



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO PETROQUÍMICO**

**TEMA: ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE PREVENCIÓN DE
RIESGO AMBIENTAL ELEVADO CORRESPONDIENTE A LA ETAPA DE
PRODUCCIÓN Y SISTEMAS AUXILIARES EN LA PLANTA DE
FUNDICIÓN DE ACERO DE LA EMPRESA ADELCA C.A. – CENTRO
ALOAG**

AUTOR: FAJARDO MOLINA, ERIK FABRICIO

DIRECTOR: PhD. URRUTIA GOYES, EDGAR RICARDO

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE PREVENCIÓN DE RIESGO AMBIENTAL ELEVADO CORRESPONDIENTE A LA ETAPA DE PRODUCCIÓN Y SISTEMAS AUXILIARES EN LA PLANTA DE FUNDICIÓN DE ACERO DE LA EMPRESA ADELCA C.A. – CENTRO ALOAG**” fue realizado por el señor **Fajardo Molina, Erik Fabricio** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, noviembre de 2019

Ricardo Urrutia Goyes, PhD

C.C.: 1803599313



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Fajardo Molina, Erik Fabricio**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Elaboración de una propuesta de prevención de riesgo ambiental elevado correspondiente a la etapa de producción y sistemas auxiliares en la planta de fundición de acero de la empresa ADELCA C.A. – Centro Aloag*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, noviembre de 2019

Erik Fabricio Fajardo Molina
C.C.: 1722339940



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Fajardo Molina, Erik Fabricio** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación ***Elaboración de una propuesta de prevención de riesgo ambiental elevado correspondiente a la etapa de producción y sistemas auxiliares en la planta de fundición de acero de la empresa ADELCA C.A. – Centro Aloag*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, noviembre de 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Erik Fabricio Fajardo Molina'.

Erik Fabricio Fajardo Molina
C.C.: 1722339940

DEDICATORIA

A mis padres, que son un pilar fundamental en mi vida, agradezco todo su amor, esfuerzo y dedicación que hicieron posible alcanzar esta meta. Este logro es de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos, gracias por estar a mi lado en todo momento, por apoyarme en cualquier circunstancia, y hacer de mi vida la mejor siempre que estemos juntos. Todos ustedes son mi inspiración.

A Scarlet, que fue mi apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria, gracias por todo ese amor brindado.

A mis profesores, PhD Ricardo Urrutia por guiarme y brindarme todos sus conocimientos en la realización de este proyecto, a la Ing. Caterine Donoso por su dedicación y entusiasmo al momento de compartir sus conocimientos.

A mis amigos y amigas, gracias por esos momentos difíciles que siempre supimos sacarlos adelante y por todos los momentos vividos que permanecerán por siempre en mi corazón.

Al personal de ADELCA C.A. por brindarme todas las facilidades para realizar este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación e importancia	5
1.4. Objetivos general y específicos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7

1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	8
1.6. Variables de investigación.....	8

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Acería del Ecuador ADELCA C.A	9
2.2. Planta de fundición de acero	10
2.2.1. Etapa productiva.....	10
2.2.2. Sistemas auxiliares	13
2.3. Riesgo Ambiental.....	18
2.4. Evaluación de riesgo ambiental	19
2.4.1. Sustancias químicas en la industria siderúrgica.	20
2.4.2. Escenarios accidentales	20
2.5. Aplicaciones Informáticas	23
2.5.1. EPI SUIT 4.1	23
2.5.2. ALOHA 5.4.7.....	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Sustancias químicas utilizadas en la fundidora de acero	25
3.2.	Identificación de escenarios accidentales	25
3.2.1.	Identificación de sucesos iniciadores.....	26
3.2.2.	Técnica de identificación de escenarios accidentales.....	26
3.3.	Índice de Consecuencias Medioambientales (ICM)	27
3.3.1.	Fuentes de peligro	29
3.3.2.	Receptores.....	34
3.4.	Probabilidades de que ocurran los escenarios accidentales	41
3.5.	Cálculo del Riesgo Ambiental	42
3.6.	Propuesta de prevención	43

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	Identificación de las sustancias químicas utilizadas en la planta de fundición	44
4.2.	Identificación de los escenarios accidentales.....	46
4.2.1.	Sucesos iniciadores considerados.....	46
4.2.2.	Método de árbol de sucesos y HAZOP.....	47
4.2.3.	Escenarios accidentales.....	55
4.3.	Cálculo y análisis del Índice de Consecuencias Medioambientales.....	56
4.4.	Valoración del riesgo ambiental	113
4.5.	Estimación del riesgo ambiental.....	114

CAPÍTULO V**PROPUESTA DE PREVENCIÓN**

5.1. Propuesta 1	119
5.2. Propuesta 2	119
5.3. Propuesta 3	120
5.4. Propuesta 4	120
5.5. Propuesta 5	121
5.6. Propuesta 6	121
5.7. Propuesta 7	122
5.8. Propuesta 8	122
5.9. Propuesta 9	123

CAPÍTULO VI**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. Conclusiones	124
6.2. Recomendaciones	126

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
---	------------

ANEXOS	134
---------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Composición polvo de acería</i>	14
Tabla 2	<i>Elección de los sistemas de envasado</i>	16
Tabla 3	<i>Composición escoria horno eléctrico (escoria negra)</i>	18
Tabla 4	<i>Composición escoria horno cuchara (escoria blanca)</i>	18
Tabla 5	<i>Tipo de listado para las sustancias químicas utilizadas en la planta de fundición</i>	25
Tabla 6	<i>Listado de sucesos iniciadores-</i>	26
Tabla 7	<i>Estructura del árbol de sucesos</i>	27
Tabla 8	<i>Determinación del índice de Consecuencias Medioambientales</i>	28
Tabla 9	<i>Valoración de la toxicidad mediante valores toxicológicos</i>	30
Tabla 10	<i>Valoración de la toxicidad para sustancias peligrosas según la Directiva 67/548/CEE</i>	30
Tabla 11	<i>Valoración de la toxicidad a través del pictograma de la sustancia</i>	30
Tabla 12	<i>Valoración de la volatilidad</i>	31
Tabla 13	<i>Valoración de la bioconcentración</i>	32
Tabla 14	<i>Valoración de la adsorción</i>	32
Tabla 15	<i>Valoración de la biodegradación</i>	33
Tabla 16	<i>Valoración de la sinergia</i>	33
Tabla 17	<i>Valoración de la cantidad involucrada</i>	34
Tabla 18	<i>Valoración del área afectada por el accidente</i>	35
Tabla 19	<i>Valoración del tipo de entorno afectado</i>	36
Tabla 20	<i>Valoración de la categoría de protección de especies</i>	38
Tabla 21	<i>Valoración del impacto en actividades socioeconómicas</i>	39
Tabla 22	<i>Valoración de la alteración de recursos naturales e infraestructura</i>	39
Tabla 23	<i>Valoración de la población afectada</i>	40
Tabla 24	<i>Valoración de la población sensible</i>	40
Tabla 25	<i>Criterio para el factor Probabilidad, criterio UNE 15008 EX</i>	41
Tabla 26	<i>Criterio para el factor Probabilidad, equivalencia ACR</i>	42
Tabla 27	<i>Sustancias químicas utilizadas en la planta de fundición</i>	44

Tabla 28	<i>Residuos generados en la planta de fundición.....</i>	45
Tabla 29	<i>Sucesos iniciadores identificados.....</i>	46
Tabla 30	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes a la etapa productiva – H. eléctrico.....</i>	48
Tabla 31	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes a la etapa productiva – H. cuchara.....</i>	48
Tabla 32	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes a la etapa productiva – C. continua.....</i>	49
Tabla 33	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Planta de tratamiento de agua.....</i>	50
Tabla 34	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Planta de tratamiento de agua - Método HAZOP.....</i>	51
Tabla 35	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Planta de tratamiento de humos.....</i>	51
Tabla 36	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Almacenamiento de materia prima....</i>	52
Tabla 37	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Almacenamiento de residuos.....</i>	53

Tabla 38	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Análisis y control de calidad.....</i>	53
Tabla 39	<i>Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – almacenamiento de glp.....</i>	54
Tabla 40	<i>Escenarios accidentales considerados.....</i>	55
Tabla 41	<i>Peligrosidad de las sustancias - Comportamiento medioambiental.....</i>	57
Tabla 42	<i>ICM para Escenario accidental I.1.1 - Derrame de 1,000 kg de cal cálcica</i>	61
Tabla 43	<i>ICM para Escenario accidental I.1.2 - Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica.....</i>	63
Tabla 44	<i>ICM para Escenario accidental I.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso.....</i>	65
Tabla 45	<i>ICM para Escenario accidental I.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio.....</i>	67
Tabla 46	<i>ICM para Escenario accidental I.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio.....</i>	69
Tabla 47	<i>ICM para Escenario accidental II.1.1. Derrame de 500 kg de cal cálcica.....</i>	71
Tabla 48	<i>ICM para Escenario accidental II.1.2. Derrame de 100 kg de sílico manganeso.....</i>	73
Tabla 49	<i>ICM para Escenario accidental III.1.1 Derrame de 50 kg de aluminio.....</i>	75
Tabla 50	<i>ICM para Escenario accidental IV.1.1. Derrame de 50 kg de sosa cáustica.....</i>	77
Tabla 51	<i>ICM para escenario accidental iv.1.2. derrame de 2,000 l de hipoclorito sodio.....</i>	79
Tabla 52	<i>ICM para escenario accidental IV.1.3. derrame de 2,000 l de ácido clorhídrico.....</i>	81
Tabla 53	<i>ICM para escenario accidental IV.2.1. derrame de 1,000 l agua sin tratar..</i>	83

Tabla 54	<i>ICM para escenario accidental IV.3.1. derrame de 100 kg de sosa cáustica.....</i>	<i>85</i>
Tabla 55	<i>ICM para escenario accidental V.1.1. escape de 500 kg de polvo de acería.....</i>	<i>87</i>
Tabla 56	<i>ICM para escenario accidental VI.1.1 - derrame de 1,000 kg de cal cálcica.....</i>	<i>89</i>
Tabla 57	<i>ICM para escenario accidental VI.1.2 - derrame de 1,500 kg de cal dolomítica.....</i>	<i>91</i>
Tabla 58	<i>ICM para escenario accidental VI.1.3. derrame de 700 kg de sílico manganeso.....</i>	<i>93</i>
Tabla 59	<i>ICM para escenario accidental VI.1.4. derrame de 100 kg de carburo de calcio.....</i>	<i>95</i>
Tabla 60	<i>ICM para escenario accidental VI.1.5. derrame de 100 kg de carburo de silicio.....</i>	<i>97</i>
Tabla 61	<i>ICM para escenario accidental VI.1.6 derrame de 50 kg de aluminio</i>	<i>99</i>
Tabla 62	<i>ICM para escenario accidental VII.1.1 - derrame de 30,000 kg de escoria.....</i>	<i>101</i>
Tabla 63	<i>ICM para escenario accidental VII.2.1. derrame de 1,000 kg de polvo de acería.....</i>	<i>103</i>
Tabla 64	<i>ICM para escenario accidental VIII.1.1. derrame de 40 l de ácido clorhídrico.....</i>	<i>104</i>
Tabla 65	<i>ICM para escenario accidental IX.1.1. bleve tanque glp.....</i>	<i>106</i>
Tabla 66	<i>ICM para escenario accidental IX.1.2. jet fire glp.....</i>	<i>108</i>
Tabla 67	<i>ICM para escenario accidental IX.1.3. explosión de vapor glp.....</i>	<i>109</i>
Tabla 68	<i>ICM para escenario accidental IX.1.4. flash fire glp.....</i>	<i>111</i>
Tabla 69	<i>ICM para escenario accidental IX.1.5. dispersión tóxica glp.....</i>	<i>112</i>
Tabla 70	<i>Valor del riesgo ambiental.....</i>	<i>113</i>
Tabla 71	<i>Propuestas de prevención para los respectivos escenarios accidentales considerados.....</i>	<i>118</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de fundición de acero con horno eléctrico	10
Figura 2. Disposición de cada área de proceso dentro de la planta de fundición	15
Figura 3. Esquema de la metodología aplicada	24
Figura 4. Evaluación de Riesgo Ambiental	43
Figura 5. Área del escenario accidental I.1.1	60
Figura 6. Área de influencia del escenario accidental I.1.1	60
Figura 7. Área del escenario accidental I.1.2.....	62
Figura 8. Área de influencia del escenario accidental I.1.2.....	62
Figura 9. Área del escenario accidental I.1.3.....	64
Figura 10. Área de influencia del escenario accidental I.1.3.....	64
Figura 11. Área del escenario accidental I.1.4.....	66
Figura 12. Área de influencia del escenario accidental I.1.4.....	66
Figura 13. Área del escenario accidental I.1.5.....	68
Figura 14. Área de influencia del escenario accidental II.1.5.....	68
Figura 15. Área del escenario accidental II.1.1	70
Figura 16. Área de influencia del escenario accidental II.1.1	70
Figura 17. Área del escenario accidental II.1.2.....	72
Figura 18. Área de influencia del escenario accidental II.1.2	72
Figura 19. Área del escenario accidental III.1.1	74
Figura 20. Área de influencia del escenario accidental III.1.1	74
Figura 21. Área del escenario accidental IV.1.1	76
Figura 22. Área de influencia del escenario accidental IV.1.1	76
Figura 23. Área del escenario accidental IV.1.2	78
Figura 24. Área de influencia del escenario accidental IV.1.2	78
Figura 25. Área del escenario accidental IV.1.3	80
Figura 26. Área de influencia del escenario accidental IV.1.3	80
Figura 27. Área del escenario accidental IV.2.1	82
Figura 28. Área de influencia del escenario accidental IV.2.1	82
Figura 29. Área del escenario accidental IV.3.1	84

Figura 30. Área de influencia del escenario accidental IV.3.1	84
Figura 31. Área del escenario accidental V.1.1	86
Figura 32. Área de influencia del escenario accidental V.1.1	86
Figura 33. Área del escenario accidental VI.1.1	88
Figura 34. Área de influencia del escenario accidental VI.1.1	88
Figura 35. Área del escenario accidental VI.1.2	90
Figura 36. Área de influencia del escenario accidental VI.1.2	90
Figura 37. Área del escenario accidental VI.1.3	92
Figura 38. Área de influencia del escenario accidental VI.1.3	92
Figura 39. Área del escenario accidental VI.1.4	94
Figura 40. Área de influencia del escenario accidental VI.1.4	94
Figura 41. Área del escenario accidental VI.1.5	96
Figura 42. Área de influencia del escenario accidental VI.1.5	96
Figura 43. Área del escenario accidental VI.1.6	98
Figura 44. Área de influencia del escenario accidental VI.1.6	98
Figura 45. Área del escenario accidental VII.1.1	100
Figura 46. Área de influencia del escenario accidental VII.1.1	100
Figura 47. Área del escenario accidental VII.2.1	102
Figura 48. Área de influencia del escenario accidental VII.2.1	102
Figura 49. Área del escenario accidental IX.1.1	105
Figura 50. Área de influencia del escenario accidental IX.1.1	105
Figura 51. Área del escenario accidental IX.1.2	107
Figura 52. Área de influencia del escenario accidental IX.1.2	107
Figura 53. Área del escenario accidental IX.1.4	110
Figura 54. Área de influencia del escenario accidental IX.1.4	110
Figura 55. Evaluación de riesgo ambiental de todos los escenarios accidentales.....	116
Figura 56. Evaluación de riesgo ambiental de los escenarios que representan mayor riesgo.....	117

