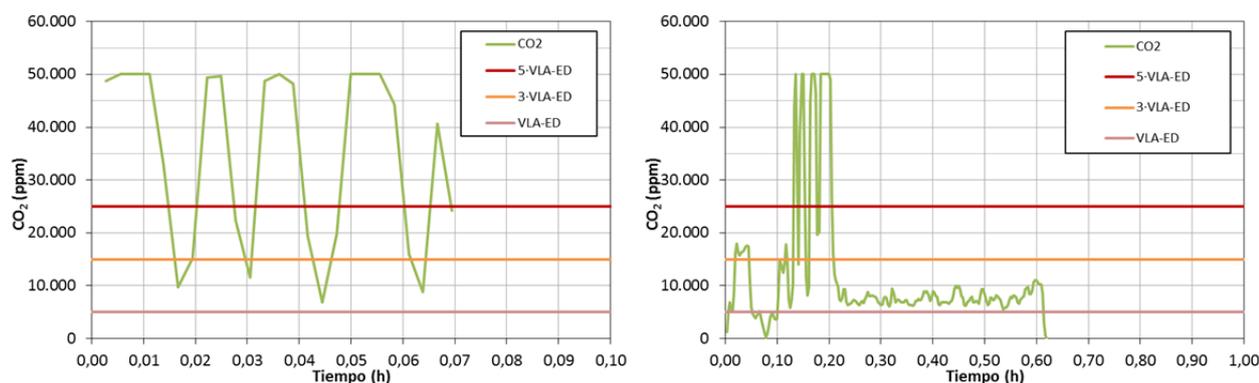


Figura 6.69. Control de nivel de un depósito de vino blanco (izq.) y tinto (dcha.).

6.4.5 Tareas de puesta a punto y reparación de equipos

A lo largo de la campaña y, concretamente, durante la parte central de la misma —periodo de estudio— se realizan tareas de puesta a punto de equipos con una periodicidad diaria. Asimismo, las averías que surgen se resuelven sobre la marcha, con el fin de afectar lo menos posible al ritmo de producción de la instalación.

De este modo, se llevaron a cabo medidas personales durante la realización de labores de mantenimiento y reparaciones de equipos. Las tareas consistieron en la puesta a punto de una prensa continua y en la reparación de un intercambiador de calor. La realización de estas tareas suele requerir la adopción, por parte del trabajador, de posturas que conllevan el acercamiento de su zona de respiración a cotas bajas, situándose en el primer caso bajo una prensa continua y, en el segundo, en las proximidades a la boca de un depósito subterráneo [18].

La evolución de las concentraciones vienen reflejadas en la Figura 6.70 y Figura 6.71, respectivamente.

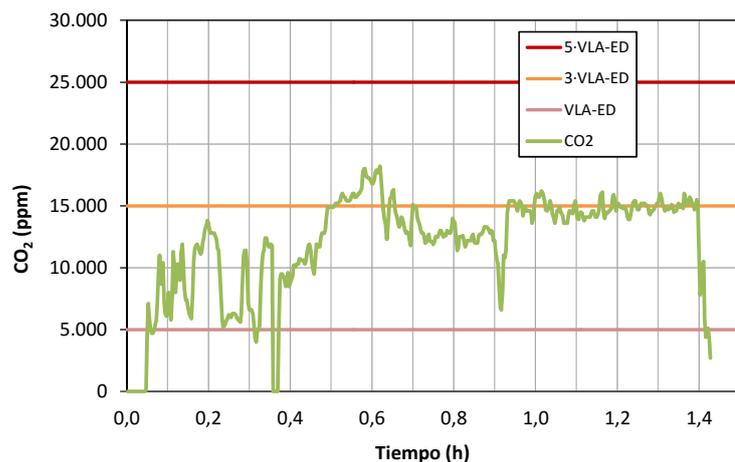


Figura 6.70. Tarea de puesta a punto de prensa continua en proximades a una boca de depósito subterráneo.

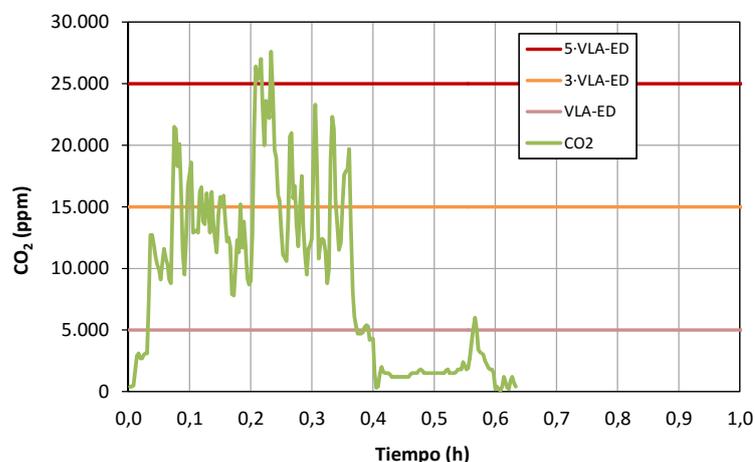


Figura 6.71. Tarea de reparación de intercambiador en proximades a una boca de depósito subterráneo.

En ambas tareas se superó el límite de desviación para 15 minutos, sobrepasándose además en la tarea de reparación el valor techo del contaminante. Los resultados obtenidos vienen reflejados en la Tabla 6.33.

Tabla 6.33. Concentraciones y dosis de CO₂ para las distintas tareas de puesta en punto y reparación.

	Situación	Tiempo de medición (h)	Concentración (ppm)	Dosis (ppm)	Dosis máx. permitida (ppm)
CO ₂	Puesta a punto	1,40	12.015,75	16.822,05	15.000
	Reparación	0,63	8.823,68	5.558,91	15.000

Durante la tarea de puesta a punto de la prensa continua, se alcanzaron dosis superiores a la máxima permitida para el contaminante, situación que no fue observada en la tarea de reparación del intercambiador.

6.5 Propuesta de medidas correctoras

Se propusieron medidas preventivas generales y específicas en función de la metodología seguida en el desarrollo de este trabajo.

6.5.1 Medidas generales

Las medidas generales que se han propuesto para mejorar las condiciones higiénicas en las bodegas están orientadas a minimizar la exposición del trabajador en los días centrales de campaña. Hay que resaltar que los días seleccionados para la valoración diaria pueden presentar una especial criticidad, debido a la combinación de actividades por parte del trabajador y la repetición o frecuencia de éstas a lo largo de las jornadas evaluadas. Se han seleccionado para el estudio las situaciones que recogen las configuraciones más desfavorables que pueden darse a lo largo del periodo central de campaña. Así, y con estas consideraciones, se establecen las siguientes medidas generales:

- Se recomienda el abandono periódico del interior de la nave de producción por parte de los trabajadores, para minimizar la exposición diaria que se alcanza a lo largo de la jornada, siempre superior a 8 horas en el periodo central de campaña.
- Durante la jornada laboral, los trabajadores deben evitar acercarse a zonas donde se haya verificado la existencia de fugas habituales de los gases generados durante el proceso productivo, tales como boca de depósitos, tubos de remontado, conexiones de bombas y tuberías, etc. Se recomienda que estas situaciones no sobrepasen, en ningún caso, tiempos de exposición superiores a 10 minutos.
- Debe reducirse al mínimo posible la frecuencia de realización y simultaneidad de tareas tales como descubes, trasiegos, limpiezas o, en su defecto, el número de éstas al día, así como las aproximaciones durante la jornada a focos de emisión o emplazamientos con alta generación de contaminantes.
- Durante estas situaciones deben adoptarse, por parte del trabajador, posturas que eviten la inclusión de su zona de respiración en la zona de generación del contaminante. Asimismo, debe procurarse que los trabajadores no se sitúen en corrientes de aire que favorezcan la situación de exposición. Asimismo y cuando se acceda a zonas donde pueda existir peligro de caídas, se recomienda la utilización del arnés de seguridad, amarrado a un punto fijo de la estructura, que evite la caída o minimice las consecuencias de ésta en caso de mareo o pérdida de conocimiento del trabajador.
- Se combinarán las tareas de forma que el tipo o duración de las mismas no conlleven una exposición por encima de la dosis máxima permitida en una jornada de trabajo para cada contaminante evaluado.