RESUMEN

En la actualidad la contaminación industrial representa uno de los problemas ambientales más significativos. Durante los últimos años diferentes estudios e investigaciones se han orientado en buscar alternativas viables para reducir las emisiones que producen diversas industrias siderúrgicas. El presente trabajo de titulación consiste en proponer una serie de medidas de prevención de riesgos, las cuales tienen base en una evaluación de riesgos ambientales correspondientes a la etapa productiva y sistemas auxiliares en la planta de fundición de acero de la empresa ADELCA C.A. Centro Aloag. Esta evaluación inició con el reconocimiento y clasificación de los insumos químicos, seguido con la identificación de los escenarios accidentales y la probabilidad o frecuencia con la que ocurren en la empresa. El riesgo ambiental de cada escenario se analizó en función de la probabilidad del accidente y del cálculo de un Índice de Consecuencias Medioambientales (ICM), en el cual, aparecen valoraciones del área de influencia, peligrosidad, cantidad involucrada y vulnerabilidad socioeconómica. Los resultados determinaron que ninguno de los escenarios accidentales genera un riesgo elevado, 4 escenarios accidentales se encuentran en la zona de riesgo ALARP que deben ser reducidos hasta el nivel más bajo posible, y 24 escenarios accidentales generan un riesgo moderado. Finalmente se sugirieron 9 propuestas de prevención enfocadas en reducir el ICM o la probabilidad de ocurrencia y por consiguiente reducir el riesgo ambiental.

PALABRAS CLAVE:

- **RIESGO AMBIENTAL**
- **ADELCA C.A.**
- **EVALUACIÓN DE RIESGO**

ABSTRACT

At present, industrial pollution represents one of the most significant environmental problems. In recent years, different studies and research have focused on finding viable alternatives to reduce the emissions produced by various steel industries. The present titling work consists in proposing a series of risk prevention measures, which are based on an evaluation of environmental risks corresponding to the productive stage and auxiliary systems in the steel smelting plant of the company ADELCA C.A. Aloag Center. This evaluation began with the recognition and classification of chemical inputs, followed by the identification of accidental scenarios and the probability or frequency with which they occur in the company. The environmental risk of each scenario was analyzed according to the probability of the accident and the calculation of an Environmental Consequences Index (ICM), in which, assessments of the area of influence, danger, quantity involved and socioeconomic vulnerability appear. The results determined that none of the accidental scenarios generates a high risk, 4 accidental scenarios are in the ALARP risk zone that must be reduced to the lowest possible level, and 24 accidental scenarios generate a moderate risk. Finally, 9 prevention proposals focused on reducing the ICM or the probability of occurrence and therefore reducing the environmental risk were suggested.

KEYWORDS:

- **ENVIRONMENTAL RISK**
- **ADELCA C.A.**
- **RISK EVALUATION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El acero es uno de los materiales más utilizados tanto en ingeniería como en construcción. Esto debido a que alrededor del 80 % de todos los metales producidos se derivan del acero. Consigue un alto grado de importancia debido a diferentes características como: resistencia, facilidad de fabricación, y un extenso rango de propiedades a bajo costo (Maldonado, 2016).

Según Arruti (2009) los principales problemas medioambientales asignados a la producción siderúrgica tienen que ver con las emisiones atmosféricas y con los residuos y subproductos sólidos. Las industrias siderúrgicas son responsables del 27 % de las emisiones de CO₂ que genera la actividad industrial en el mundo. En la actualidad, entre el 60 y 65 % del acero que se fabrica en el mundo se produce en altos hornos, lo que da lugar entre 1.8 y 2.0 toneladas de CO₂ por tonelada de producto. La contaminación provocada por los hornos de arco eléctrico, que son los de mayor utilización en el mundo es sensiblemente inferior. Sin embargo, el almacenamiento y disposición de la materia prima, también generan riesgos ambientales, que no solo afecta a sectores aledaños vulnerables, sino también a la salud de los trabajadores.

En la década de los setenta inició un reconocimiento del medio ambiente como un factor importante de garantías del bienestar social. Así mismo, aparece un término muy importante, que hasta el día de hoy repercute en la sociedad: el desarrollo sostenible, que tiene como principal objetivo, satisfacer todas las necesidades y exigencias de la generación presente, sin que se vean afectadas las necesidades de las futuras generaciones y que cumplan con sus respectivas demandas (Cardona, 2015).

Uno de los problemas ambientales más consecuentes es la contaminación industrial. En los últimos años por medio de estudios, investigaciones y proyectos, se han intentado disminuir las emisiones que producen diferentes contaminantes, obteniendo resultados favorables en beneficio del medio ambiente.

Existe una gran variedad de métodos para analizar los efectos y riesgos ambientales que ocasionan las actividades de la industria en el entorno natural, todas ellas ligadas y comprometidas al bienestar ambiental y laboral. Por esta razón en este proyecto se toma en cuenta investigaciones como la de Delgado (2007), quien desarrolló un nuevo procedimiento para la evaluación de riesgos ambientales, enfocada en la aplicación de indicadores medioambientales. La autora planteó como objetivo principal, el medir con ecuanimidad la gestión de una empresa y su avance en la reducción de los riesgos en cualquier campo industrial. Iniciando con el análisis de distintos parámetros como: sustancias químicas presentes en el establecimiento industrial, sucesos iniciadores, factores condicionantes y escenarios accidentales. Esta metodología precisa los dos elementos que influyen en el cálculo del riesgo ambiental: consecuencias y probabilidades, que son conseguidas a partir de valoraciones de tablas que estiman y evalúan su repercusión en cada uno de los escenarios accidentales.

Por otro lado Galarza (2017) identificó los factores de riesgos ambientales físicos, químicos, y biológicos en una empresa metalmecánica, iniciando con el método inductivo de observación, el cual brindó una perspectiva inicial del problema a investigar, que dio paso a desarrollar un registro de análisis por cada sitio de trabajo con la ayuda de la metodología de evaluación realizada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajador sede España (INSHT), la cual identifica los posibles riesgos materiales en todos los sitios de trabajo, basándose en un cuadro que muestra una relación entre la probabilidad, que tiene una ponderación de baja, media, alta, y la consecuencia esperada que se conceptúa desde ligeramente nocivo, nocivo a extremadamente nocivo. Posteriormente empleó una matriz de identificación de peligros y riesgos, finalizando con un plan de prevención de riesgos, mantenimiento de maquinaria, señalización y capacitación, con el propósito de disminuir las probabilidades de riesgos.

Mendieta (2017) realizó un análisis de riesgo medioambiental tomando en cuenta algunos de los posibles acontecimientos que conllevaban a un accidente, en relación a los diferentes insumos químicos utilizados en una planta de fundición de acero. La autora utilizó una metodología de medición de riesgos ambientales propuesta por la fundación española MAPFRE. Esta investigación se basa en el uso de indicadores medioambientales, que miden la gestión de una industria, brindando así oportunidades de perfeccionamiento en todo aspecto y que sean aplicadas para disminuir los riesgos, todo esto en función de probabilidades y frecuencia. Dicha investigación es una herramienta muy importante que permitirá en un futuro, el desarrollo de medidas de control de riesgos en la industria evaluada.

Liñán (1999) determinó diferentes métodos de análisis de riesgo ambientales existentes, con los cuales se puede definir de manera precisa la magnitud y la probabilidad de riesgo ambiental de distintas industrias, todo esto con el objetivo de controlar y mantener el riesgo dentro de niveles aceptables para la seguridad de la población y el medio ambiente. El procedimiento que utilizó para desarrollar el trabajo de investigación fue: la compilación de información acerca del tema, entrevistas con personas en instituciones académicas y en organismos gubernamentales y no gubernamentales relacionados con la problemática ambiental. Además, realizó una aplicación práctica en forma combinada de dos de los métodos estudiados para la evaluación del riesgo de un cilindro de cloro gas instalado en una planta de tratamiento de agua y la simulación de los efectos y daños que ocasionaría la descarga total al ambiente del cloro contenido en un cilindro.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la empresa Acería del Ecuador (ADELCA C.A.) centro Aloag dispone de una gran cantidad de materia prima, en su mayoría sustancias químicas peligrosas como: cal cálcica, cal dolomítica, aleaciones de silicio y manganeso, ferrovanadio, fluorita, ácido clorhídrico, soda cáustica, hipoclorito de sodio, glp, etc. Estas son utilizadas tanto en la etapa de producción de acero como en algunos sistemas auxiliares. Debido a que la proporción y diversidad de estas sustancias químicas presentes en las etapas anteriormente mencionadas son considerables, existe una tendencia a accidentes como: rotura de big bag, derrame de líquidos, fuga de combustible, explosiones, desbordes, etc.

Esta tendencia significaría un riesgo medioambiental potencial, de acuerdo con la magnitud y la frecuencia con la que se desarrollan los accidentes.

Una evaluación de riesgo ambiental es necesaria para estudiar y poner en consideración algunos posibles escenarios accidentales y la frecuencia con los que ocurren, de acuerdo a las actividades diarias que se realizan en la planta de fundición. Este análisis permitirá determinar el valor del daño medioambiental, sirviendo como una herramienta eficaz que posibilitará desarrollar diferentes técnicas para prevenir y minimizar los riesgos, en función de la probabilidad y la frecuencia de los mismos.

1.3. Justificación e importancia

Cada día adquiere una mayor importancia el impacto ambiental que producen o puedan producir ciertas industrias nacionales, las cuales se ven más involucradas en desarrollar técnicas de reducción y prevención, pues, periódicamente son evaluadas desde distintas entidades gubernamentales, con el objetivo de implantar una educación ambiental de reducción o eliminación de riesgos ambientales.

Ante todo, el Gobierno del Ecuador pretende aplicar normas ambientales que permitan la disminución o eliminación de contaminantes al medio ambiente, logrando ser amigables con la naturaleza. Además, se desea instaurar un derecho obligatorio a los ciudadanos, de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, cumpliendo así el Art14. Del derecho del buen vivir perteneciente a la Constitución de la República del Ecuador (Ecuador, 2008)

En el ámbito de la gestión industrial, la evaluación de riesgo ambiental y la identificación de sus efectos potenciales, son el principal objetivo de distintos tipos de auditorías, las cuales son la base para obtener certificados como la Norma ISO 14,001. Este es uno de los estándares más utilizados para la gestión ambiental y se ha puesto en práctica como certificación en diferentes industrias del Ecuador y del mundo.

En la actualidad la empresa ADELCA C.A. centro Aloag, se ha enfocado en mantener una responsabilidad con el ambiente. Es así que consiguió la certificación ISO 14001:2015, y al encontrarse en constante crecimiento, se ve obligada a desarrollar múltiples innovaciones. Una de ellas es tratar de conseguir una nueva certificación ISO 14001, que presentará algunos cambios en comparación a la anterior certificación, siendo uno de los más destacados el tratamiento de riesgos, vinculados a los aspectos ambientales en cada una de las actividades productivas (ISOtools, 2015). Por este motivo, se busca evaluar los riesgos ambientales de todas las etapas productivas y servicios auxiliares en la planta de fundición de acero, con el fin de obtener una herramienta que además de servir como una base fundamentada para lograr conseguir el nuevo certificado, permitirá desarrollar oportunidades y técnicas para disminuir los riesgos ambientales.

Es fundamental mencionar que la determinación del riesgo ambiental de manera cuantitativa y con la ayuda de un simulador, permite dimensionar en forma real las consecuencias de un accidente. En base a lo anterior se proponen las acciones preventivas necesarias que como resultado traerán la disminución del nivel del riesgo ambiental.

1.4. Objetivos general y específicos

1.4.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta de prevención de riesgo ambiental elevado correspondiente a la etapa de producción y sistemas auxiliares en la planta de fundición de acero de la empresa ADELCA C.A. – Centro Aloag.

1.4.2. Objetivos específicos

- Reconocer las sustancias químicas que representen un alto riesgo ambiental, conforme a sus características, cantidad utilizada en los procesos y presencia dentro de la planta de fundición.
- Determinar las causas y peligros que se originan en la planta fundidora de acero, de acuerdo a los procesos productivos, insumos químicos utilizados y residuos generados, con la finalidad de establecer los escenarios accidentales por medio del método HAZOP y el método de árbol de sucesos.
- Calcular el Índice de Consecuencias Medioambientales (ICM) de cada uno de los escenarios accidentales propuestos en la etapa productiva y sistemas auxiliares de la planta fundidora de acero.

- Analizar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios accidentales considerados por medio de análisis cualitativos y cuantitativos de riesgos de la empresa y análisis históricos de accidentes en industrias siderúrgicas.
- Obtener el valor del riesgo ambiental para cada escenario accidental, mediante una gráfica que muestra la relación entre el Índice de Consecuencias Medioambientales (ICM) y la probabilidad de que sucedan los accidentes.
- Plantear una propuesta de prevención o reducción de un riesgo ambiental elevado que pertenezca a una etapa operacional.

1.5. Hipótesis

Mediante la evaluación del riesgo ambiental correspondiente a la etapa de producción y sistemas auxiliares en la planta de fundición de acero de la empresa ADELCA C.A – Centro Aloag, se determinará que ninguno de los escenarios accidentales se encuentra dentro de la categoría de región de riesgo elevado.

1.6. Variables de investigación

- **Variables Independientes:** Sustancias químicas peligrosas, escenarios accidentales, índice de consecuencias ambientales, probabilidades de producirse un accidente.
- **Variable Dependiente:** Evaluación de riesgo ambiental.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Acería del Ecuador ADELCA C.A

Acería del Ecuador Compañía Anónima fue fundada en el año de 1963 por un grupo de idealistas ecuatorianos que se comprometieron con el reto de ofrecerle al Ecuador una industria siderúrgica, que en forma tecnológica y económica, abarque las necesidades en la rama de ingeniería y construcción (Correa, 2014).

Acería del Ecuador ADELCA C.A. es una industria productora de acero, que está ubicada en la parroquia Aloag, sobre el margen del cantón Mejía, lo cual brinda una geografía favorecida, que une directamente con la principal ruta de la carretera ecuatoriana, la vía Aloag - Santo Domingo.

Desde el inicio de la producción, ADELCA C.A, ha mantenido una continua innovación en todos los sistemas de producción y en los diferentes servicios auxiliares brindados a sus clientes siendo necesario reinvertir sus beneficios, con el objetivo de asignarle a la empresa de una tecnología avanzada y personal capacitado (Uribe, 2012).

2.2. Planta de fundición de acero

2.2.1. Etapa productiva

El proceso de conversión de chatarra en acero moldeado (palanquilla); comienza con la recepción y almacenamiento de chatarra en el patio de metálicos, seguido por una fase de fusión en el horno eléctrico, una fase de afino en el horno cuchara, y finalmente un moldeado en colada continua, como se muestra en la Figura 1.

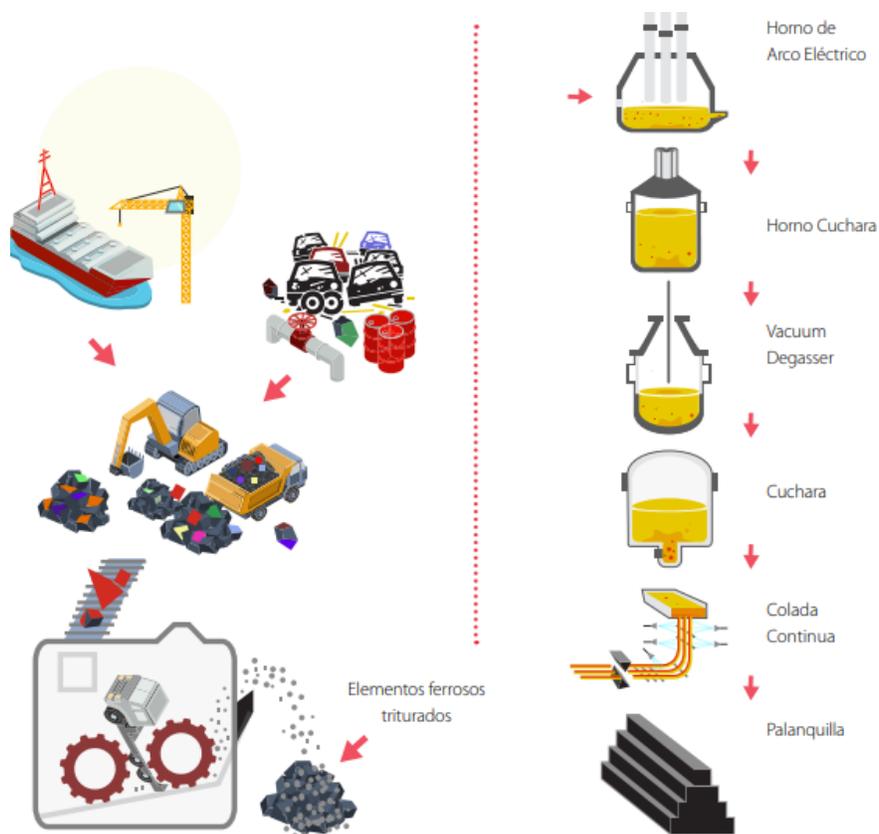


Figura 1. Proceso de fundición de acero con horno eléctrico

Fuente: (ADELCA C.A. 2017)

a. Horno arco eléctrico (EAF)

El horno eléctrico es un envase cilíndrico de grandes dimensiones, que se calienta aproximadamente hasta 1,600°C por medio de un arco eléctrico. Está construido con láminas gruesas (20 a 30 mm de espesor) recubierto de material refractario que forma la solera (suelo del horno) y aloja el acero líquido y escoria formada. El resto del horno está compuesto por paneles refrigerados con agua. El envase es transportable, lo que permite cargar la chatarra por medio de cestas adecuadas (Medina, 2010).

El horno cuenta con una bóveda, la cual contiene una serie de agujeros por donde se encajan los electrodos, normalmente tres, que son gruesas barras de grafito de hasta 60 cm de diámetro. Los electrodos se trasladan de forma que se regule su distancia a la carga mientras se van agotando o consumiendo (Villafuerte, 2008).

Cabe recalcar que los electrodos se encuentran conectados a un transformador que proporciona ciertas condiciones de voltaje e intensidad apropiados, que permitirán hacer saltar el arco, con intensidad variable, en función a la etapa de operación del horno. Otro agujero situado en la bóveda posibilita la atracción y posterior depurado de los gases de combustión, con la finalidad de evitar la contaminación de la atmósfera. El horno está acoplado sobre una estructura pendular que le permite oscilar para proceder a la separación de la escoria y el vaciado del acero líquido (Medina, 2010).

b. Horno Cuchara (LF)

Una vez que ha culminado el proceso en el horno eléctrico, el acero fundido se traslada a un horno de menor tamaño y potencia, conocido como horno cuchara. Este horno se

utiliza para: efectuar una fase de afino, adecuar la temperatura de la colada y obtener una nueva composición química del material por medio de una evaluación del contenido de la aleación (Narváez, 2018).

c. Colada Continua

La colada continua es una técnica siderúrgica donde el acero contenido en el horno cuchara se vacía directamente en un molde de fondo desplazable (tundish), cuya sección transversal tiene la forma geométrica del semiproducto que se desea fabricar (Correa, 2014).

El tundish tiene un orificio de fondo, por el que reparte el acero líquido (colada) en varias líneas, cada una dispone de su lingotera o molde, generalmente fabricada de cobre. Además, presenta paredes huecas que hacen posible su refrigeración con agua, lo que sirve para dar forma al producto. La lingotera realiza movimientos sucesivos hacia arriba y hacia abajo, con el objetivo de separar la costra sólida producida en el enfriamiento (Medina, 2010).

Posteriormente, se emplea un sistema de enfriamiento controlado por medio de aspersión de agua fría primero, y al aire después, cortando después el semiproducto en longitudes deseadas según la demanda, mediante un oxicorte. Durante el proceso la palanquilla se encuentra en constante movimiento gracias a los rodillos de transporte instalados a lo largo de todo el sistema (Medina, 2010).

2.2.2. Sistemas auxiliares

a. Planta de tratamiento de agua para el proceso

La planta de tratamiento de agua para uso industrial tiene como principal objetivo el conservar las diferentes condiciones de calidad del agua, que se utiliza para alguno de los procesos, tanto en la planta fundidora de acero como en laminación. El agua industrial es sometida a diferentes tratamientos físico-químicos con la finalidad de separar y eliminar impurezas que adquiere en el proceso como: óxidos provenientes de escoria, aceites, limaduras, etc. Es importante mencionar que el flujo de agua se mantiene en un ciclo cerrado y no existe ninguna descarga directa hacia algún afluyente (Zapata, 2013).

En la planta fundidora de acero el agua industrial se utiliza para refrigerar algunos paneles del horno de arco eléctrico (EAF), en el proceso de colada continua, entre otros. Mediante intercambio de calor el agua enfría el elemento a refrigerar sin tener contacto con el mismo y retorna a la planta de tratamiento de agua industrial en un circuito cerrado, donde es acondicionada con la ayuda de una torre de enfriamiento y un intercambiador de calor, según el proceso al que retorne (Mendieta, 2017).

b. Planta de tratamiento de humos

En la planta de tratamiento de humos se procesan los polvos provenientes de los diferentes hornos utilizados en la planta de fundición de acero. El polvo de acería está formado por partículas finas, compuestas por óxidos (ver Tabla 1) resultantes de reacciones químicas de sustancias utilizadas en la misma fundición como: cal cálcica, cal

dolomítica, ferroaleaciones, etc. Estas sustancias son arrastradas por los gases de salida que se originan en el horno eléctrico y horno cuchara.

Se estima que aproximadamente se produce 10 Kg de polvo de acería por tonelada de acero. El proceso consta en la separación de partículas pesadas con la ayuda de un ciclón y por filtros de mangas que cumplen la función de retener las partículas. Se realiza un almacenamiento temporal hasta que se realice la gestión como desecho peligroso.

Tabla 1
Composición polvo de acería

Compuesto	%peso/peso
Fe ₂ O ₃	48.1
CaO	22.7
SiO ₂	14.5
MgO	6.9
Al ₂ O	6.7
ZnO	0.8
TiO ₂	0.5
SO ₃	0.4
Na ₂ O	0.4
P ₂ O	0.3
K ₂ O	0.05

Fuente: (ADELCA C.A. 2017)

c. Almacenamiento de materias primas

En la industria y elaboración de acero con alto y bajo contenido de carbono, se utilizan aproximadamente mil productos químicos, empleados no solo como materia prima sino también producidos en forma de contaminantes en los hornos, elementos de mantenimiento de equipos y aditivos en diferentes procesos y sistemas auxiliares de la planta (Moffit & Masaitis, 2015).

El área de almacenamiento de materias primas es aproximadamente de 816 m². Es el lugar donde se reúnen los insumos, sustancias químicas y materiales que se utilizan en los diferentes procesos. El almacenaje de las sustancias químicas se sitúa en un recinto abierto. Consta de una construcción mixta, con pisos adoquinados, armazón metálico y techos de novalosa. Dependiendo la disposición de cada materia prima se aglomera cada saco uno arriba de otro, siguiendo normas de seguridad y evitando en lo mínimo la circulación de personas por el lugar.

Para obtener una visión más clara de la distribución tanto de la etapa de proceso como de los sistemas auxiliares, en la Figura 2 se muestra la ubicación de cada área de proceso dentro de la planta de fundición.



Figura 2. Disposición de cada área de proceso dentro de la planta de fundición

d. Almacenamiento GLP (Gas Licuado de Petróleo)

El GLP (gas licuado de petróleo) es una mezcla de alcanos que está compuesto fundamentalmente por butano y propano. Tiene su origen en las fases de refinamiento y tratamiento del petróleo crudo o gas natural. Es un gas extremadamente inflamable, por sus características y composición es un asfixiante que aparta al oxígeno del aire y convierte un ambiente contaminado (André, 2005).

El abastecimiento de los gases usados en el proceso se suministra normalmente como gases comprimidos o como líquidos criogénicos. Como se muestra en la Tabla 2, se utilizan generalmente cilindros de acero, termos criogénicos y en caso de tener un gran consumo, estanques criogénicos fijos. La selección de los sistemas de envasado depende netamente del producto y el consumo diario (INDURA, 2015).

Tabla 2

Elección de los sistemas de envasado

Sistema	Rango de Consumo Diario m ³	Número Cilindros Equivalentes
Cilindros	Hasta 36	1 - 4
Termos	45 a 90	5 - 10
Estanques	100 a 136	11 o más

Fuente: (INDURA, 2015)

e. Análisis de calidad

El análisis y control de calidad corresponde a las tareas o actividades a realizar una vez que la palanquilla atraviesa el proceso de colada continua. Comenzando con el fraccionamiento de palanquilla con la ayuda del oxicorte, seguido por un cálculo de

rombosidad y por último un análisis de macrografía de una fracción de palanquilla para cada colada.

f. Deposición y almacenamiento de escoria

El proceso de fundición de acero generalmente se compone de dos fases: la primera denominada metalurgia de fusión, donde sucede la unión de las materias primas en el horno de arco eléctrico, y la segunda llamada metalurgia de afino, la cual inicia en el horno eléctrico y culmina en el horno cuchara.

En el período de fusión figuran una serie de etapas como: la oxidación, que está destinada a disminuir o eliminar impurezas de silicio y manganeso, la defosforación añadiendo distintos químicos y la creación de escoria espumante, en la que están presentes todas las impurezas. La escoria formada en esta fase se denominan escorias negras (CEDEX, 2011).

La etapa de afino consta de una secuencia de fases tales como: la desoxidación, la cual posibilita la eliminación de óxidos metálicos del baño, la desulfuración y descarburación de acero. El acero fundido del horno eléctrico se trasvasa al horno cuchara donde se recubre con una escoria llamada escoria blanca y se agita incesantemente con un gas inerte, generalmente nitrógeno o argón. La escoria blanca facilita la disminución de óxidos metálicos que se presentan en el baño. Al mismo tiempo se produce la desulfuración del acero fundido, que se realiza por contacto con la cal presente en la escoria blanca (CEDEX, 2011).

En las Tablas 3 y 4, se presenta la composición química de escoria de horno eléctrico y horno cuchara.

Tabla 3*Composición escoria horno eléctrico (escoria negra)*

Compuesto	%peso/peso
FeO	23.1
CaO	31.91
SiO ₂	15.61
MgO	9.79
Al ₂ O	11.91
TiO ₂	1.18
S	0.28
MnO	4.87
P ₂ O ₅	0.4

Fuente: (ADELCA C.A. 2017)

Tabla 4*Composición escoria horno cuchara (escoria blanca)*

Compuesto	%peso/peso
Fe ₂ O ₃	1.03
CaO	35.02
SiO ₂	27.55
MgO	24.88
Al ₂ O ₃	8.13
ZnO	0.8
V ₂ O ₅	0.02
Cr ₂ O ₃	0.1
MnO	1.07
BaO	0.13
ZrO ₂	0.04

Fuente: (ADELCA C.A. 2017)

2.3. Riesgo Ambiental

El riesgo ambiental, agrupa todos los escenarios accidentales asociados a la actividad industrial que son propensos a ocasionar deterioro al medio ambiente.

Un riesgo ambiental se traduce como la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que puede dañar directa o indirectamente al medio ambiente. Este fenómeno también está ligado a una probabilidad de suceso y la gravedad de sus consecuencias. Los riesgos ambientales adquieren más trascendencia en la sociedad puesto que, la reducción y eliminación depende de garantizar una apropiada calidad del medio ambiente, elemento primordial en la actualidad (Pacay, 2014).

Según Delgado (2007) el riesgo ambiental es la probabilidad de sufrir cualquier daño hacia instalaciones, medio ambiente y personas. Así, con una fórmula matemática se puede traducir al riesgo como el producto entre la probabilidad de que suceda un accidente y las consecuencias que conlleva aquel accidente, como en la Ecuación 1.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia} \quad (1)$$

Donde:

Probabilidad = Frecuencia de ocurrencia de un accidente.

Consecuencia = Efecto o resultado de un accidente.

2.4. Evaluación de riesgo ambiental

La evaluación de riesgo ambiental se lleva a cabo en empresas e industrias con la finalidad de cuantificar el riesgo que presentan sus instalaciones para el ambiente, sus empleados y población aledaña. Las entidades gubernamentales exigen los estudios para la evaluación del riesgo de las instalaciones industriales. Tanto la industria como las autoridades tienen el deber de mantener un equilibrio entre el crecimiento industrial y el control de accidentes (Liñán, 1999).