- Se recomienda la instalación de sistemas de ventilación forzada en las zonas donde estén instalados la mayoría de los depósitos de elaboración de vino tinto y los depósitos subterráneos.
- Finalmente, se favorecerá la ventilación natural de las instalaciones y se velará por la permanencia de puertas y ventanas abiertas —y todas las posibles salidas practicadas al efecto— en las zonas bajas de las bodegas. En caso de que no existan, se recomienda la realización de las mismas, limitándose en algunos casos a practicar pequeños orificios en las zonas más bajas de las instalaciones donde se almacenan los gases más densos que el aire.

6.5.2 Medidas específicas

Se han propuesto medidas para cada proceso de elaboración y tareas que los componen. Asimismo y siguiendo la estructura de este trabajo, las tareas se dividieron en características para la elaboración de cada tipo de vino, auxiliares y de reparación y puesta a punto de equipos.

6.5.2.1 Medidas preventivas en la elaboración de vino tinto

Las medidas preventivas fueron propuestas para las tareas de descube y limpieza de los depósitos de maceración de fondo plano y los depósitos subterráneos. En el caso de los depósitos autovaciantes y al igual que en los análisis anteriores, ambas tareas se considerarán como una sola.

Medidas preventivas para la tarea de descube en depósitos de maceración de fondo plano y depósitos subterráneos

- Se recomienda no realizar tareas de control de descube de varios depósitos de elaboración de tintos (maceración-autovaciantes) a la vez y de forma continua. Se intercalará la realización de otras tareas o distintos trabajadores durante la misma. En caso de tratarse de un único trabajador, se aplicarán turnos de trabajo o descansos. Si es posible, el trabajador saldrá al exterior de la nave de producción de forma periódica durante el transcurso de la tarea.
- Se evitará, en la medida de lo posible, la aproximación a la boca de los depósitos subterráneos cuando se lleve a cabo el descube de los mismos, especialmente durante la primera parte de la tarea. Cuando se utilice una balsa intermedia, se procurará no permanecer cerca de la salida de la tubería de trasiego a la balsa.

Medidas preventivas para la tarea de limpieza en depósitos de maceración de fondo plano y depósitos subterráneos

- Se recomienda la ventilación previa de los depósitos de maceración ya calados durante un tiempo mínimo de 30 minutos antes del acceso del trabajador a su interior. Durante este periodo de

ventilación, se evitará la permanencia en las proximidades de la boca inferior del depósito.

- No se recomienda superar periodos de 30 minutos de exposición continua durante la realización de la tarea de descube.
- Si no se utiliza un sistema forzado para la ventilación previa, será necesario esperar unas 4 horas — una vez calado el depósito— para acceder a su interior. En el caso de subterráneos, hay que tener presente que siempre existirán concentraciones de gases en el fondo de los mismos, aun habiendo estado ventilados durante horas o días.
- Las tareas de limpieza se realizarán siempre con ventilación forzada, consistente en insuflar aire limpio al interior del espacio. El sistema no se desconectará hasta la finalización de la misma. A su vez, el trabajador portará un equipo de medición personal que, a su vez, hará las veces de equipo de protección personal, con lo que el trabajador abandonará el espacio en caso de activarse la alarma.
- Asimismo y mediante cuerdas o guías, el trabajador que se encuentre en el interior del depósito manejará el conducto de ventilación de forma que éste se halle siempre en su zona de respiración (semiesfera de 0,3 m de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador), ya que pueden existir bolsas de gases entre la masa de madres a retirar que aparezcan de forma inesperada.
- Se recomienda la sujeción del trabajador mediante cuerdas o arneses de seguridad, amarrados a un punto fijo de la estructura que se incorpora al depósito, con el fin de facilitar su evacuación en caso necesario.
- Mientras se realiza esta tarea, en la parte exterior del depósito permanecerá siempre otro trabajador como vigía. Se mantendrá de forma continua el contacto visual con el trabajador que se encuentra en el interior y se procederá al aviso si se advierte algo anormal. Nunca se accederá al espacio en caso de emergencia si no se dispone de un sistema de protección respiratoria.

Medidas preventivas para la tarea de descube y limpieza en depósitos autovaciantes

- Durante el descube y limpieza de autovaciantes, que como mínimo se hace de dos en dos depósitos por razones de producción, se recomienda la aplicación de turnos de trabajo para el control de la tarea o, si solo se dispone de un trabajador, se programarán descansos a realizar en el exterior de la nave de producción. Otra opción, si las necesidades de producción lo permiten, consistirá en disminuir el número de depósitos que se descubran o limpien a la vez.

6.5.2.2 Medidas preventivas en la elaboración de vino blanco

En las tareas de descube o trasvase de vino blanco hasta los depósitos de almacenamiento-fermentación no existe la posibilidad de exposición a CO_2 y SH_2 , ya que no ha dado comienzo la reacción de fermentación en los mismos. Sí existe exposición a SO_2 , cuyas medidas preventivas se han descrito en el apartado de tareas auxiliares.

Medidas preventivas para la tarea de limpieza en depósitos de almacenamiento

- Previamente al acceso al depósito, se recomienda la apertura de la boca inferior del mismo y la posterior ventilación natural (corriente de aire que se establece debido a que la boca superior de estos depósitos permanece siempre abierta). Pese a que esta ventilación es muy rápida, se recomienda dejar ventilando el depósito durante un mínimo de una hora. Durante este periodo, se evitará la permanencia en las proximidades de la boca inferior del depósito.
- En el desarrollo de la tarea de limpieza de estos depósitos y debido a su capacidad, normalmente acceden dos trabajadores al interior y uno permanece en el exterior manteniendo el contacto visual a través de la boca inferior. En ningún caso se procederá a cerrar la boca inferior del depósito cuando los trabajadores están dentro de éste.
- El control de la tarea por parte del trabajador vigía se realizará de forma constante y exhaustiva, ya que las concentraciones de gases pueden aumentar en cualquier momento —debido a que los gases se depositan sobre la cota de barros y a que, entre los restos, pueden existir bolsas ocluidas que se rompan al empujar los restos, generándose concentraciones altas e inesperadas—.
- Se recomienda portar un medidor de gases que disponga de alarma acústica, vibratoria y visual durante la realización completa de la tarea.
- Se dispondrá de un equipo de protección respiratoria en las proximidades del trabajador vigía, por si se requiere su acceso al interior del depósito en caso de emergencia.

6.5.2.3 Medidas preventivas en la elaboración de mosto

La tarea característica de este proceso consiste en la incorporación de SO_2 al interior de los depósitos donde se almacena el caldo blanco destinado a la elaboración de mosto. Esta incorporación se realiza directamente de la botella de gas al interior del depósito.

Medidas preventivas para la tarea de incorporación de SO_2 en la elaboración de mosto

- En todos los procesos de elaboración de los distintos caldos se requiere la incorporación de SO_2 en cantidades de alrededor de 20 veces más pequeñas que en la elaboración de mosto. Aún así, se

recomienda que si los tiempos de exposición son superiores a 10 minutos, se apliquen las mismas medidas propuestas para la elaboración del mosto.

6.5.2.4 Medidas preventivas para las tareas auxiliares en las proximidades a bocas de depósito

En este apartado se han propuesto medidas preventivas para las tareas auxiliares analizadas, esto es, la incorporación de SO₂ en la elaboración de vino tinto y blanco, control de ciclo de remontado y nivel y llenado del depósito.

Medidas preventivas para la tarea de incorporación de SO₂ en la elaboración de tinto y blanco

- En todos los procesos de elaboración de los distintos caldos se requiere la incorporación de SO₂ en cantidades de alrededor de 20 veces más pequeñas que en la elaboración de mosto.
- Se recomienda que los tiempos de exposición sean inferiores a 10 minutos. En caso contrario, se aplicarán las mismas medidas propuestas para la elaboración del mosto.

Medidas preventivas para la tarea de control de ciclo de remontado

- Durante las tareas de control de los ciclos de remontado en depósitos de elaboración de vino tinto, y debido a la variabilidad de las concentraciones de CO₂, se recomienda no permanecer en la boca superior del depósito en remontado durante periodos de tiempos superiores a 30 segundos.
- El trabajador procurará colocarse, respecto a la boca del depósito, en sentido contrario a la corriente de aire que pueda existir en la zona. Bajo ninguna circunstancia se introducirá la cabeza dentro de la boca. Si hay problema de visibilidad en el interior del espacio, se utilizará un sistema de iluminación más potente que el habitual.
- Para evitar la posible caída del trabajador al interior del depósito, debido a mareos o pérdidas de conocimiento, se recomienda la realización de la tarea por parejas o, en caso de estar disponible un solo trabajador, la obligación de éste de amarrarse a algún punto fijo de la estructura más cercana.

Medidas preventivas en otros controles del proceso. Nivel y llenado del depósito

Para el control del llenado o el control del nivel de cualquier tipo de depósitos se recomiendan las mismas medidas preventivas que para el control del ciclo de remontado.

6.5.2.5 Medidas preventivas para las tareas de puesta a punto y reparación de equipos

- Durante la realización de las tareas de puesta a punto o de reparación de equipos, se recomienda no

adoptar posturas por parte del trabajador que aproximen su zona de respiración a cotas inferiores respecto al suelo de la instalación.

- Se controlarán los tiempos de permanencia en estas posiciones y emplazamientos. Para ello, el trabajador dispondrá de un monitor de gases con sistemas de alarma, el cual se activará cada vez que el trabajador deba abandonar la zona en función de la concentración existente en ese momento.
- Finalmente, se recomienda, para una seguridad total, la utilización de equipos de protección respiratoria.

7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el presente trabajo se ha llevado a cabo el análisis de la exposición por inhalación a gases generados en el proceso de elaboración del vino. El estudio se centró en dos zonas características de Extremadura, las subzonas de Matanegra y Tierra de Barros. Este análisis permitió identificar las tipologías más habituales, junto con los equipos, maquinaria e instalaciones dedicados a la elaboración de los diferentes caldos propios de la zona vinícola seleccionada.

Así, la capacidad de la instalación condiciona el ritmo de trabajo para cubrir las necesidades de producción de la bodega. Esto repercutió en la frecuencia y simultaneidad de las tareas y el acceso a los focos y emplazamientos que aumentan de forma considerable la exposición de los trabajadores. La mayor capacidad y ritmo de trabajo en las bodegas es directamente proporcional a la exposición a gases por inhalación.

Contrariamente a lo que se pudiera pensar, no es la tarea de limpieza de depósitos la que genera mayores concentraciones de contaminantes. En tareas donde el trabajador permanece fuera del depósito, como en el descube y en tareas de control en bocas de depósitos —tanto aéreos como subterráneos— se registraron mayores niveles de emisión.

Se confirmó que las tareas relacionadas con depósitos donde se encubran madres y caldos en lugar de solo caldo presentaron mayores concentraciones de contaminantes. Posteriormente, será la duración de éstas la que condicione la dosis recibida. Por tanto, se concluyó que la elaboración de vino tinto conlleva una exposición mayor a agentes químicos por inhalación que la de vino blanco.

Asimismo, el estado en la reacción de fermentación del producto a elaborar marcará la presencia de distintos contaminantes en la situación a evaluar.

Seguidamente, se exponen las principales conclusiones del trabajo realizado, encuadradas en cada uno de los distintos apartados.

7.1 Conclusiones del análisis de la jornada laboral en una bodega

La valoración de la exposición instantánea es necesaria para completar de forma exhaustiva la exposición del trabajador a lo largo de la jornada laboral. Se detectaron situaciones con alta generación de contaminantes durante periodos de tiempo superiores a los establecidos para los límites de valoración. Asimismo, se

detectó que la proximidad a bocas de depósitos, tubos de remontado, equipos de trasiego, etc., coincide con el aumento en la evolución de la exposición.

Aun permaneciendo en una situación aceptable en la valoración diaria, se detectaron periodos cortos de tiempo donde los agentes analizados superaron el valor techo o el límite de desviación del contaminante.

Se detectó que la exposición por inhalación de gases solo fue aceptable en determinadas jornadas de trabajo, si bien éstas fueron las realizadas en las bodegas de menor capacidad.

En la mayoría de los casos, la concentración promedio de los contaminantes existentes fue menos elevada que la exposición diaria. Esto se debió a que las jornadas analizadas (período central de campaña) superaron la duración de 8 horas correspondientes a una jornada laboral normal.

Se verificó, con una probabilidad del 90%, que los resultados obtenidos en las jornadas analizadas pueden extrapolarse al resto de jornadas no evaluadas siempre que se mantengan las mismas condiciones de trabajo. Asimismo, a partir del cálculo de la desviación estándar geométrica, se concluyó que la concentración en estas condiciones no es constante, existiendo una variabilidad alta. No hay que olvidar que se seleccionó el periodo central de campaña y, dentro de éste, los días de mayor criticidad en cuanto a frecuencia y simultaneidad de situaciones con alta exposición.

En la valoración instantánea de la evaluación de la exposición diaria, se detectaron en determinados instantes exposiciones por encima del límite de desviación o del valor de corta duración de los contaminantes evaluados. Esto derivó en la realización de una evaluación exhaustiva de los periodos de máxima exposición coincidentes con estos picos, no obteniéndose, en la mayoría de situaciones evaluadas, resultados por encima del límite de desviación para 30 minutos o del valor límite de corta duración de cada contaminante analizado.

En los casos en los que se superó el límite de corta exposición, se identificó la tarea y se procedió a su evaluación concreta. Estos casos siempre coincidieron con bodegas donde existen depósitos autovaciantes para la elaboración de tinto en lugar de depósitos de maceración de fondo plano y cuyo ritmo productivo es más elevado, bien por la necesidad de liberar depósitos o bien por la elevada capacidad de la bodega.

Se detectaron niveles más altos en las concentraciones de CO₂ en las bodegas que disponen de depósitos autovaciantes (que coinciden con las bodegas de mayor capacidad productiva) en lugar de depósitos de maceración de fondo plano (éstos solo existen en la bodega experimental y en la bodega familiar). Asimismo, se detectaron niveles más altos en las concentraciones de SH₂ en las bodegas donde se elaboró vino tinto mediante depósitos de maceración de fondo plano.

Únicamente se detectaron niveles de SO₂ en la bodega donde se elaboró mosto, debido a las grandes cantidades de éste que es necesario manejar durante el proceso.

Por tanto, la capacidad de la bodega y, en consecuencia, la disponibilidad de depósitos para el desarrollo de los distintos procesos de elaboración, repercutió en la frecuencia de realización de tareas como descubes, trasiegos, limpiezas, etc. Los requerimientos del proceso obligaron a la realización, en ocasiones, de estas tareas de forma prematura para liberar el depósito, influyendo el estado del proceso de fermentación en las cantidades generadas de CO₂, SO₂ y SH₂.

Las instalaciones que disponen de un sistema de ventilación forzada, a igualdad de condiciones en cuanto a procesos y tipología de vino elaborado, y manteniendo la ventilación natural en las mismas condiciones de utilización que el resto, presentaron concentraciones inferiores de todos los gases evaluados.

7.2 Conclusiones del análisis de las tareas

Las tareas, focos o emplazamientos que suponen una exposición elevada para el trabajador quedaron claramente identificadas. Estos factores son propios del proceso productivo de la industria vinícola y, por lo tanto, imposibles de evitar.

Las concentraciones y dosis recibidas por el trabajador durante el desarrollo de las diferentes tareas estuvieron siempre condicionadas por el estado del proceso de la reacción de fermentación.

En general, las tareas de elaboración de vino tinto fueron mucho más problemáticas que las de elaboración de vino blanco. Esto se debe, en primer término, a que la fermentación del caldo blanco no comienza hasta que éste está encubado en depósitos aéreos, situados normalmente en el exterior de las instalaciones. Asimismo, la fermentación de blanco no se realiza en contacto con las madres, lo que supone una generación menor de contaminantes y menor cantidad de residuos a retirar en las tareas de limpieza. Esto, a su vez, deriva en concentraciones menores y menores tiempos de exposición, disminuyendo la dosis recibida en estas situaciones.

Las tareas de supervisión o control pueden llegar a ser más problemáticas que las de limpieza, aun sin requerir el acceso del trabajador al interior de un espacio, como en el caso de los depósitos.

En relación a los equipos, en este caso depósitos, se confirmó, como cabía esperar de acuerdo con lo comentado anteriormente, que las tareas asociadas a depósitos autovaciantes y subterráneos presentan mayor riesgo de inhalación de gases que las realizadas en depósitos de maceración de fondo plano o depósitos aéreos.

7.2.1 Conclusiones de las tareas características en la elaboración de vino tinto

Las principales tareas en la elaboración de vino tinto son el descube y la limpieza, que además pueden realizarse, dependiendo del tipo de bodega, en depósitos de maceración de fondo plano y autovaciantes. También pueden utilizarse en algunos casos depósitos subterráneos; en ellos se realizan dos tareas claramente diferenciadas: por un lado, el descube y limpieza desde el exterior o boca superior del depósito, y por otro, la limpieza final de campaña realizada desde el interior del espacio.