Delgado (2007) desarrolló una metodología basada en cuatro pasos: reconocimiento de sustancias químicas, identificación de escenarios accidentales, análisis del índice de consecuencias medioambientales y el análisis de las probabilidades que se produzca un accidente.

2.4.1. Sustancias químicas en la industria siderúrgica.

Las sustancias químicas presentes en la industria siderúrgica son minerales de origen como: carbonatos, óxidos, silicatos entre otros y en productos como: metales ferrosos (aleaciones de hierro y acero) y metales no ferrosos (aleaciones de cobre, zinc plata, aluminio). Las materias primas usadas son muy variables y dependen netamente de la actividad a realizar. Algunos ejemplos son los fundentes, activadores e inhibidores (cales y minerales de hierro). En cuanto al consumo de energía es considerablemente alto y depende de las actividades y procesos involucrados (SEMARNAT, 2016).

2.4.2. Escenarios accidentales

Los escenarios accidentales pueden ser hechos o suposiciones que se presentan en las diferentes instalaciones de una empresa. Para identificar los escenarios accidentales es necesario utilizar métodos como: arboles de sucesos y HAZOP, donde es obligatorio poseer datos históricos del accidente, así como también, de los sucesos iniciadores y factores condicionantes involucrados en el accidente (Ruiz, 2014).

a. Método árbol de sucesos

El método del árbol de sucesos consiste en la construcción de un diagrama gráfico por etapas, a partir, de eventos iniciadores que suponen una incidencia significativa y desde luego, son indeseados. Sirve también para explorar y averiguar lo que puede suceder y, sobretodo, comprobar si las medidas o normas preventivas actuales son eficientes para disminuir o eliminar algunos de los efectos negativos (INSHT, 2008).

Este método también puede ser aplicado en la evaluación de probabilidades del escenario accidental, utilizando métodos analíticos y estadísticos. La mayor ventaja de los análisis de árbol de sucesos son los datos que arrojan, a partir de los cuales, permiten evaluar e incrementar la credibilidad del funcionamiento de los sistemas (López, Irán, Zahily, & Cabrera, 2018).

Las conclusiones deben convertirse en un manual de prevención. Este manual o plan de trabajo debe constar con acciones puntuales, objetivos, personas responsables, debe ser además objeto de un seguimiento obligatorio en cuanto a su cumplimiento y a su eficacia. Es importante mencionar que las decisiones de corrección deben ser integradas al plan de prevención de la industria o empresa (ISTAS, 2004)

b. Método HAZOP

El método de Análisis de Riesgo y Operatividad (HAZOP) fue creado para establecer y evaluar los peligros que se llevan a cabo en una planta de operación, e identificar los inconvenientes de operatividad que, aunque no sean considerados peligrosos, pueden

complicar el funcionamiento de la planta y su capacidad para alcanzar la productividad y rendimiento que fue establecido en su diseño (Renzo & Barreto, 2009).

En un análisis HAZOP se trata de identificar los peligros y problemas de operatividad que son la consecuencia de desviaciones en su diseño o estructura y que podrían traducirse a resultados indeseables. La construcción de este método consta en el uso de un juego de palabras (llamadas palabras guía). Estas palabras son utilizadas en puntos determinados de la planta y son relacionados con distintos parámetros del proceso específicos para encontrar desviaciones probables de la operación (Renzo & Barreto, 2009).

c. Índice de consecuencias medioambientales (ICM)

El Índice de consecuencia medioambientales tiene como objetivo el prever el daño vinculado a cada uno de los escenarios accidentales. Está basado en una serie de valoraciones de la medida del daño ambiental, ofreciendo un resultado cuantitativo que permite clasificar en orden de dimensión los escenarios accidentales en relación de los posibles daños medioambientales que se puedan producir (Ruiz, 2014).

d. Probabilidad de que ocurra un accidente

Para obtener la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental se inicia con la probabilidad de ocurrencia de un suceso iniciador, siguiendo con la corrección de la probabilidad de ocurrencia de alguno factores condicionantes presentes en la actividad (MITECO, 2015).

2.5. Aplicaciones Informáticas

2.5.1. EPI SUIT 4.1

EPI (Interfaz de Programas de Estimación) SUITE, es una aplicación informática de usuario que fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y está comprendido por una base de datos de más de 40,000 productos químicos con sus propiedades físicas y químicas (Figueroa, 2010).

2.5.2. ALOHA 5.4.7

ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres) fue creado por la EPA (Environmental Protection Agency) es un modelo que estudia la dispersión atmosférica de emisiones de gases y vapores de compuestos químicos peligrosos. Facilita evaluar la dispersión en el viento de una nube química. Está basado en las características físicas y químicas de la sustancia liberada, condiciones atmosféricas, y el accidente específico de la liberación. Además, permite estimar la región de amenaza asociada con diferentes tipos de emisiones incluyendo nubes de gases y vapores tóxicos, incendios, explosiones etc (Mendieta, 2017).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue la elaboración de una propuesta de prevención de un riesgo ambiental elevado, el cual, se obtuvo a partir de una evaluación de riesgo ambiental aplicada a una planta de fundición de acero y sus sistemas auxiliares. Se utilizó la metodología propuesta por Delgado (2007), quien realiza análisis de distintos parámetros para determinar los factores que influyen en el riesgo ambiental: consecuencias y probabilidades. Estos factores fueron valorados mediante tablas que miden su relevancia en cada uno de los escenarios accidentales encontrados.

En la Figura 3, se presenta el proceso de la metodología aplicada en el trabajo de investigación.

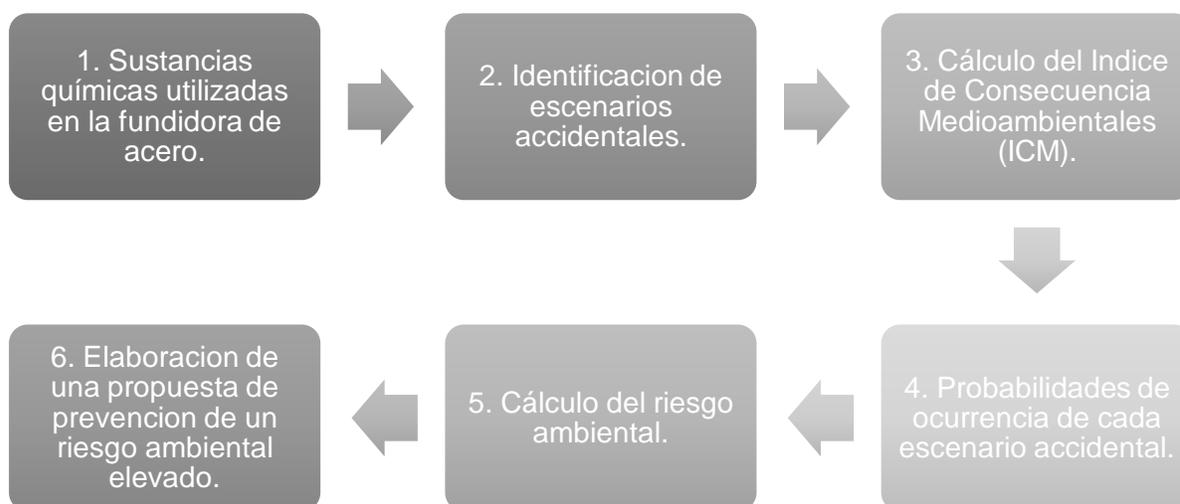


Figura 3. Esquema de la metodología aplicada.

3.1. Sustancias químicas utilizadas en la fundidora de acero

Se realizó una recolección de los instructivos y procedimientos de las actividades diarias que se desarrollan tanto en la etapa productiva como en los sistemas auxiliares de la planta de fundición. Con la finalidad de conocer todas las sustancias químicas y la cantidad utilizada en dichos procedimientos, se desarrolló una lista de las sustancias químicas más representativas, clasificadas según su aplicación, almacenamiento, número CAS (Chemical Abstracts Service) y la cantidad utilizada, como se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Tipo de listado para las sustancias químicas utilizadas en la planta de fundición

Sustancia	Numero CAS	Almacenamiento	Aplicación	Cantidad
Sustancia 1				
Sustancia 2				
Sustancia 3				

3.2. Identificación de escenarios accidentales

Los diferentes escenarios accidentales fueron obtenidos a partir de dos métodos: árbol de sucesos y HAZOP. Para el desarrollo de los métodos fue necesario identificar el suceso iniciador que pudo o pueda generar uno de los escenarios accidentales.

3.2.1. Identificación de sucesos iniciadores

Un suceso iniciador se define como un evento físico que puede originar un incidente o accidente, en función al espacio-tiempo (Figuroa, 2010). Los datos pertenecientes a los sucesos iniciadores de la investigación, fueron proporcionados por los encargados de cada área, quienes llevaban un registro de los accidentes que sucedían en su respectiva zona de trabajo. Se realizó una lista que reúne los sucesos iniciadores relacionados a las sustancias químicas que se utilizan en cada una de las áreas de investigación. Como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Listado de sucesos iniciadores

Área	Suceso Iniciador	Suceso Iniciador para cada sustancia
I. Área 1	I.1. Suceso Iniciador 1	I.1.1. Suceso iniciador 1 con Sustancia 1
II. Área 2	II.1. Suceso Iniciador 2	II.1.1. Suceso iniciador 2 con sustancia 2
III. Área 3	III.1. Suceso Iniciador 3	III.1.1. Suceso iniciador 3 con sustancia 3

3.2.2. Técnica de identificación de escenarios accidentales

Se utilizó el método de árbol de suceso y HAZOP cuando sea conveniente para cada uno de los sucesos iniciadores establecidos en el ítem 3.2.1. Para obtener todos los escenarios accidentales, se evaluó el suceso iniciador y los efectos que tiene sobre el progreso del mismo, los factores condicionantes (se refiere a controles manuales o controles propios de la instalación). En el método utilizado los factores condicionantes sirven para alterar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia del escenario accidental.

En la Tabla 7 se indica la estructura del árbol de sucesos. Consta del suceso iniciador de cada sustancia y su probabilidad de ocurrencia, los controles o factores condicionantes con sus respectivas probabilidades de ocurrencia, el escenario accidental y su probabilidad, y por último la relevancia del escenario.

Tabla 7
Estructura del árbol de sucesos

ÁREA 1						
Suceso Iniciador	Prob.	Control primario	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental (EA)	Relevante
Suceso iniciador I.1.1	Prob. I.1.1	ÉXITO	Prob. éxito	Prob. I.1.1*Prob. éxito		SI/NO
		FALLO	Prob. fallo	Prob. I.1.1*Prob. fallo	EA I.1.1	SI/NO
Suceso iniciador I.1.2	Prob. I.1.2	ÉXITO	Prob. éxito	Prob. I.1.2*Prob. éxito		SI/NO
		FALLO	Prob. fallo	Prob. I.1.2*Prob. fallo	EA I.1.2	SI/NO
Suceso iniciador I.1.3	Prob. I.1.3	ÉXITO	Prob. éxito	Prob. I.1.3*Prob. éxito		SI/NO
		FALLO	Prob. fallo	Prob. I.1.3*Prob. fallo	EA I.1.3	SI/NO

3.3. Índice de Consecuencias Medioambientales (ICM)

Para el cálculo del Índice de Consecuencias Medioambientales de cada escenario accidental, se toma en cuenta la evaluación de dos factores: las fuentes de peligro (peligrosidad de las sustancias químicas y cantidad involucrada) y los receptores (área afectada por el accidente y vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico).

En la valoración del ICM, cada uno de los dos factores anteriores tendrá el mismo peso específico (50 %), por lo que se realiza una estandarización y normalización de datos

para las fuentes de peligro y una normalización para los receptores, con el propósito de alcanzar un rango final que varía entre 1.4 y 20. Al final se suman todas las valoraciones obtenidas, logrando una puntuación final del Índice de Consecuencias Medioambientales, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Determinación del índice de Consecuencias Medioambientales

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1 – 10	1/1.35	1.7-20	1/3	0.56-6.7	1.4-20
		Volatilidad	1 – 5					
		Bioconcentración	0 – 2					
		Adsorción	0 – 2					
		Biodegradación	1 – 5					
		Sinergia	0 – 3					
	Cantidad	Cantidad	-	-	1 - 10	1/3	0.3-3.3	
Receptores	Área afectada	Área	-	-	1 - 10	1/4	0.25-2.5	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado	1 – 10	1 - 30	1/4	0.25-7.5		
		Categoría de protección de especies	1 – 5					
		Impacto en actividades económicas	0 – 4					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras	0 – 3					
		Población afectada	1 – 4					
		Población sensible	0 – 3					

Fuente: (Delgado, 2007)

3.3.1. Fuentes de peligro

Para calcular las fuentes de peligro se suman las valoraciones tanto de la peligrosidad de las sustancias químicas como de la cantidad involucrada.

a. Peligrosidad de las sustancias químicas

Las valoraciones de la peligrosidad de las sustancias químicas se estiman a partir de sus propiedades intrínsecas, así como también del estado en las que se localizan almacenadas o empleadas (temperatura, presión, altura) y de la composición molecular. Por medio de un conjunto de seis propiedades (toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción, biodegradación, y sinergia) se conduce a la estimación de una valoración para el subfactor Peligrosidad, utilizando la Ecuación 2.

$$\begin{aligned} \text{Peligrosidad} = & \text{Toxicidad} + \text{Volatilidad} + \text{Bioconcentración} + \text{Adsorción} \\ & + \text{Biodegradación} + \text{Sinergia} \end{aligned} \quad (2)$$

a.1. Valoración de la Toxicidad

Las sustancias químicas catalogadas como peligrosas para el medio ambiente adoptan una puntuación directa para su valoración de toxicidad (Díaz, López, & Espinoza, 2009). Dependiendo de la información obtenida de fichas de datos de seguridad e información bibliográfica, se valoró la toxicidad basándose en las Tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9*Valoración de la toxicidad mediante valores toxicológicos*

Toxicidad aguda (LC50 ó EC50) (mg/L)	Toxicidad aguda (LD50) (mg/kg)	Puntuación
< 1	< 5	10
1 – 6	5 – 50	8
6 – 30	50 – 500	6
30 – 200	500 – 5,000	4
200 – 1,000	5,000 – 15,000	2
> 1,000	> 15,000	1

Fuente: (Delgado, 2007)**Tabla 10***Valoración de la toxicidad para sustancias peligrosas según la Directiva 67/548/CEE*

Frase R - Medio acuático	Frase R - Medio no acuático	Puntuación
R50	R54/R57	10
R50/R53	R54	10
R51/R53	R55/R57	8
R52/R53	R56/R57	5
R52 y/o R53	-	5
-	R58	4
-	R59	4