Descube y limpieza de depósitos de maceración de fondo plano

La tarea de control del descube conlleva la exposición a elevadas dosis de CO_2 del trabajador que permanece en los alrededores de la boca inferior del depósito que se descuba. Asimismo, el hecho de que el descube se produzca cuando el proceso de fermentación no ha finalizado por completo supuso la exposición a SH_2 , incluso en ocasiones superiores a la dosis máxima permitida de este contaminante.

El periodo de ventilación previa que se estableció para la limpieza de un depósito de maceración de capacidad normal fue de aproximadamente 30 minutos. Esta ventilación no fue efectiva si no se realizó el calado o apertura de la chimenea de aireación en las madres contenidas en el depósito. Se concluyó que la realización de la tarea de limpieza resultó más segura cuando se realizó la ventilación previa con el depósito ya calado.

En la primera parte de la tarea de limpieza, coincidente con la ventilación del depósito, se detectaron las concentraciones de contaminantes más elevadas. Aun así, durante la tarea de limpieza se detectaron picos intermitentes que pudieron ser debidos a que las madres no forman una pasta compacta, sino que existen bolsas de gases ocluidas que se liberan a medida que se realiza la retirada de éstas. Por este motivo, es necesaria la ventilación forzada del espacio de forma continua mientras se realiza la tarea.

Se evidenció la influencia del estado del tubo de remontado y el estado en la reacción de fermentación en las concentraciones de CO_2 y SH_2 existentes durante la realización de la limpieza de este tipo de depósitos.

Descube y limpieza de depósitos subterráneos desde el exterior y desde el interior

La utilización de depósitos subterráneos supone un riesgo añadido frente a los aéreos, debido a que los restos del proceso, que inevitablemente existen en el fondo de los primeros, mantienen activa la reacción de fermentación, haciendo las veces de pie de cuba.

Los niveles de concentración de los gases fueron más elevados en la fase inicial de la tarea de limpieza desde el exterior, acumulándose el CO_2 en el fondo del depósito a medida que avanza el descube. De este modo, el trabajador situado junto a la boca superior del depósito estuvo expuesto paulatinamente a menores niveles de concentración.

Al contrario de lo que pudiera parecer, la exposición a CO₂ en la limpieza de depósitos subterráneos desde el exterior fue muy superior a la registrada cuando se realizó la limpieza desde el interior. En ésta, la zona de respiración del trabajador se mantuvo alejada de la zona que ocupó el CO₂ restante una vez ventilado el depósito (parte baja del mismo).

Para la realización de la tarea de limpieza desde el interior del depósito subterráneo, se concluyó que fue necesario un tiempo de ventilación forzada previa de horas, en función de la capacidad del depósito. A pesar de ventilar durante periodos de tiempo muy superiores a los necesarios, se detectaron concentraciones de CO₂ problemáticas en el fondo del depósito, pero no en la cota correspondiente a la zona de respiración del trabajador.

Se detectó, al igual que ocurre en la limpieza de depósitos de maceración de fondo plano, mayor exposición del trabajador a CO₂ al inicio de la tarea.

Descube y limpieza de depósitos autovaciantes

Al igual que en el caso de la limpieza de depósitos subterráneos desde el exterior, la limpieza de depósitos autovaciantes, aun no requiriendo la incorporación del trabajador al interior de éstos, supuso la exposición a dosis más elevadas. La realización de esta tarea de forma continua supuso mayor riesgo para la seguridad y salud del trabajador que la lleva a cabo.

Se evidenció el aumento de la exposición a CO₂ cuando se producen las descargas bruscas de las madres durante el descube y limpieza del depósito, y la influencia positiva de una correcta ventilación de las instalaciones.

Al igual que en el caso de los depósitos de maceración de fondo plano, se determinó la influencia positiva de la apertura del tubo de remontado en la disminución de la concentración de CO₂.

7.2.2 Conclusiones de las tareas características en la elaboración de vino blanco

Las principales tareas en la elaboración del vino blanco que requieren de la participación directa del trabajador son las tareas de control de descube y limpieza. El descube de depósitos aéreos se realiza en el exterior de las instalaciones, por lo que no se consideró necesaria su valoración en lo que respecta a la exposición del trabajador por inhalación de gases problemáticos. Sí se valoró la limpieza de depósitos de almacenamiento-fermentación, donde se requiere el acceso del trabajador al interior del depósito.

En la ventilación previa a la limpieza de depósitos de almacenamiento de fondo plano para elaboración de vino blanco, resulta suficiente el transcurso de pocos minutos para que en la boca inferior del depósito las concentraciones medidas alcancen valores normales. Se concluye que una ventilación aproximada de 30 minutos es más que suficiente para alcanzar valores correctos en la cota correspondiente a la boca inferior

del depósito. Sin embargo, aun ampliando considerablemente el periodo de ventilación, no se redujo la concentración de CO₂ en la cota correspondiente al nivel de los restos existentes en el fondo.

Las concentraciones del CO₂, para las mismas condiciones de ventilación del depósito, dependieron de la capacidad de éstos, circunstancia que también se observó en la elaboración de vino tinto. Aun así, y teniendo presente que los depósitos de almacenamiento disponen de capacidades mucho mayores que los de maceración y autovaciantes, las concentraciones y dosis que recibieron los trabajadores durante las tareas de limpieza de estos depósitos fueron mucho menos elevadas que las que se obtuvieron durante las tareas de limpieza de depósitos de vino tinto.

Con respecto a la concentración de los gases SH₂ y SO₂, y al igual que se determinó para la elaboración de vino tinto, los valores obtenidos dependieron de la fase en la que se encontraba el proceso de fermentación durante la tarea de limpieza.

Las dosis recibidas en la realización de la tarea de limpieza de depósitos de almacenamiento-fermentación dependieron de la duración de la tarea y ésta, a su vez, de la capacidad del depósito y de los restos (barros o lías) generados por el caldo almacenado.

7.2.3 Conclusiones de la tarea característica en la elaboración de mosto

La tarea característica en la elaboración de mosto consiste en el control de la incorporación de grandes cantidades de SO₂ al depósito para frenar el comienzo de la reacción de fermentación.

La incorporación de SO₂ en la boca superior de un depósito donde se está elaborando mosto superó ampliamente el valor techo del contaminante, mientras que los valores de CO₂ permanecieron por debajo del límite de desviación para 30 minutos de exposición. Esta situación requiere que el trabajador evite situarse en las proximidades del foco de emisión —entendiéndose como tal la boca superior del depósito— o, si es totalmente imprescindible la realización de alguna operación en estas circunstancias, se deberían utilizar equipos de protección respiratoria.

7.2.4 Conclusiones de otras tareas del proceso de elaboración de los distintos vinos en el periodo central de campaña

Dentro de este apartado se incluyeron tareas como la incorporación de SO₂ a los procesos de elaboración de vino tinto y blanco, control de ciclos de remontado, llenado y nivel de depósitos, además de tareas de puesta a punto y reparación de equipos en el periodo de campaña objeto de estudio.

De los resultados obtenidos en todas ellas se han extraído las siguientes conclusiones:

Los valores de la exposición y dosis recibidas por el trabajador durante incorporación de SO₂ en el proceso de elaboración de vino tinto y blanco (que no sea la elaboración del mosto) fueron muy inferiores a los máximos permitidos para el contaminante.

En cuanto a la tarea de control de un ciclo de remontado automático tipo, se apreciaron diferencias considerables en la concentración de CO₂ de unos ciclos a otros, en función del estado de la fermentación del caldo objeto de remontado. Por tanto, no se pudo llegar a una conclusión concreta, por lo que se recomienda en todos los casos la aplicación de las medidas preventivas propuestas.

En todas las tareas de control que requieren el acceso del trabajador a las cercanías de las bocas superiores de depósitos donde se lleva a cabo la fermentación de caldos blanco o tintos, se registraron concentraciones muy altas, que se controlarán disminuyendo el tiempo de exposición, la posición del trabajador con respecto al foco o mediante la utilización de equipos de protección respiratoria.

Por último, las tareas de puesta a punto de equipos y reparación de las averías que puedan surgir durante el periodo central de campaña, y que inevitablemente hay que resolver sobre la marcha, supusieron exposiciones muy elevadas derivadas de la concentración existente y del tiempo de permanencia, por lo que requerirán las mismas medidas preventivas para su ejecución que en las tareas próximas a focos o emplazamientos de alta generación de contaminantes.

7.3 Líneas futuras de investigación

Se proponen como líneas futuras del presente trabajo las siguientes:

- Identificación y evaluación de otros riesgos, considerando otros riesgos higiénicos así como los riesgos de seguridad y riesgos ergonómicos más característicos del sector.
- Extender los resultados de este trabajo a la totalidad del sector en la comunidad autónoma de Extremadura, abarcando todas las subzonas existentes en la denominación de origen "Ribera del Guadiana". Valorar si existen diferencias notables entre ellas.
- Análisis de la percepción de los trabajadores en relación a la exposición al riesgo de inhalación de gases y comparación con la evaluación cuantitativa de los mismos.
- Valoración del riesgo por inhalación a gases generados en el proceso productivo en otras industrias o instalaciones en la región de Extremadura.

8. CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH

Analysis of exposition due to inhalation of gases generated during wine production process has been carried out throughout the present work. The study focused on two specific zones in Extremadura, Matanegra and Tierra de Barros. This analysis allowed us to identify the most characteristic typologies, along with machinery and types of installations designed for producing the wines that are typical for the selected zones.

Below main conclusions are set out for each of the different sections.

Installation capacity sets the working pace to comply with production requirements of the cellar. This impacted in frequency and simultaneousness of tasks and access to focusses or locations, which in turn considerably increments worker exposition. Exposition to gases inhalation is proportional to the capacity and work pace in cellars.

Contrary to what people could think, it is not tank cleaning the task that produces the highest contaminants concentration. During tasks in which worker stays outside the tank, like while emptying or sampling in tank holes, both aerial or underground, higher emission levels were recorded.

It was confirmed that tasks associated with tanks that store grape pulps and juices instead of only juice showed higher contaminants concentration. Afterwards it will be the duration what will determine the dose. Therefore it was concluded that red wine production implies higher chemical agents exposition due to inhalation than white wine production.

Likewise, fermentation stage of the product would determine the presence of different contaminants.

8.1 Conclusions about the work day analysis in a cellar

Instantaneous exposition assessment is needed to accurately complete the worker exposition throughout the working day. Situations were detected in which high contaminants concentrations were produced above established limits. Moreover, it was detected that proximity to tank holes, pipes, pumps, etc., is coincident with an increase in exposition evolution.

Even staying in an acceptable situation during daily assessment, short periods of time were detected in which analyzed agents were beyond the upper limit or the deviation limit for the contaminant.

It was detected that exposition due to gases inhalation was only acceptable during some working days in lower capacity cellars.

In most cases the average concentration of contaminants was lower than daily exposition, due to work days analyzed (in the middle of the campaign) were longer than 8 hours of a regular work day.

It was verified with a probability of 90% that results obtained during analyzed work days can be extrapolated to the rest of work days as long as working conditions are maintained. Additionally, and making use of geometric standard deviation, it was concluded that the concentration in this conditions is not constant, with high variations. It should be noted that the timeframe was selected in the middle of the campaign and during the most critical days regarding frequency and simultaneousness of situations with high exposition levels.

During instantaneous estimates of daily exposition assessment, expositions were detected above deviation limit or short-time duration at certain moments. This led to an exhaustive assessment of highest exposition periods, with results for almost all situations not above deviation limit for 30 minutes or short-time duration, depending on the analyzed contaminant.

In those cases in which exposition was beyond the short-time limit, the task was identified and evaluated. All these cases were in cellars with auto-emptying tanks for red wine production instead of flat-bottom soaking tanks for which production rate is higher due to urgency for empty tanks or high capacity of the cellar.

Higher carbon dioxide concentrations were detected in cellars with auto-emptying tanks (coincident with higher capacity cellars) instead of flat-bottom soaking tanks (only installed in family or experimental cellars). Additionally, higher hydrogen sulfide concentrations were detected in cellars where red wine is produced using flat-bottom soaking tanks.

Sulfur dioxide was only detected in cellar where must was produced due to huge amounts that have to be used during the production process.

Therefore cellar capacity and, consequently, the availability of tanks for conducting the different production processes, impacted in frequency of tasks like emptying, moving, cleaning, etc. The requirements of the production process led sometimes to performing these tasks before it should for having the tank ready again, being the stage of the fermentation process an input for the CO₂, SO₂ and SH₂ amount generated.

Those installations with forced ventilation showed lower concentrations for all types of gases evaluated, measured in the same conditions regarding processes and wine typology, and keeping natural ventilation in the same conditions.

8.2 Conclusions about the task analysis

Tasks, focusses or locations with high exposition levels for the worker were clearly identified. These factors are related to the production process in the wine sector and, hence, impossible to avoid.

Concentrations and worker absorbed doses during the development of different tasks were always associated to the stage of the fermentation reaction.

Generally, tasks related to red wine production were much more problematic of those for white wine. This is due to fermentation in the case of white wine does not start until the wine is inside aerial tanks that are usually outside, and additionally white wine fermentation does not occur in contact with the pulp, which means lower contaminants generation and wastes to be cleaned. This in turn leads to lower concentrations and shorter exposition times, decreasing the absorbed dose in these situations.

Control and supervision tasks can be even more problematic than cleaning even not requiring the worker to enter a confined room, like in the case of tanks.

Regarding equipment, in this case tanks, it was confirmed, like expected as previously said, that tasks related to auto-emptying and underground tanks showed higher risks for gases inhalation than those for flat-bottom soaking or aerial tanks.

8.2.1 Conclusions about the red wine production tasks

Main tasks in red wine production are emptying and cleaning, which in turn can be performed, depending on the type of cellar, for flat-bottom soaking or auto-emptying tanks. Underground tanks can also be used in certain cases, for which two different tasks are performed, on one hand emptying and cleaning from the outside or upper hole and on the other hand final cleaning at the end of the campaign that is done from the inside.

Emptying and cleaning flat-bottom soaking tanks

Control task for emptying implied exposition to high doses of carbon dioxide for the worker who stayed around the lower hole of the tank. Additionally, emptying before fermentation process is completely finished led to hydrogen sulfide exposition, sometimes even above the maximum allowed dose for this contaminant.

Initial ventilation time established for a regular capacity soaking tank before cleaning was 30 minutes approximately. Ventilation was not effective with upper tank chimney not opened. It was concluded that the cleaning task was safer when performing after correct ventilation.

At the beginning of the cleaning, in coincidence with tank ventilation, the highest concentrations were detected. Even during the cleaning some intermittent peaks were detected that could be due to pulp not becoming a compact paste, but some occluded gases bubbles are released as long as it is removed.

It was evident that the status of the remount tube and the stage in the fermentation reaction affected the carbon dioxide and hydrogen sulfide concentrations during the cleaning process in this kind of tanks.

Emptying and cleaning underground tanks from the outside and inside

Using these underground tanks leads to an additional risk compared with aerial tanks, due to wastages in the bottom for the first type that are inherent to the process keep the fermentation active.

Gases concentration levels were higher at the initial stage during outside cleaning, with carbon dioxide concentrating at the bottom of the tank as emptying is in process. This way worker besides the upper hole of the tank was gradually exposed to lower concentration levels.

Contrary to it could be thought, exposition to carbon dioxide during underground tank cleaning from the outside is much higher to that recorded when cleaning was performed from the inside. In this last case, worker was far from where the carbon dioxide moved once the tank was ventilated (at the bottom).

For cleaning from the inside of the underground tank, it was concluded that several hours of previous forced ventilation is needed, depending on the tank capacity. Even ventilating during much longer times than required, problematic carbon dioxide concentrations were detected at the tank bottom, but not at the worker breathing level.

Higher carbon dioxide exposures at the beginning of cleaning, similar to what happens in flat-bottom soaking tanks, were detected.

Emptying and cleaning auto-emptying tanks

Similar to underground tanks cleaning from the outside, auto-emptying tanks cleaning led to exposition to the highest doses, even not requiring the worker to enter the tank. Performing this task continuously meant higher risk for safety and health of the worker.

An increase in carbon dioxide exposition was clearly identified when pulp is discharge suddenly during emptying, as well as positive influence of the correct ventilation.

Similar to what happened in flat-bottom soaking tanks, it was determined the positive influence of the remount tube opening in the decrease of carbon dioxide concentrations.