Fuente: (Delgado, 2007)**Tabla 11***Valoración de la toxicidad a través del pictograma de la sustancia*

Toxicidad	Puntuación
Muy tóxico	10
Tóxico	6
Nocivo	3
Irritante/corrosivo	1

Fuente: (Delgado, 2007)

a.2. Valoración de la Volatilidad

La valoración de la volatilidad se la calculó mediante la constante de Henry (H), utilizando el programa EPI (Interfaz de Programas de Estimación) SUITE, el cual fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y está comprendido por una base de datos de más de 40,000 productos químicos con sus propiedades físicas y químicas. Para valorar la volatilidad se calculó el logaritmo de H (log H), donde H es la constante de Henry medida en (atm*m³/mol), su puntuación se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12
Valoración de la volatilidad

Volatilidad - Log H	Puntuación
Log H < -3	5
-3 ≤ Log H < -1	4
-1 ≤ Log H < 1	3
1 ≤ Log H < 2	2
Log H ≥ 3	1

Fuente: (Delgado, 2007)

a.3. Valoración de la Bioconcentración (BCF)

El BCF se define como el factor de bioconcentración y se traduce como la relación de concentraciones de productos químicos entre un organismo y el agua de sus alrededores (Camacho & Sánchez, 2007). Este factor se obtuvo del programa EPI SUITE, y su valoración se calculó mediante el logaritmo de BCF (log BCF). Su puntuación se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13*Valoración de la bioconcentración*

Volatilidad - Log BCF	Puntuación
Log BCF > 2	2
1 < Log BCF ≤ 1	1
Log BCF ≤ 1	0

Fuente: (Delgado, 2007)**a.4. Valoración de la Adsorción**

La adsorción de la sustancia química se valora a través del coeficiente de reparto octanol/agua (K_{ow}), el cual representa la correlación entre la concentración en la fase de n-octanol y en la fase acuosa en el equilibrio (García, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012). Este valor se obtuvo del programa EPI SUITE y para valorar se calculó el logaritmo de K_{ow} ($\log K_{ow}$). Su estimación se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14*Valoración de la adsorción*

Adsorción - Log K_{ow}	Puntuación
Log K_{ow} > 2	2
1 < Log K_{ow} ≤ 1	1
Log K_{ow} ≤ 1	0

Fuente: (Delgado, 2007)**a.5. Valoración de la Biodegradación**

La biodegradación es la descomposición natural y no contaminante de una sustancia química por la actividad de agentes biológicos. La biodegradación de la sustancia se

valoró mediante el factor BD calculado mediante el programa informático EPI SUITE aplicando la Tabla 15.

Tabla 15

Valoración de la biodegradación

Biodegradación - BD	Puntuación
BD < 2 (meses o periodos de tiempo mayores)	5
$2 \leq \text{BD} < 2.5$ (meses / semanas)	4
$2.5 \leq \text{BD} < 3.5$ (semanas / días)	3
$3.5 \leq \text{BD} < 4.5$ (días / horas)	2
BD ≥ 4.5 (horas)	1

Fuente: (Delgado, 2007)

a.6. Valoración de la Sinergia

La sinergia implica un efecto combinado de dos o más sustancias químicas, el cual es mucho mayor que la suma de los efectos de cada sustancia por sí sola. Este valor depende de cada sustancia química utilizada en la planta fundidora de acero, su valoración se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Valoración de la sinergia

Sinergia	Puntuación
Mezcla de sustancias sinérgicas	3
Mezcla de sustancias no sinérgicas	2
Sustancia pura	0

Fuente: (Delgado, 2007)

b. Cantidad involucrada

En muchos de los casos, la información disponible acerca del escenario accidental es escasa o inexistente. Las cantidades implicadas en este tipo de accidentes resultarán difíciles de estimar en los momentos previos a una emergencia. Por ello, con el objetivo de obtener un valor para el análisis de la cantidad de sustancia química liberada, es más práctico tomar en consideración las cantidades almacenadas que se han visto implicadas (Delgado, 2007). Una vez completada la Tabla 5, donde aparece la cantidad almacenada, se tomó en cuenta la cantidad de sustancia involucrada en el accidente y se valoró con la Tabla 17.

Tabla 17

Valoración de la cantidad involucrada

Cantidad involucrada en el accidente (T)	Puntuación
> 500	10
250 - 500	8
100 - 250	7
50 - 100	5
5 - 50	3
0.5 - 5	2
< 0.5	1

Fuente: (Delgado, 2007)

3.3.2. Receptores

Para calcular el valor de los receptores se suman las valoraciones del área afectada por el accidente y la vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico.

a. Área afectada por el accidente

El área afectada por el accidente constituye uno de los criterios más estrechamente relacionados con el tipo de receptor afectado. La importancia de la extensión de un accidente dependerá en gran medida de la calidad y vulnerabilidad del hábitat afectado. Dependiendo el escenario accidental, la sustancia química involucrada y la cantidad utilizada, se empleó el programa de simulación de dispersión del aire, ALOHA 5.4.7 con la finalidad de determinar estimaciones de zonas de amenazas para varias clases de peligros, así como también el área afectada por el accidente.

Para valorar el área afectada por el accidente se consideró la vulnerabilidad y calidad del medio, además se establece al mismo tiempo, una clara división para el hábitat de aguas de superficie, hábitat marino y aguas subterráneas, como se muestran en la Tabla 18. En este sentido, la importancia de la extensión espacial del daño queda estrechamente unida al tipo y valor del hábitat afectado.

Tabla 18

Valoración del área afectada por el accidente

Medio terrestre o acuífero (Hectáreas)	Medio acuático - Corrientes superficiales (río, canal, riachuelo) (Km)	Medio acuático (lagos, estanques, deltas, estuarios, zonas marítimo costeras) (Hectáreas)	Puntuación
≥ 10	≥ 10	≥ 2	10
6 – 10	6 – 10	1.5 – 2	9
4 – 6	4 – 6	1.3 – 1.5	7
2.5 – 4	2.5 – 4	1.2 – 1.3	5
1 – 2.5	1 – 2.5	1 – 1.2	3
<1	<1	<1	1

Fuente: (Delgado, 2007)

b. Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico

Al momento de estimar una valoración para el factor vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico, ante todo se deberá obtener el área de incidencia del escenario accidental mediante la aplicación del software ALOHA 5.4.7. Para valorar el factor 'Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico' se suman seis subfactores: el tipo de entorno afectado, la categoría de protección de especies, el impacto de actividades socioeconómicas, la alteración de recursos naturales e infraestructura, la población afectada y la población sensible.

b.1. Valoración de la Vulnerabilidad ecológica: tipo de entorno afectado

Una vez que se conoce el área afectada, se determinó el tipo de usos del suelo y si existen figuras de protección de espacios naturales en dicha área. Cuando se haya determinado los usos del suelo y la existencia de espacios protegidos se determina el criterio conforme a lo establecido en la Tabla 19.

Tabla 19

Valoración del tipo de entorno afectado

Tipo de entorno afectado	Puntuación
- Parque Nacional de la Red de parques nacionales.	10
- Humedales Ramsar.	
- Lugar de interés comunitario.	
- Zona de especial protección de aves.	
- Reserva Natural,	9
- Reserva Natural especial, reserva natural dirigida, reserva natural parcial, reserva natural concertada, reserva biológica.	
- Reserva de la biósfera	8
- Parque natural	

- Parque regional	
- Parque rural	
- Monumento natural, monumento natural de interés nacional	7
- Paisaje protegido	
- Paraje natural, paraje pintoresco, paraje natural de interés nacional.	6
- Sitio de interés científico, sitio natural de interés nacional.	
- Biotipo protegido.	
- Refugio de fauna, micro reserva, área natural recreativa, parque periurbano de conservación y ocio, régimen de protección general, corredor ecológico y de biodiversidad.	5
- Otras figuras de protección no contempladas anteriormente.	
- Tierras cultivadas o viveros.	4
• Jardines o parques.	3
• Suburbano: baja densidad de edificios.	2
• Superficies acuáticas altamente artificiales.	
• Urbano: edificios en ciudades o pueblos.	
• Industrial: emplazamientos industriales e industrias extractivas.	1
• Redes de transporte y otras áreas asfaltadas.	
• Depósitos de basura y vertederos.	

Fuente: (Delgado, 2007)

b.2. Valoración de la Vulnerabilidad ecológica: categoría protección de especies

En algunos casos el área de influencia de un escenario accidental coincide con el área del entorno de una especie animal o vegetal, que está considerada bajo alguna figura de protección a nivel nacional. El registro de dichas especies animales y vegetales se encontró en Estudios de Impactos Ambientales de industrias aledañas y en datos del Municipio del cantón Mejía, donde se valoró aplicando la Tabla 20.

Tabla 20*Valoración de la categoría de protección de especies*

Categoría de protección	Puntuación
En peligro de extinción	5
Sensible a la alteración de su hábitat	4
Vulnerables	3
De interés especial	2
Sin categoría de protección	1

Fuente: (Delgado, 2007)

b.3. Valoración de la Vulnerabilidad socioeconómica: impacto en actividades socioeconómicas.

Para lograr una estimación eficiente en la valoración de la Vulnerabilidad socioeconómica de los incisos b.3 hasta b.6, se reunió información de: Sistema Nacional de Información SNI (2014), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2010), Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo SENPLADES (2012) y Análisis Socioeconómicos del Gobierno Parroquial de Aloag.

Con estos principios se registró la posible afección a actividades económicas que se llevan a cabo en el área afectada por el posible escenario accidental. En esta ocasión la puntuación no es gradual sino aditiva. Es decir, la existencia de alguna de las actividades numeradas en la Tabla 21, adicionó la puntuación correspondiente al cálculo final del criterio.

Tabla 21*Valoración del impacto en actividades socioeconómicas*

Categoría de protección	Puntuación
Agricultura, ganadería, caza y/o pesca	+ 1.5
Industrias y comercios agroalimenticios	+ 1.5
Otras industrias y comercios	+ 1
No existen industrias y comercios	+ 0

Fuente: (Delgado, 2007)

b.4. Valoración de la Vulnerabilidad socioeconómica: alteración de recursos naturales e infraestructura

Con este principio se busca valorar la posible afección a los recursos naturales y las infraestructuras existentes en el área de influencia. La puntuación para este factor no será continua sino aditiva. Es decir, la existencia de alguno de los recursos o infraestructuras numeradas en la Tabla 22, será sumada a la valoración final.

Tabla 22*Valoración de la alteración de recursos naturales e infraestructura*

Recursos naturales e infraestructura	Puntuación
Suministros de agua	+ 0.5
Redes de transporte y comunicaciones	+ 0.5
Suministro y transporte de energía	+ 0.5
Infraestructura de telecomunicaciones	+ 0.5
Sistemas de almacenamiento y recogida de residuos	+ 0.5
Viviendas situadas fuera del establecimiento dañadas e inutilizables a causa del accidente	+ 0.5
No existen recursos naturales ni infraestructuras	+0

Fuente: (Delgado, 2007)

b.5. Valoración de la Vulnerabilidad socioeconómica: población afectada

Con este principio se busca valorar el volumen de población afectada ante un accidente medioambiental. La población afectada es aquella en el que las personas tengan que ser evacuadas o confinadas por más de dos horas o que requieran asistencia médica sin hospitalización. Se valoró con una escala gradual de 1-4, como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23

Valoración de la población afectada

Población afectada (personas)	Puntuación
≥ 1 muerte ó > 100 personas afectadas	4
≥ 1 hospitalización superior a 24 h ó 25 - 100 personas afectadas	3
5 - 25 personas afectadas	2
< 5 personas afectadas	1

Fuente: (Delgado, 2007)

b.6. Valoración de la Vulnerabilidad socioeconómica: población sensible

En el caso de la presencia de población sensible, tiene una puntuación aditiva. Es decir, la existencia de alguno de los grupos de población enumerados en la Tabla 24.

Tabla 24

Valoración de la población sensible

Población sensible	Puntuación
Hospitales	+1
Colegios y guarderías	+1
Asilos y centros de la tercera edad	+1
Polideportivos	+1
No existe población sensible	+0

Fuente: (Delgado, 2007)

3.4. Probabilidades de que ocurran los escenarios accidentales

Una vez que se han identificado los objetos de riesgo y estimado las consecuencias y la gravedad de éstos, es necesario conocer la probabilidad de que ocurra cada uno de los escenarios accidentales, para ello, se recurrió a los datos del análisis cuantitativo de riesgos realizado por la empresa, o bien se verifica en un análisis histórico de los accidentes en industrias siderúrgicas.

Al momento de conseguir las valoraciones de las probabilidades de que ocurra el escenario accidental se basó en dos criterios orientativos:

- Basado en la norme UNE 15008 EX, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25

Criterio para el factor Probabilidad, criterio UNE 15008 EX

Probabilidad, Análisis Cuantitativo del Riesgo	Puntuación
Entre una vez al año y una vez cada 5 años	5
Entre una vez cada 5 años y una vez cada 25 años	4
Entre una vez cada 25 años y una vez cada 50 años	3
Entre una vez cada 50 años y una vez cada 100 años	2
Entre una vez cada 100 años y una vez cada 500 años	1

Fuente: (Delgado, 2007)

- Informe de seguridad, por el propio establecimiento a través de análisis cuantitativos de riesgo (ACR) llevados a cabo con anterioridad en sus instalaciones, como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26*Criterio para el factor Probabilidad, equivalencia ACR*

Probabilidad, Análisis Cuantitativo del Riesgo	Puntuación
$x \geq 1.00 \cdot 10^{-2}$	5
$1.00 \cdot 10^{-4} \leq x < 1.00 \cdot 10^{-2}$	4
$1.00 \cdot 10^{-6} \leq x < 1.00 \cdot 10^{-4}$	3
$1.00 \cdot 10^{-8} \leq x < 1.00 \cdot 10^{-6}$	2
$x < 1.00 \cdot 10^{-8}$	1

Fuente: (Delgado, 2007)

3.5. Cálculo del Riesgo Ambiental

Se procede a calcular un valor del riesgo ambiental para cada uno de los escenarios accidentales considerados utilizando la Ecuación 1 y se valoró en función al índice de consecuencias medioambientales y la probabilidad o frecuencia con la que ocurran en la empresa, como se muestra en la Figura 4, que dependiendo la región donde se encuentren los escenarios accidentales, se observará el riesgo ambiental que producen.

- **Región de riesgo elevado:** En esta zona se establecerán medidas y normas de reducción del riesgo, sin importar el coste asociado al mismo.
- **Región ALARP:** (Tan bajo como sea factible). El riesgo ambiental que se encuentra en esta zona, pese a ser admisible, deberá ser disminuido hasta el nivel más bajo que sea posible, sin recurrir en costos desmesurados.
- **Región de riesgo moderado:** El nivel de riesgo de esta zona es insignificante. No será necesario recurrir a excesivos costos para lograr medidas de reducción de riesgos.