8.2.2 Conclusions about the white wine production tasks

Main task during white wine production requiring direct participation of the worker are those related to emptying and cleaning. Emptying aerial tanks is performed outside, so that it was considered not necessary to be evaluated regarding problematic gases inhalation by workers. Storage and fermentation tank cleaning, requiring the worker to enter the tank, was evaluated.

In white wine production, flat-bottom storage tanks ventilation for a few minutes before cleaning is enough for concentrations in the lower hole to be normal. So a 30 minutes ventilation is considered more than enough for reaching adequate values at the lower hole level. Nevertheless, increasing the ventilation time did not reduce the carbon dioxide concentration at the level of bottom wastes.

Carbon dioxide concentrations, for the same tank ventilation conditions, depended on tank capacity, something that was also observed in red wine production. Even though, and taken into account that storage tanks are much bigger than soaking and auto-emptying, the concentrations and doses for workers during cleaning tasks of storage-fermenting tanks for white wine were much lower than those recorded during cleaning of red wine tanks.

Regarding hydrogen sulfide and sulfur dioxide concentrations, and same as determined for red wine, values obtained depended on the stage of the fermentation during the cleaning.

Doses absorbed during storage-fermentation tanks cleaning depended on task duration, and the last on tank capacity and wastes generated by the storage liquid.

8.2.3 Conclusions about the must production tasks

The most significant task associated with must production consists of control of addition to the tank of huge amounts of sulfur dioxide for delaying the beginning of the fermentation reaction.

Addition of sulfur dioxide through the upper hole of a tank in which must is being produced goes beyond the contaminant limit value, while carbon dioxide values remain below deviation limit for 30 minutes exposure. This situation requires that the worker avoid staying near de source, that is, tank upper hole, or if completely necessary for performing certain operation in these circumstances, employing respiratory protective equipment.

8.2.4 Conclusions about the other tasks associated with the production of different wines during the central timeframe of the campaign

This topic included tasks like sulfur dioxide addition for red and white wine production, remount cycles control, tank filling, along with tuning and repair of equipment during the campaign period.

Results from all of them can be summarized in the following conclusions:

Exposition values and absorbed doses by the worker during sulfur dioxide addition in red and white wine production (but not must production) were very low compared to maximum allowed values for the contaminant.

Regarding typical automatic remount cycle control task it was observed significant differences in carbon dioxide concentration from cycle to cycle, depending on fermentation stage and, hence, it could not be possible to reach a conclusion, so it is recommended to apply for every case the proposed preventive measures.

In every control tasks requiring the worker to stay near upper holes for tanks in which fermentation takes place, high concentrations are recorded and will be controlled reducing exposition time, worker relative position to focus or using respiratory protective equipment.

Finally, tuning or repairing equipment during central time frame of the campaign that have to be fixed on the fly imply very high expositions due to existing concentration and time, so same preventive measures will be required as those for tasks near focusses or locations with high contaminant generation.

8.3 Future research

The following work lines, from this research work, are proposed:

- Identification and evaluation of other risks, considering the most important hygienic, safety and ergonomic risks.
- Further results, including the whole region in study (Extremadura), containing the specific areas in the "Ribera del Guadiana" designation of origin. Assessment of the remarkable differences, if needed.
- Analysis of workers perception concerning risk exposition of gas inhalation and comparison with its quantitative evaluation.
- Assessment of risk exposition to gas inhalation during the production process in other industries or facilities in the Extremadura region.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R.A. Da Silva Martins Isidoro. Valoración de residuos de hormigón. Caracterización, condiciones de seguridad en su manejo y posibilidades de aprovechamiento en la fabricación de hormigones. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, 2013.
- [2] Shah, J., Jan, M.R., Jadoon, H.S. Investigation of primary toxic gases in the air of selected occupational environments. *American Laboratory* 34 (2002) 8.
- [3] Brigten, P. A case of industrial carbon dioxide poisoning. *Anaesthesia* 31 (1976) 406-409.
- [4] Scott, J.L., Kraemer, D.G., Keller, R.J. Occupational hazards of carbón dioxyde exposure. *J. Chem Health Saf* 16 (2009) 18-22.
- [5] Kizer, K.W. Toxic Inhalations. *Emergency Medicine Clinics of North America* 2 (1984) 649-666.
- [6] Magalí, N.D. Volatilización de amoníaco y emisiones de dióxido de carbono a partir de un sistema intensivo de producción de carne. *Ciencia del suelo*, ISSN 0326-3169, Vol. 31, N°. 1, 2013, 107-118.
- [7] Hysing, E.S., Wergeland, E. Gas exposure and health hazards in the herring oil and fish meal industry Norwegian. *Tidsskrift for den Norske Laegeforening* 95:4 (1975) 226-228.
- [8] Jones, R.F. Two deaths caused by accumulation of carbon dioxide in a flour hold. *U.S. Navy Medical Bulletin* 16 (1922) 769-771.
- [9] Velusami, B., Curran, T.P., Grogan, H.M. Hydrogen sulfide gas emissions in the human-occupied zone during disturbance and removal of stored spent mushroom compost. *Journal of Agricultural Safety and Health* 19:4 (2013) 277-291.
- [10] Troisi, F.M. Delayed death caused by gassing in a silo containing green forage. *British Journal of Industrial Medicine* 14 (1957) 56-58.
- [11] Hanna, M., Orozco, E. Exposición laboral por plaguicidas en cultivadores de algodón: valle del Sinú medio. *Económicas CUC*, 35:2 (2014) 65-74.

- [12] Jumpponen, M., Rönkkömäki, H., Pasanen, P., Laitinen, J. Occupational exposure to gases, polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds in biomass-fired power plants. *Chemosphere* 90:3 (2013) 1289-1293.
- [13] Lee, N.A , Lee, B.K.B, Jeong, S.B, Yi, G.Y.A, Shin, J.A Work environments and exposure to hazardous substances in Korean tire manufacturing. *Safety and Health at Work* 3:2 (2012) 130-139.
- [14] González, E. Generación y estudio de las especies de cromo presentes en humos de soldadura de acero inoxidable. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 2004.
- [15] Ibarra, I.J. Control Ambiental y Biológico del la Exposición Laboral a Estireno. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 2002.
- [16] Badenhorst, C.J. Occupational health and safety risks associated with sulphur dioxide. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 107:5 (2007) 299-303.
- [17] Muñoz, F., García-Ardila, F., Rodríguez, M.A. Percepción sobre daños a la salud y utilidad de medidas de protección de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la minería del oro. *Revista Lasallista de Investigación* 9:1 (2012).
- [18] Medina-Escobar, L. Hernández-Gómez, G., Rodríguez-Zamora, G., Mata-Montero, C. Análisis de riesgos higiénicos en aserraderos (Parte 1). *Tecnología en Marcha* 27:4 (2014) 30-40.
- [19] Montero Simó, R. Riesgos higiénicos en el sector de la joyería. *Prevención, trabajo y salud: Revista del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo* 12 (2001) 18-24.
- [20] López. LP. Óxido de etileno, utilización como agente esterilizante y riesgos para la salud del personal sanitario. *Rev CES Salud Pública* 5:2 (2014) 154-162.
- [21] López Anaya, L.P. Óxido de etileno, utilización como agente esterilizante y riesgos para la salud del personal sanitario *CES Salud Pública* 5 (2014) 154-162.
- [22] Tortosa, J.A. Contaminación ambiental y biológica de una población expuesta a isoflurano en quirófano. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 1995.
- [23] Jorge de Vasconcelos, M. Percepción y riesgo de exposición laboral a agentes biológicos en centros de clasificación de residuos en vertederos. Tesis Doctoral. Universidad de León. 2012.
- [24] Le gaz carbonique, l'autre produit de la vinification. *Bulletin d'Information de la Mutualité Agricole* 464 (1994) 24-26.