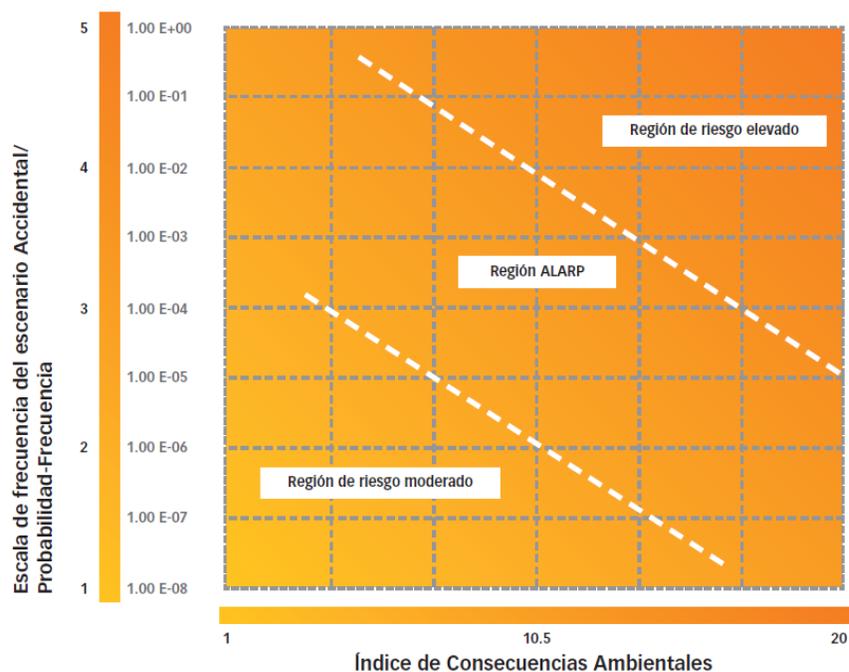


Figura 4. Evaluación de Riesgo Ambiental

Fuente: (Delgado, 2007)

3.6. Propuesta de prevención

Según Garrido (2006), las medidas de prevención de riesgos ambientales en el campo industrial se orientan a su eliminación y disminución, mediante: la eliminación del riesgo en la fuente de origen, la interrupción a que la sustancia química o contaminante llegue a un receptor, y si el riesgo que origina el contaminante no ha podido ser controlado en las etapas anteriores, se recomienda el uso de equipos de protección personal.

Para escenarios accidentales que se encuentren en la zona de riesgo elevado, se elaboró una propuesta de prevención para la eliminación o disminución del riesgo ambiental.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Identificación de las sustancias químicas utilizadas en la planta de fundición

En ADELCA C.A, existe una gran cantidad de materias primas en su mayoría sustancias químicas que se utilizan constantemente. Por esta razón, para este trabajo de investigación se tomó en cuenta las sustancias más considerables, conforme a su peligrosidad y cantidad presente en las diferentes áreas de proceso. En la Tabla 27 se enlista las sustancias químicas más representativas utilizadas en la planta de fundición.

Tabla 27

Sustancias químicas utilizadas en la planta de fundición

Sustancia	Numero CAS	Almacenamiento	Aplicación	Cantidad
Cal cálcica	001305-78-8	Saco (Polipropileno - PP)	Producción	1,000 kg
Cal dolomítica	001309-48-4	Saco (Polipropileno - PP)	Producción	1,500 kg
Sílico manganeso	007439-96-5	Saco (Polipropileno - PP)	Producción	700 kg
Carburo de silicio	000409-21-2	Saco (Polipropileno - PP)	Producción	100 kg
Carburo de calcio	000075-20-7	Saco (Polipropileno - PP)	Producción	100 kg
Argón	007440-37-1	Cilindro (acero)	Producción/Control de calidad	11 m3
Oxígeno	7782-44-7	Tanque (acero)	Producción	6,000 L

Aluminio	007429-90-5	Saco (Polipropileno - PP)	Producción	250 kg
Hipoclorito de sodio	007681-52-9	Bidón (Polietileno – PE alta densidad)	Planta de Tratamiento de agua	2,000 L
Ácido clorhídrico	007647-01-0	Bidón (Polietileno – PE alta densidad)	Planta de Tratamiento de agua	2,000 L
Sosa cáustica	001310-73-2	Saco (Polipropileno - PP)	Planta de Tratamiento de agua	50 kg
GLP	000074-98-6	Tanque (acero)	Producción	30,000 L
Nitrógeno	007647-01-0	Tanque (acero)	Producción	6,000 L

Debido a la gran cantidad de residuos generados, se consideró al polvo de acería, óxido de hierro y escoria proveniente del horno eléctrico y horno cuchara como los principales desechos para el estudio, y se detallan en la Tabla 28.

Tabla 28

Residuos generados en la planta de fundición

Sustancia	Numero CAS	Almacenamiento temporal	Origen	Cantidad
Óxido de hierro (III)	001309-37-1	Piscina	Planta de Tratamiento de agua	1,000 L
Polvo de acería	007631-86-9	Saco (Polipropileno - PP)	Planta de Tratamiento de humos	1,000 Kg/día
Escoria	001345-25-1	Apilamiento	Almacenamiento de escoria	30,000 kg

4.2. Identificación de los escenarios accidentales

4.2.1. Sucesos iniciadores considerados

En la Tabla 29 se enlistan todos los sucesos iniciadores que involucren cada una de las sustancias químicas mencionadas en las Tablas 27 y 28. Los cuales, fueron el punto de partida para el desarrollo e identificación de los escenarios accidentales por medio de los métodos de árbol de sucesos y HAZOP.

Tabla 29
Sucesos iniciadores identificados

Área	Suceso iniciador	Suceso Iniciador para cada sustancia
I. Horno Eléctrico	I.1. Rotura de un envase en la zona de proceso	I.1.1. Rotura de saco de PP con 1,000 kg de cal cálcica
		I.1.2. Rotura de saco de PP con 1,500 kg de cal dolomítica
		I.1.3. Rotura de saco de PP con 700 kg de sílico manganeso
		I.1.4. Rotura de saco de PP con 100 kg de carburo de calcio
		I.1.5. Rotura de saco de PP con 100 kg de carburo de silicio
II. Horno Cuchara	II. 1. Rotura de un envase en la zona de proceso	II.1.1. Rotura de saco de PP con 500 kg de cal cálcica
		II.1.2. Rotura de saco de PP con 100 kg de sílico manganeso
III. Colada Continua	III. 1. Rotura de un envase en la zona de proceso	III.1.1. Rotura de saco de PP con 50 kg de aluminio
IV. Planta de Tratamiento de agua	IV.1. Rotura de envase contenedor de insumos	IV.1.1. Rotura de saco de PP con 50 kg de sosa cáustica
		IV.1.2. Rotura de bidón de PE con 2,000 L de hipoclorito de sodio
		IV.1.3. Rotura de bidón de PE con 2,000 L de ácido clorhídrico
	IV.2. Rebasado del tanque de agua de tratamiento	IV.2.1. Rebasado del tanque o piscina de 1,000 L agua sin tratar
IV.3. Falla del tanque mezclador	IV.3.1. Rotura de saco de PP con 100 kg de sosa cáustica	
V. Planta de Tratamiento de humos	V.1. Falla sistema de extracción y ventilación	V.1.1. Falla sistema de ventilación donde se involucra 500 kg de polvo de acería

VI. Almacenamiento de materia prima	VI.1. Rotura de un envase en la zona de almacenamiento	VI.1.1. Rotura de saco de PP con 1,000 kg de cal cálcica
		VI.1.2. Rotura de saco de PP con 1,500 kg de cal dolomítica
		VI.1.3. Rotura de saco de PP con 700 kg de sílico manganeso
		VI.1.4. Rotura de saco de PP con 100 kg de carburo de calcio
		VI.1.5. Rotura de saco de PP con 100 kg de carburo de silicio
		VI.1.6. Rotura de saco de PP con 50 kg de aluminio
VII. Almacenamiento de residuos	VII.1. Desborde residuos	VII.1.1. Desborde de 30,000 kg de escoria
	VII.2. Rotura de envase contenedor	VII.2.1. Rotura de saco de PP con 1,000 kg de polvo de acería
VIII. Análisis y Control de Calidad	VIII.1. Rotura de envase contenedor	VIII.1.1. Rotura de bidón de PE con 40 L de ácido clorhídrico
IX. Almacenamiento de GLP	IX.1. Rotura de tanque	IX.1.1. Rotura del tanque de GLP

4.2.2. Método de árbol de sucesos y HAZOP

La probabilidad de acontecimiento de cada escenario accidental se obtuvo a partir del cálculo de probabilidad del suceso iniciador. Se tomó en cuenta la probabilidad de seis sucesos iniciadores que son: rotura de envases, rebasado de tanque, falla del tanque mezclador, falla en el sistema de ventilación, desborde y rotura de tanque.

Para calcular los valores de la probabilidad de los sucesos iniciadores se multiplica un índice de probabilidad otorgados por la propia empresa basado en Stoffen (2005), que es igual a 0.00001, el cual, se multiplica por el número de veces que la materia prima se carga y descarga al año, pudiendo ser: 1, 2, 12, 52, 104, 365, 730.

En las Tablas 30 – 39 se estima el valor de probabilidad o frecuencia de los escenarios accidentales que se producen a partir de los sucesos iniciadores y sus factores condicionantes.

Tabla 30

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes a la Etapa productiva - H. eléctrico.

Suceso Iniciador	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Rotura saco (cal cálcica 1,000 kg)	0.00365	ÉXITO	0.98	3.58E-03	Ninguno	NO
		FALLO	0.02	7.30E-05	Derrame de 1,000 kg de cal cálcica	SI
Rotura saco (cal dolomítica 1,500 kg)	0.00365	ÉXITO	0.98	3.58E-03	Ninguno	NO
		FALLO	0.02	7.30E-05	Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica	SI
Rotura saco (sílico manganeso 700 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 700 kg de sílico manganeso	SI
Rotura saco (carburo de calcio 100 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 100 kg de carburo de calcio	SI
Rotura saco (carburo de silicio 100 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 100 kg de carburo de silicio	SI

Tabla 31

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes a la Etapa productiva - H. cuchara.

Suceso Iniciador	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Rotura saco (big bag cal cálcica 500 kg)	0.00104	ÉXITO	0.98	1.02E-03	OK	NO
		FALLO	0.02	2.09E-05	Derrame de 500 kg de cal cálcica	SI
Rotura saco (sílico manganeso 300 kg)	0.00104	ÉXITO	0.98	1.02E-03	OK	NO
		FALLO	0.02	2.09E-05	Derrame de 300 kg de sílico manganeso	SI

Tabla 32

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes a la Etapa productiva - C. Continua

Suceso Iniciador	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Rotura saco (Aluminio 50 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.04E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.03E-05	Derrame de 50 kg de aluminio	SI

Tabla 33

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Planta de tratamiento de agua

Suceso Iniciador	Prob.	Barrera	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante				
Rotura saco (sosa caustica 50 kg)	0.00012	ÉXITO	0.98	ÉXITO	0.98	1.18E-04	OK	NO				
				FALLO			0.02	2.40E-06	Derrame de 50 kg de sosa caustica	SI		
Rotura bidón (hipoclorito de sodio 2,000 L)	0.00012	ÉXITO	0.95		0.98	5.88E-06	OK	NO				
				FALLO			0.05	ÉXITO	0.98	5.88E-06	OK	NO
								FALLO	0.02	1.20E-07	Derrame de 2,000 L de hipoclorito de sodio	SI
Rotura bidón (ácido clorhídrico 2,000 L)	0.00012	ÉXITO	0.95		0.98	5.88E-06	OK	NO				
				FALLO			0.05	ÉXITO	0.98	5.88E-06	OK	NO
								FALLO	0.02	1.20E-07	Derrame de 2,000 L de ácido clorhídrico	SI
Rebasado del tanque de agua de tratamiento (1,000 L)	0.00001	ÉXITO	0.95		0.98	4.90E-07	OK	NO				
				FALLO			0.05	ÉXITO	0.98	4.90E-07	OK	NO
								FALLO	0.02	1.00E-08	Derrame de 1,000 L de agua sin tratar	SI

Tabla 34

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Planta de tratamiento de agua – Método HAZOP.

Desviación	Causas	Consecuencias	Prob. Del Escenario
NO-FLUJO	1. Cierra de la válvula dosificadora	1.1. Presionamiento aguas arriba y posible rotura de la línea	No relevante
		1.2. Escape de producto por rotura de empaque	7.01E-08
		1.3. Parada del proceso	No relevante
	2. Taponamiento por residuos sólidos	2.1. Presionamiento aguas arriba y posible rotura de la línea	No relevante
		2.1. Escape de producto por rotura de empaque	7.01E-08
		2.3. Parada de proceso	No relevante

Tabla 35

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Planta de tratamiento de humos.

Suceso Iniciador	Prob.	Control primario	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Falla sistema de ventilación (500 kg polvo de acería)	0.000006	ÉXITO	0.95		0.98	5.70E-06	OK	NO
		FALLO		0.05		ÉXITO	2.94E-07	OK
			FALLO	0.02		6.00E-09	Escape 500 kg polvo de acería	SI

Tabla 36

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Almacenamiento de materia prima.

Suceso Iniciador	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Rotura saco (big bag cal cálcica 1,000 kg)	0.0073	ÉXITO	0.98	7.15E-03	OK	NO
		FALLO	0.02	1.46E-04	Derrame de 1,000 kg de cal cálcica	SI
Rotura saco (big bag cal dolomítica 1,500 kg)	0.00156	ÉXITO	0.98	1.53E-03	OK	NO
		FALLO	0.02	3.13E-05	Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica	SI
Rotura saco (sílico manganeso 700 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 700 kg de sílico manganeso	SI
Rotura saco (carburo de calcio 100 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 100 kg de carburo de calcio	SI
Rotura saco (carburo de silicio 100 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 100 kg de carburo de silicio	SI
Rotura saco (Aluminio 50 kg)	0.00052	ÉXITO	0.98	5.11E-04	OK	NO
		FALLO	0.02	1.04E-05	Derrame de 50 kg de aluminio	SI

Tabla 37

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Almacenamiento de residuos.