-
- [25] Jonathan, L., Kraemer, D., Keller, R. Occupational hazards of carbon dioxide exposure. *Journal of Chemical Health and Safety*. Elsevier 16 (2009) 18-22.
- [26] Fedorowicz, A., Badach-Rogowski, W. Carbon dioxide poisoning. *Polski Tygodnik Lekarski* 24 (1969) 21-22.
- [27] Guillemin, M.P., Horisberger, B. Fatal intoxication due to an unexpected presence of carbon dioxide. *Ann Occup Hyq* 38:6 (1994) 951-957.
- [28] Porta, J. López-Acevedo, M. Roquero, C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 1993.
- [29] Thibaudier, J.M., Freulet, J.M., Dupupet, J.L., Weirich, J.L. The consequences of exposure to ethanol during the wine-making process. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement* 66:6 (2005) 548-552.
- [30] Jiranek, V., Langridge, P., Henschke, P.A. Regulation of Hydrogen Sulfide Liberation in Wine-Producing *Saccharomyces cerevisiae* Strains by Assimilable Nitrogen. *Applied and Environmental Microbiology* 61:2 (1995) 461-467.
- [31] Navascués, E. Compuestos azufrados volátiles y riesgos de reducción en vinos. *Rev Alimentaria-Artículos Técnicos* Julio-Agosto (2011) 115-120.
- [32] Jiang, C., Shi, J., Xianqinq, C. Yanlin, L. Effect of sulfur dioxide and ethanol concentration on fungal profile and ochratoxin a production by *Aspergillus carbonarius* during wine making. *Elsevier* 47 (2015) 656-663.
- [33] Baxter, P.J., Kapila, M., Mfondu, D. Lake Nyos disaster, Cameroon, 1986: The medical effects of large scale emission of carbon dioxide. *British Medical Journal* 298 (1989) 1437-1441.
- [34] Yglesias-González, M., Chamizo-García, A. Susceptibilidad y síntomas respiratorios asociados a la exposición a dióxido de carbono y dióxido de azufre provenientes del volcán Turrialba, Costa Rica ISSN-1659-0201. <http://ccp.ucr.ac.cr/revista/2>.
- [35] Williams, U.I. Carbon dioxide poisoning. Report of eight cases, with two deaths. *British Medical Journal* 2 (1958) 1012-1014.
- [36] Sterkowicz, S. Two cases of fatal carbon dioxide poisoning. *Polski Tygodnik Lekarski* 38 (1983) 309-310.
- [37] Jobez, P. Intoxication par inhalation de gaz carbonique dans les caves de vinification. *Université de Dijon, Thèse de médecine* 95 (1995) 172.
-

- [38] Intoxications aiguës par le dioxyde de carbone dans les caves de vinification. *Vigitox* 9 (1995) 2-4.
- [39] Larche-Mochel, M., Bouvet, M., Verdun-Esquer, C., Dalm, C. A propos d'un accident du travail mortel dans une cuve à vin. *Archives des Maladies Professionnelles* 55 (1994) 631-632.
- [40] Zunino Luna, A. Prevención de riesgos laborales en el sector vinícola. Diseño de un sistema de gestión de la prevención en bodegas. Tesina Máster Oficial Prevención de Riesgos Laborales. Universidad Politécnica de Valencia, 2010.
- [41] La Harpe, R., Shiferaw, K. Mangin, P. Burkhardt, S. Fatality in a wine vat. *Am J Forensic Med Pathol* 34:2 (2013) 119-21.
- [42] Mailonline. Two French wine-makers suffocated by carbon dioxide fumes from grapes they were treading. 6 de November de 2008.
- [43] Infobierzo. Fallece la enóloga Nerea Pérez al caerse al interior de un depósito de vino en Salas de los Barrios. 29 de Septiembre de 2014.
- [44] Youakim, S. Occupational health risks of wine industry workers.
- [45] Jaulmes P., Hamelle G. Asphyxie par le gaz carbonique à bord d'un bateau citerne. *Médecine Légale Dommage Corporel* 1 (1968) 216-217.
- [46] El País. Un muerto y seis intoxicados por dióxido de carbono y gas en un colegio. 12 de Enero de 2005.
- [47] Martín Del Moral, A. et al. Manual de buenas prácticas en prevención de riesgos laborales: Sector vitivinícola. Ed. UGT La Rioja, Logroño (2006) 120.
- [48] Zorilla Muñoz, V. Trastornos musculoesqueléticos de origen laboral en actividades mecánicas del sector de la construcción. Investigación mediante técnicas de observación directa, epidemiológicas y software de análisis biomecánico. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, 2012.
- [49] González Lortau, M. Factores determinantes del riesgo de atropello en trabajadores de conservación y explotación de la red de carreteras del Estado. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, 2015.
- [50] De Figueiredo Dias, A.F. Análisis de la siniestralidad laboral en Alentejo (Portugal). Tipificación de accidentes en el sector agrícola. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, 2012.
- [51] Rojas, C.V., Montero, I., Miranda, M.T., Arranz J.I., Nogales, S., García, T., Román, S. Análisis de la presencia de atmósferas nocivas asociadas al proceso de elaboración del vino. I.S.B.N. 978-84-615-7900-6. ORP 2012.

-
- [52] Álvarez Ramos, J.C., Villarías Moradillo, J.L. Decálogo del Viticultor. Ediciones Agrotécnicas, S. L. Madrid (España). Depósito Legal: M-38957-2012. I.S.B.N.: 10: 84-87480-79-9. I.S.B.N.: 13: 978-84-87480-79-9, 2012.
- [53] Díaz González, M., Historia de la vid y del vino en Extremadura. En: La agricultura y la ganadería extremeñas, informe 2009. Universidad de Extremadura (Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales y Escuela de Ingenierías Agrarias). Depósito Legal: BA-541-10. I.S.B.N.: 978-84-889-5699-1, 2010.
- [54] Historia de la antigua viticultura. Denominación de Origen Ribera del Guadiana. Consultado el 10 de noviembre de 2013, disponible en:
http://www.riberadelguadiana.eu/esp/index.php?option=com_registration&task=activate&activation=0baef872f613593790185c1b910d142d
- [55] La Cultura de la Vid y el Vino. Fondo Vitivinícola Mendoza. Consultado el 13 de enero de 2014, disponible en: http://www.fondovitivinicola.com.ar/files/La_cultura_de_la_vid_y_el_vino.pdf
- [56] Observatorio Español del Mercado del Vino 2014.
- [57] Organización Internacional de la Viña y del Vino. OVI 2014.
- [58] <http://www.eaprogramas.es/internacionalizacion/espana-lidera-el-ranking-mundial-de-exportacion-de-vino>
- [59] <http://licoresreyes.es/la-exportacion-de-vino-aumenta-un-22-en-el-ultimo-ano>
- [60] Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos ESYRCE del MAGRAMA.
- [61] <http://www.icex.es/icex/es/index.html>
- [62] <http://www.winesfromspain.com>
- [63] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Avance Marzo 2015.
- [64] Informe Sector Vinícola Extremadura. Consejería de Agricultura de la Junta de Extremadura (campana 2011-2012).
- [65] Denominación de Origen Ribera del Guadiana. <http://riberadelguadiana.eu/esp/>
- [66] Cámara de Comercio Badajoz. <http://www.camarabadajoz.es/>
- [67] Rodríguez Luengo, R. Mejora de bodega en Valdefuentes (Cáceres). Septiembre 2002.
-

- [68] Martínez Naranjo, F. Bodega de vino ecológico en Villafranca de los Barros (Badajoz). Universidad de Extremadura, 2006.
- [69] Hidalgo Togores, J. Tratado de Ecnología. Ed. Mundi-Prensa, Madrid-México, 2011.
- [70] Epifanio Fernández, S.I. Influencia de la tecnología de vinificación en la microbiología y el desarrollo de la fermentación alcohólica. Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja, 2005.
- [71] Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D., Lilly, A.E. Las Operaciones en la Ingeniería de los Alimentos V. Editorial Acribia. ISBN: 84-200-0456-1.
- [72] Tullio D.R., Casp Vanaclocha A., González Salgueiro, A. Tecnología del Vino., Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1988. ISBN: 84-7114-206-6.
- [73] Cejudo Bustamante, M.J. Nuevas Tecnologías de Vinificación basadas en la aplicación del oxígeno y sustitutos del anhídrido sulfuroso. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha, 2009.
- [74] Ortiz Valero, J.M. Nuevas tecnologías para la elaboración de vinos tintos: Flash Detente. Trabajo Fin de Grado. Universidad de la Rioja, 2014.
- [75] Tullio D.R., Casp Vanaclocha A., González Salgueiro, A. Tecnología de los Vinos Blancos. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1997. ISBN: 84-7114-700-9.
- [76] Elaboración de mosto. <http://www.bolsanza.com.ar/mercados/mostos/proceso.pdf>
- [77] Martín Ballesteros, M. Dimensionado de una bodega de elaboración de vino tinto con capacidad para la entrada de 100.000 Kg de uva al año. Sección de clarificación a embotellado. Universidad de Valladolid, 2012.
- [78] Inserstave.
[http://www.toneleria.com/fichas/esp/INSERSTAVE La Mejor Alternativa al Uso de Barricas.pdf](http://www.toneleria.com/fichas/esp/INSERSTAVE%20La%20Mejor%20Alternativa%20al%20Uso%20de%20Barricas.pdf)
- [79] García-Vaquero, E. Edificios Industriales Agrarios. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1979. ISBN: 84-7114-083-7.
- [80] García-Vaquero, E., Ayuga, F. Diseño y Construcción de Industrias Agroalimentarias. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1993. ISBN: 84-7114-336-4.
- [81] Rojas, S., Aroca, S., Ramiro, A. El orujo de uva como combustibles en las industrias alcholeras. Ingeniería Química. Madrid, 1995.

-
- [82] Rojas, S., Ramiro, A., Aroca, S. Residuos de la vid y el olivar como combustibles. Ingeniería Química. Madrid, 1999.
- [83] Rojas, S., Ruiz, A., Miranda, M.T., Mondragão, F.L., Pargana, G., Rato, J.M. Potencial energético de residuos concentrados de la vid en Extremadura y Alentejo. Junta de Extremadura, 1999.
- [84] Rojas, S. Evaluación del potencial energético de los residuos agrícolas en Extremadura. Tesis Doctoral. E.S.I.I., Madrid, 1989.
- [85] Pedrajo, A., Architegui, J. Elaboración de vinos. Método Ganimede. Aspa Ingenieros, Bodegas y Viñedos, 2008.
- [86] Bai, B., He, F., Yong, L., Chen, F., Reeves, M.T., Li, J. Comparative study of phenolic compounds in Cabernet Sauvignon wines made in traditional and Ganimede fermenters. Food Chem. Elsevier Dec 15, 141(4) (2013) 3984-3992.
- [87] Magrinyà, M. Los gases y la refrigeración en la enología. Los principales actores son el nitrógeno y el dióxido de carbono. Enólogos, ISSN 1695-7296, N°. 48, 2007, 26-27.
- [88] Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- [89] Directiva 98/24/CE del Consejo relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con agentes químicos durante el trabajo. Diario Oficial nº L131 de 05-05-1998 p.0011-0023.
- [90] Guía Técnica de Agentes Químicos de INSHT.
- [91] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Ministerio de Empleo y Seguridad Social.
- [92] "Threshold Limit Values" (TLV) ACGIH. Año 2015.
- [93] "Valores Límite Ambientales" (VLA) INSHT. Año 2015.
- [94] NTP 935: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (I). Aspectos generales.
- [95] NTP 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología simplificada.

- [96] The technical basis for COSHH essentials: Easy steps to control chemical. Health and Safety Executive. London. HSE Books, 2009.
- [97] NTP 936: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials.
- [98] Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).
- [99] Nota Técnica de Prevención 937 “Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS”.
- [100] Rojas, C.V., Miranda, M.T., Montero, I., Arranz, J.I., Sepúlveda, F.J., Nogales, S., García, T. Evaluación cualitativa de la exposición a dióxido de azufre en la elaboración de vino. I.S.B.N. 978-84-615-7900-6. ORP 2014.
- [101] Leidel & Col. Occupational exposure sampling strategy manual. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1977; DHEW publication n.º 77-173.
- [102] Carballo Leyenda, B., Rodríguez-Marroyo, J.A., López-Satué, J., Ávila Ordás, C., Pernía Cubillo, R., Villa Vicente, J.G. Exposición al monóxido de carbono del personal especialista en extinción de incendios forestales. Rev Esp Salud Pública 84:6 (2010) 799-807.
- [103] Norma UNE-EN 689:1996 “Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición”.
- [104] Norma UNE-EN 1540:2012. Exposición en el lugar de trabajo. Terminología.
- [105] Norma UNE-EN 482:2012. Exposición en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos de medida de los agentes químicos.
- [106] NTP 808. Exposición laboral a agentes químicos: requisitos de los procedimientos de medición. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [107] Proceso de Gestión de los Riesgos Higiénicos por Exposición a Agentes Químicos. Osalan, 2010.
- [108] NTP 637: Evaluación de riesgos por agentes químicos. Principales fuentes de métodos analíticos.
- [109] NTP 449: Contaminantes químicos: esquema de decisión para la evaluación de la exposición.
- [110] NTP 140: Estadística y mediciones ambientales.
- [111] NTP 553: Agentes químicos: estrategias de muestreo y valoración (I).

-
- [112] "Permissible Exposure Limits" (PEL) OSHA. Año 2015.
- [113] "Recommended Exposure Limits" (REL) NIOSH. Año 2015.
- [114] MAK- und BAT-Werte-Liste 2014: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte Published Online: 23 JUN 2014.
- [115] MEL_ Comisión de Salud y Seguridad, "Health and Safety Commission" (HSC).
- [116] CEL-AFS 2011:18. The Swedish Work Environment Authority's provisions and general recommendationson occupational exposure limit values.
- [117] Brief, R., Scala, R. Occupational Exposure limits for novel work schedules. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 76 (1975) 467-476.
- [118] Lorenzo Gracia, J. Curso de Higiene Industrial. Evaluación de agentes químicos. Mutua MAZ.
- [119] Garrido Rivas, A.E., De Tomás Soto, N. Riesgos laborales en el sector vitivinícola (I). Elsevier. Enfermería Clínica.
- [120] NTP 925: Exposición simultánea a varios agentes químicos: criterios generales de evaluación de riesgos.
- [121] Nota Técnica de Prevención 555 "Agentes químicos: estrategia de muestreo y valoración (III)".
- [122] Nota Técnica de Prevención 554 "Agentes químicos: estrategia de muestreo y valoración (II)".
- [123] Archives des maladies professionnelles et de l'environnement. Francia Caractérisation et stratégie d'évaluation des risques toxiques pendant la vinification des vins de Savoie. Elsevier 60:5 (1999).
- [124] Bourdes, J.F., Olivier-Roussel, B., Thevenot, P., Chandez, A., Maitre, A. Characteristics of occupational toxic exposure during wine processing in Savoie: Developing strategies for evaluation.
- [125] Barberá, E., Molins, M.B., Climent, E. Cinética de Flavobacterium Dehydrogenans. ParteII : balance de carbono, consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono. Afinidad: Revista de química teórica y aplicada 55:476 (1998) 267-274. ISSN 0001-9704
- [126] Rappaport, S., Selvin, S. A method for evaluating the mean exposure from a log normal distribution. American Industrial Hygiene Association Journal 48:4 (1987) 374-379.
- [127] Rubio Romero, J.C., Parejo Moscoso, J.M., Pérez Canto, S., Soriano Serrano, M. ¿De dónde proceden los principales riesgos laborales en las almazaras españolas? Dyna 88:4 (2013) 473-480. ISSN 0012-7361.
-

- [128] NTP 244: Criterios de valoración en Higiene Industrial.
- [129] Ficha de seguridad del Etanol.
- [130] Ficha de seguridad del Pentano.
- [131] Ficha de seguridad del Dióxido de Azufre.
- [132] Ficha de seguridad del Monóxido de Carbono.
- [133] Ficha de seguridad del Dióxido de Carbono.
- [134] Ficha de seguridad del Sulfuro de Hidrógeno.
- [135] Manual de Instrucciones de IBRID MX6.
- [136] Manual de Instrucciones de TESTO 350XL.
- [137] NTP 663: Propiedades fisicoquímicas relevantes en la prevención del riesgo químico.
- [138] Archives des maladies professionnelles et de l'environnement. Francia. Exposición al etanol en bodegas de vinificación. Prevención Express N° 369 (2006) 10-12.
- [139] López Sánchez, L., Antona Díaz, M. Intoxicación fatal por dióxido de carbono en el lagar. American Journal of Forensic Medicine & Pathology 34:2 (2013) 119–121.
- [140] Vinification, intoxication et prevention du risque CO₂. Dijon, CRAM de Bourgogne et France Comté, 1998, 6 p.
- [141] Guillemin, M.P., Horisberger, B. Fatal intoxication due to an unexpected presence of carbon dioxide. Annals of Occupational Hygiene 38 (1994) 951-957.
- [142] La Verne, A.A., Di Maio, D.J., Fernández, A.J. Occupational, accidental, explorational carbon dioxide inhalation poisonings and prevention. Physicians' Drug Manual 4:5 (1973) 83-94.