Suceso Iniciador	Prob.	Barrera	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Rotura saco (polvo de acería 1,000 kg)	0.00002			ÉXITO	0.98	1.96E-05	OK	NO
				FALLO	0.02	4.00E-07	Derrame de 1,000 kg de polvo de acería	SI
Desborde escoria (30,000 kg)	0.00001			ÉXITO	0.95	9.50E-06	OK	NO
				FALLO	0.05	4.90E-07	OK	SI
				FALLO	0.02	1.00E-08	Derrame de 30,000 kg de escoria	NO

Tabla 38

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Análisis y control de calidad.

Suceso Iniciador	Prob.	Barrera	Prob.	Control manual	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Relevante
Rotura bidón (ácido clorhídrico 40 L)	0.00365			ÉXITO	0.95	3.47E-03	OK	NO
				FALLO	0.05	1.79E-04	OK	NO
				FALLO	0.02	3.65E-06	Derrame de 40 L de ácido clorhídrico	SI

Tabla 39

Determinación de escenarios accidentales y su probabilidad, con base en los sucesos iniciadores y factores condicionantes pertenecientes al sistema auxiliar – Almacenamiento de GLP.

Suceso Iniciador	Prob.	Sistema protección contra incendios	Prob.	Sistema de alivio	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental	Ignición inmediata	Prob.	Ignición retardada	Prob.	Explosión	Prob.	Prob. del Escenario	Escenario Accidental
Rotura de tanque (GLP 20,000 L)	0.00001	ÉXITO	0.997			9.97E-06	OK								
		FALLO	0.003	ÉXITO	0.999	2.997E-08	Fuga Instantánea	ÉXITO	0.97					2.90E-08	Jet fire
				FALLO	0.001	3.0E-11	Bleve					ÉXITO	0.98	6.98E-10	Explosión de vapor
										ÉXITO	0.97				
									FALLO	0.03		FALLO	0.02	1.74E-11	Flash fire
											FALLO	0.03		2.69E-11	Dispersión tóxica

4.2.3. Escenarios accidentales

En la Tabla 40 se presentan los 28 escenarios accidentales considerados para el estudio, clasificados según el área y el suceso iniciador.

Tabla 40.
Escenarios accidentales considerados

Área	Suceso iniciador	Escenario accidental	Probabilidad
I. Horno Eléctrico	I.1. Rotura de un envase en la zona de proceso	I.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica	7.30E-05
		I.1.2. Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica	7.30E-05
		I.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso	1.04E-05
		I.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio	1.04E-05
		I.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio	1.04E-05
II. Horno Cuchara	II. 1. Rotura de un envase en la zona de proceso	II.1.1. Derrame de 500 kg de cal cálcica	2.09E-05
		II.1.2. Derrame de 100 kg de sílico manganeso	2.09E-05
III. Colada Continua	III. 1. Rotura de un envase en la zona de proceso	III.1.1. Derrame de 50 kg de aluminio	1.03E-05
IV. Planta de Tratamiento de agua	IV.1. Rotura de envase contenedor de insumos	IV.1.1. Derrame de 50 kg de sosa cáustica	2.40E-06
		IV.1.2. Derrame de 2,000 L de hipoclorito de sodio	1.20E-07
		IV.1.3. Derrame de 2,000 L de ácido clorhídrico	1.20E-07
	IV.2. Rebasado del tanque de agua de tratamiento	IV.2.1. Derrame de 1,000 L agua sin tratar	1.00E-08
	IV.3. Falla del tanque mezclador	IV.3.1. Derrame de 100 kg de sosa cáustica	7.01E-08
V. Planta de Tratamiento de humos	V.1. Falla sistema de extracción y ventilación	V.1.1. Escape de 500 kg de polvo de acería	6.00E-09
VI. Almacenamiento de materia prima	VI.1. Rotura de un envase en la zona de almacenamiento	VI.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica	1.46E-04
		VI.1.2. Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica	3.13E-05
		VI.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso	1.04E-05

		VI.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio	1.04E-05
		VI.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio	1.04E-05
		VI.1.6. Derrame de 50 kg de aluminio	1.04E-05
VII. Almacenamiento de residuos	VII.1. Desborde residuos	VII.1.1. Derrame 30,000 kg de escoria	1.00E-08
	VII.2. Rotura de envase contenedor	VII.2.1. Derrame 1,000 kg de polvo de acería	4.00E-07
VIII. Análisis y Control de Calidad	VIII.1. Rotura de envase contenedor	VIII.1.1. Derrame de 40 L de ácido clorhídrico	3.65E-06
IX. Almacenamiento de GLP	IX.1. Rotura de tanque	IX.1.1. Blevé	3.00E-11
		IX.1.2. Jet fire	2.90E-08
		IX.1.3. Explosión de vapor	6.98E-10
		IX.1.4. Flash fire	1.74E-11
		IX.1.5. Dispersión tóxica	2.69E-11

4.3. Cálculo y análisis del Índice de Consecuencias Medioambientales

En la Tabla 41 se muestra la valoración de todas las sustancias químicas presentes en los 28 escenarios accidentales considerados para el estudio. Dicha puntuación, nos indica la peligrosidad de las sustancias en función de las seis propiedades relevantes: toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción, biodegradación y sinergia.

Los datos obtenidos sirvieron para completar la Tabla 8, donde se consigue el valor del ICM para cada escenario accidental, tomando en consideración: la peligrosidad de la sustancia, cantidad involucrada, área afectada y vulnerabilidad.

Tabla 41

Peligrosidad de las sustancias - Comportamiento medioambiental

Sustancia química	Área	Toxicidad (sección 3.3.1; ítem a.1)	Valor toxicidad (Tabla 9-11)	Volatilidad (log H) (sección 3.3.1; ítem a.2)	Valor volatilidad (Tabla 12)	Bioconcentración (log BCF) (sección 3.3.1; ítem a.3)	Valor bioconcentración (Tabla 13)	Adsorción (log Kow) (sección 3.3.1; ítem a.4)	Valor adsorción (Tabla 14)	Biodegradación (BD-semanas) (sección 3.3.1; ítem a.5)	Valor biodegradación (Tabla 15)	Sinergia (Tabla 16)
Cal Cálcica	Horno eléctrico/ Horno cuchara/ Almacenamiento	Irritante	1	-17.75	5	0.5	0	-0.57	0	3.08	3	0
Cal Dolomítica	Horno eléctrico/ Almacenamiento	irritante/ corrosivo	1	-16.15	5	0.61	0	1.43	1	3.11	3	0
Sílico manganeso	Horno eléctrico/ Horno cuchara/ Almacenamiento	Tóxico	6	-1.61	4	0.5	0	0.23	0	3.07	3	0
Carburo de calcio	Horno eléctrico/ Almacenamiento	R15/ Tóxico	6	-39.34	5	0.5	0	-0.3	0	3.06	3	0
Carburo de silicio	Horno eléctrico/ Almacenamiento	R36,R37/ Irritante	1	-1.07	4	0.38	0	1.08	1	3.09	3	0
Aluminio	Colada continua/ Almacenamiento	R20, R21/ Nocivo	3	-1.61	4	0.5	0	0.33	0	3.13	3	0
Sosa cáustica	Planta de tratamiento de agua	R35/ Corrosivo	1	-8.07	5	0.5	0	-3.88	0	3.16	3	0
Hipoclorito de sodio	Planta de tratamiento de agua	R34,R50/ Muy tóxico	10	-20	5	0.5	0	-3.42	0	3.08	3	3
Ácido clorhídrico	Planta de tratamiento de agua/ Análisis de calidad	Tóxico	6	-2.11	4	0.5	0	0.54	0	3.12	3	3
Agua sin tratar (Fe ₂ O ₃)	Planta de tratamiento de agua	Tóxico	6	-16.04	5	0.5	0	0.97	0	2.85	3	0
Polvo de acería (Fe ₂ O ₃)	Planta de tratamiento de humos/ Residuos	Toxico	6	-16,04	5	0.5	0	0.97	0	2.85	3	0

Escoria (CaO)	Residuos	Irritante	1	-17.75	5	0.5	0	-0.57	0	3.08	3	0
GLP	Almacenamiento de GLP	Inflamable/ Nocivo	3	-0.15	3	1.22	1	1.81	1	3.1	3	0

A continuación, se presentan las valoraciones del ICM para cada escenario accidental considerado. En cuanto a los valores de peligrosidad se tomó los datos de la Tabla 41 realizada anteriormente. La cantidad involucrada es exclusiva de cada escenario y se lo puede observar en la Tabla 27. Se muestra también el área afectada por el accidente desarrollado por el software ALOHA. La vulnerabilidad depende del área de incidencia del accidente.

- Escenario accidental I.1.1 - Derrame de 1,000 kg de cal cálcica

El escenario accidental I.1.1. derrame de 1,000 kg de cal cálcica, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 1.46 ha. Como se muestra en la Figura 5, el punto 0 situado en la parte vertical del plano, representa la ubicación del origen de la dispersión de la sustancia química. Las líneas de confianza de la dirección del viento, representan el área posible de dispersión del contaminante. En esta investigación se tomó en cuenta el área total máxima que abarcan las líneas de confianza de la dirección del viento, con el fin de obtener el peor caso posible del escenario accidental y en consecuencia alcanzar una mayor área de influencia.

En la leyenda ubicada en la parte inferior de la Figura 5, se muestran también los 3 Criterios de Acción Protectora (PAC), que se traducen como un límite temporal de exposición de emergencia y proporcionan la información necesaria para identificar y evaluar accidentes con el fin de tomar las medidas de protección adecuadas. Los niveles de los PAC están dictados por la severidad de los efectos tóxicos causados por la exposición, siendo el Nivel 1 el menor y el Nivel 3 el más severo. Estos niveles son concentraciones propias de cada sustancia química que se encuentran en fichas técnicas de seguridad y se expresan como partes por millón (ppm), por encima de la cual, se predice que la población general podría ser expuesta, incluidos los individuos susceptibles: nivel LOC-1 (efectos reversibles al terminar la exposición), nivel LOC-2 (efectos irreversibles para la salud) y nivel LOC-3 (efectos potencialmente mortales para la salud).

En la Figura 6 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo.

Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 42 vienen de la Figura 5 y Figura 6 respectivamente. En la Tabla 42 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

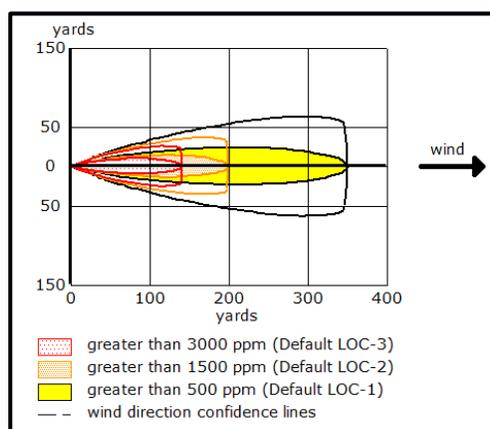


Figura 5. Área del escenario accidental I.1.1



Figura 6. Área de influencia del escenario accidental I.1.1

Tabla 42*ICM para Escenario accidental I.1.1 - Derrame de 1,000 kg de cal cálcica*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad (Tabla 41)	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	5.51
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	1 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.46 ha	-	3	1/4	0.75	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental I.1.2 - Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica

El escenario accidental I.1.2. derrame de 1,500 kg de cal dolomítica, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 0.96 ha como se muestra en la Figura 7.

En la Figura 8 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 43 vienen de la Figura 7 y Figura 8 respectivamente. En la Tabla 43 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

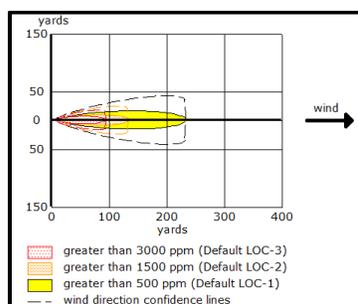


Figura 7. Área del escenario accidental I.1.2



Figura 8. Área de influencia del escenario accidental I.1.2

Tabla 43*ICM para Escenario accidental I.1.2 - Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	7.41	1/3	2.47	5.26
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	1.5 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0,96 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental I.1.3 - Derrame de 700 kg de sílico manganeso

El escenario accidental I.1.3. derrame de 700 kg de sílico manganeso, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 1.67 ha como se muestra en la Figura 9.

En la Figura 10 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 44 vienen de la Figura 9 y Figura 10 respectivamente. En la Tabla 44 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

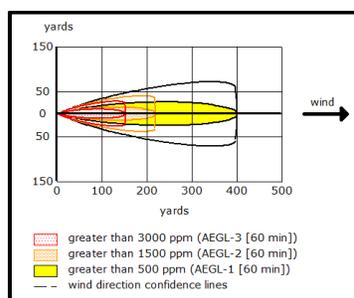


Figura 9. Área del escenario accidental I.1.3



Figura 10. Área de influencia del escenario accidental I.1.3

Tabla 44*ICM para Escenario accidental I.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	9.63	1/3	3.21	6.5
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.7 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.67 ha	-	3	1/4	0.75	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental I.1.4 - Derrame de 100 kg de carburo de calcio

El escenario accidental I.1.4. derrame de 100 kg de carburo de calcio, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 0.33 ha como se observa en la Figura 11.

En la Figura 12 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 45 vienen de la Figura 11 y Figura 12 respectivamente. En la Tabla 45 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

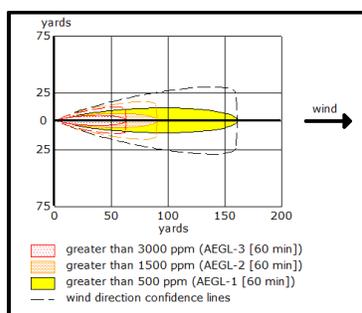


Figura 11. Área del escenario accidental I.1.4



Figura 12. Área de influencia del escenario accidental I.1.4

Tabla 45*ICM para Escenario accidental I.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	10.37	1/3	3.46	5.17
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.1 T	-	1	1/3	0.33	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.33 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental I.1.5 - Derrame de 100 kg de carburo de silicio

El escenario accidental I.1.5. derrame de 100 kg de carburo de calcio, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 0.26 ha como se observa en la Figura 13.

En la Figura 14 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 46 vienen de la Figura 13 y Figura 14 respectivamente. En la Tabla 46 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

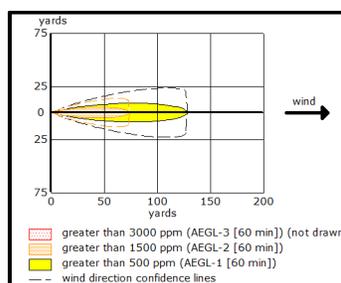


Figura 13. Área del escenario accidental I.1.5



Figura 14. Área de influencia del escenario accidental I.1.5

Tabla 46*ICM para Escenario accidental I.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	3.92
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.1 T	-	1	1/3	0.33	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.26 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental II.1.1 - Derrame de 500 kg de cal cálcica

El escenario accidental II.1.1. derrame de 500 kg de cal cálcica, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 1.045 ha como se observa en la Figura 15.

En la Figura 16 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 47 vienen de la Figura 15 y Figura 16 respectivamente. En la Tabla 47 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

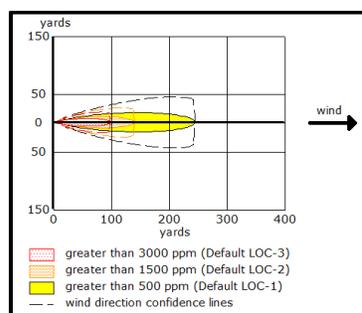


Figura 15. Área del escenario accidental II.1.1



Figura 16. Área de influencia del escenario accidental II.1.1

Tabla 47*ICM para Escenario accidental II.1.1. Derrame de 500 kg de cal cálcica*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	4.67
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.5 T	-	1	1/3	0.33	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.045 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental II.1.2 - Derrame de 100 kg de sílico manganeso

El escenario accidental II.1.2. derrame de 100 kg de sílico manganeso, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 0.29 ha. Como se observa en la Figura 17.

En la Figura 18 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 48 vienen de la Figura 17 y Figura 18 respectivamente. En la Tabla 48 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

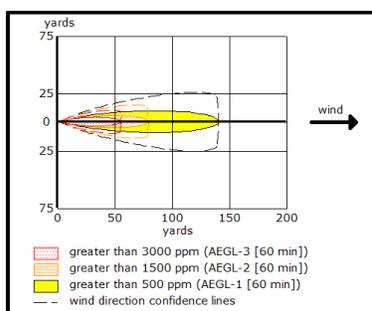


Figura 17. Área del escenario accidental II.1.2



Figura 18. Área de influencia del escenario accidental II.1.2

Tabla 48*ICM para Escenario accidental II.1.2. Derrame de 100 kg de sílico manganeso*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	9.63	1/3	3.21	4.89
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.1 T	-	1	1/3	0.33		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.29 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental III.1.1 - Derrame de 50 kg de aluminio

El escenario accidental III.1.1. derrame de 50 kg de aluminio, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde a la etapa productiva, tiene un área aproximada de influencia de 0.25 ha como se observa en la Figura 19.

En la Figura 20 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 49 vienen de la Figura 19 y Figura 20 respectivamente. En la Tabla 49 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

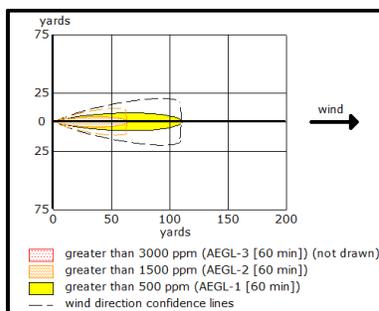


Figura 19. Área del escenario accidental III.1.1



Figura 20. Área de influencia del escenario accidental III.1.1

Tabla 49*ICM para Escenario accidental III.1.1 Derrame de 50 kg de aluminio*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	7.40	1/3	2.47	4.18
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.05 T	-	1	1/3	0.33		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.25 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IV.1.1 - Derrame de 50 kg de sosa cáustica

El escenario accidental IV.1.1. derrame de 50 kg de sosa cáustica, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar planta de tratamiento de agua, tiene un área aproximada de influencia de 0.75 ha como se observa en la Figura 21.

En la Figura 22 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 50 vienen de la Figura 21 y Figura 22 respectivamente. En la Tabla 50 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

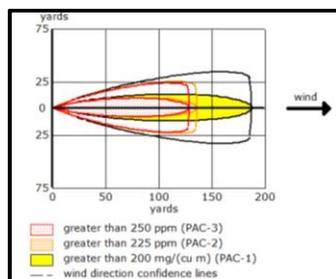


Figura 21. Área del escenario accidental IV.1.1



Figura 22. Área de influencia del escenario accidental IV.1.1

Tabla 50*ICM para Escenario accidental IV.1.1. Derrame de 50 kg de sosa cáustica*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	4.68
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.05 T	-	1	1/3	0.33	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.75 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IV.1.2 - Derrame de 2,000 L de hipoclorito de sodio

El escenario accidental IV.1.2. derrame de 2,000 L de hipoclorito de sodio, ocasionado por la ruptura del recipiente contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar planta de tratamiento de agua, tiene un área aproximada de influencia de 1.25 ha como se observa en la Figura 23.

En la Figura 24 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 51 vienen de la Figura 23 y Figura 24 respectivamente. En la Tabla 51 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

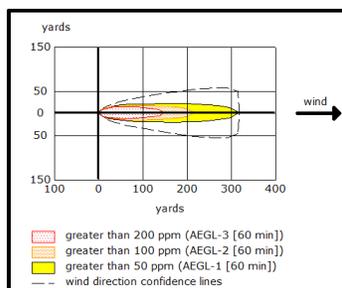


Figura 23. Área del escenario accidental IV.1.2



Figura 24. Área de influencia del escenario accidental IV.1.2

Tabla 51*ICM para Escenario accidental IV.1.2. Derrame de 2,000 L de hipoclorito de sodio*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	10	1/1.35	15.55	1/3	5.18	7.96
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	3					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	2.22 T	-	2	1/3	0.66	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.25 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IV.1.3 - Derrame de 2,000 L de ácido clorhídrico

El escenario accidental IV.1.3. derrame de 2,000 L de ácido clorhídrico, ocasionado por la ruptura del recipiente contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar planta de tratamiento de agua, tiene un área aproximada de influencia de 0.23 ha como se observa en la Figura 25.

En la Figura 26 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 52 vienen de la Figura 25 y Figura 26 respectivamente. En la Tabla 52 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

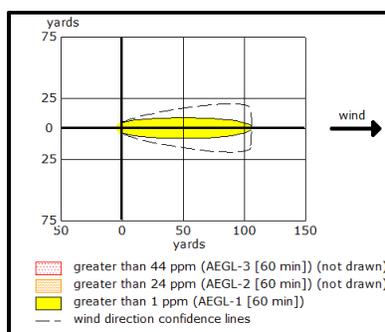


Figura 25. Área del escenario accidental IV.1.3



Figura 26. Área de influencia del escenario accidental IV.1.5

Tabla 52*ICM para Escenario accidental IV.1.3. Derrame de 2,000 L de ácido clorhídrico*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	11.85	1/3	3.95	5.99
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	3					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	2.24 T	-	2	1/3	0.66	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.23 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IV.2.1 - Derrame de 1,000 L de agua sin tratar

El escenario accidental IV.2.1. derrame de 1,000 L de agua sin tratar, ocasionado por el sobrellenado del tanque contenedor de la sustancia mencionada y que corresponde al sistema auxiliar planta de tratamiento de agua, tiene un área aproximada de influencia de 1.46 ha como se observa en la Figura 27.

En la Figura 28 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 53 vienen de la Figura 27 y Figura 28 respectivamente. En la Tabla 53 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

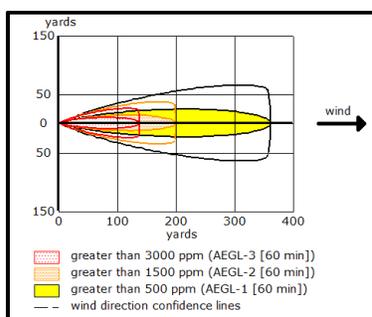


Figura 27. Área del escenario accidental IV.2.1



Figura 28. Área de influencia del escenario accidental IV.2.1

Tabla 53*ICM para Escenario accidental IV.2.1. Derrame de 1,000 L agua sin tratar*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	10.37	1/3	3.45	6.73
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	1.10 T	-	2	1/3	0.66	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.46 ha	-	3	1/4	0.75	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IV.3.1 - Derrame de 100 kg de sosa caustica

El escenario accidental IV.3.1. derrame de 100 kg de sosa caustica, ocasionado por una falla del tanque mezclador de la sustancia mencionada y que corresponde al sistema auxiliar planta de tratamiento de agua, tiene un área aproximada de influencia de 1.12 ha como se observa en la Figura 29.

En la Figura 30 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 54 vienen de la Figura 29 y Figura 30 respectivamente. En la Tabla 54 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

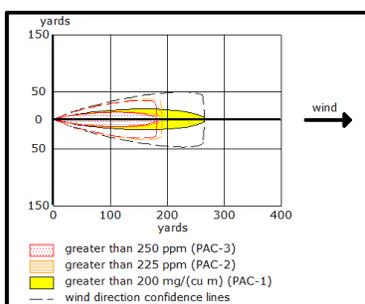


Figura 29. Área del escenario accidental IV.3.1



Figura 30. Área de influencia del escenario accidental IV.3.1

Tabla 54*ICM para Escenario accidental IV.3.1. Derrame de 100 kg de sosa cáustica*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.1 T	-	1	1/3	0.33	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.12 ha	-	3	1/4	0.75	5.18
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental V.1.1 – Escape de 500 kg de polvo de acería

El escenario accidental V.1.1. Escape de 500 kg de polvo de acería, ocasionado por una falla del tanque mezclador de la sustancia mencionada y que corresponde al sistema auxiliar planta de tratamiento de humos, tiene un área aproximada de influencia de 0.94 ha como se observa en la Figura 31.

En la Figura 32 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 55 vienen de la Figura 31 y Figura 32 respectivamente. En la Tabla 55 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

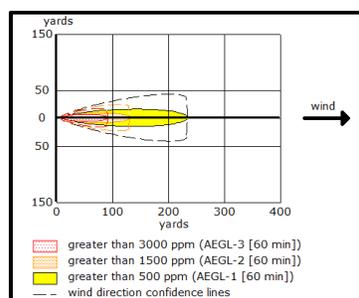


Figura 31. Área del escenario accidental V.1.1

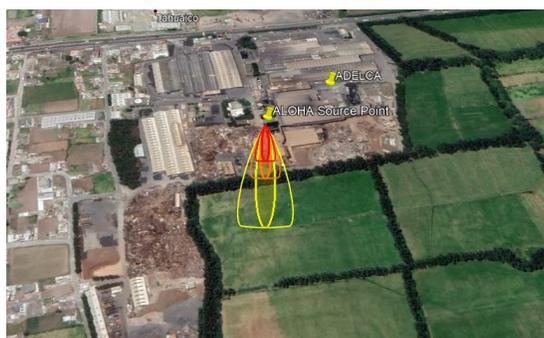


Figura 32. Área de influencia del escenario accidental V.1.1

Tabla 55*ICM para Escenario accidental V.1.1. Escape de 500 kg de polvo de acería*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	10.37	1/3	3.45	6.24
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.5 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.94 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VI.1.1 - Derrame de 1,000 kg de cal cálcica

El escenario accidental VI.1.1. derrame de 1,000 kg de cal cálcica, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de materia prima, tiene un área aproximada de influencia de 1.46 ha como se observa en la Figura 33.

En la Figura 34 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 56 vienen de la Figura 33 y Figura 34 respectivamente. En la Tabla 56 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

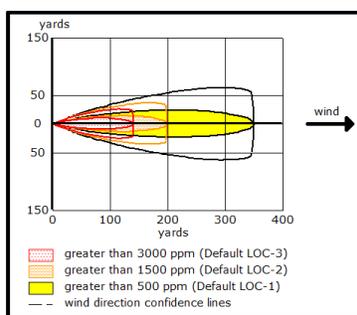


Figura 33. Área del escenario accidental VI.1.1

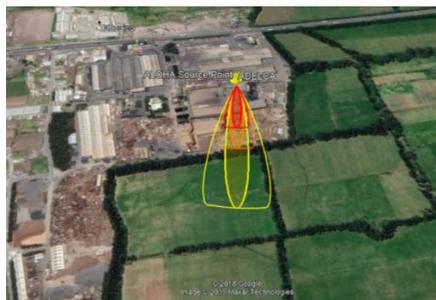


Figura 34. Área de influencia del escenario accidental VI.1.1

Tabla 56*ICM para Escenario accidental VI.1.1 - Derrame de 1,000 kg de cal cálcica*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	5.51
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	1 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.46 ha	-	3	1/4	0.75	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VI.1.2 - Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica

El escenario accidental VI.1.2. derrame de 1,500 kg de cal dolomítica, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde Al sistema auxiliar almacenamiento de materia prima, tiene un área aproximada de influencia de 0.96 ha como se observa en la Figura 35.

En la Figura 36 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 57 vienen de la Figura 35 y Figura 36 respectivamente. En la Tabla 57 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

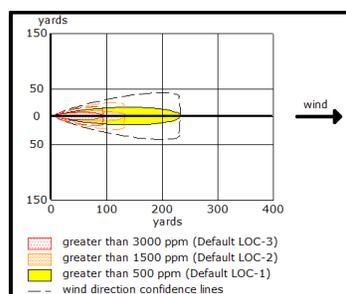


Figura 35. Área del escenario accidental VI.1.2



Figura 36. Área de influencia del escenario accidental VI.1.2

Tabla 57

ICM para Escenario accidental VI.1.2 - Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	7.41	1/3	2.47	5.26
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	1.5 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.96 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VI.1.3 - Derrame de 700 kg de sílico manganeso

El escenario accidental VI.1.3. derrame de 700 kg de sílico manganeso, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de materia prima, tiene un área aproximada de influencia de 1.67 ha como se observa en la Figura 37.

En la Figura 38 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 58 vienen de la Figura 37 y Figura 38 respectivamente. En la Tabla 58 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

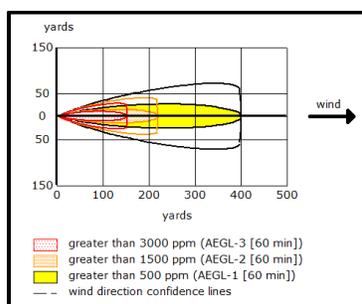


Figura 37. Área del escenario accidental VI.1.3

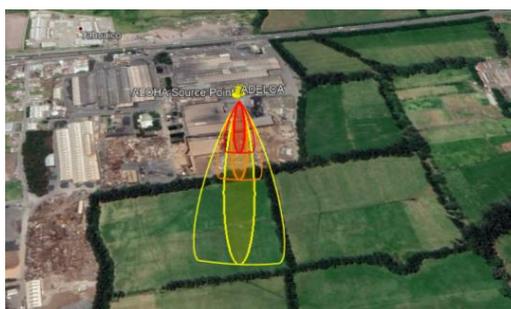


Figura 38. Área de influencia del escenario accidental VI.1.3

Tabla 58*ICM para Escenario accidental VI.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	9.63	1/3	3.21	6.5
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.7 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.67 ha	-	3	1/4	0.75	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VI.1.4 - Derrame de 100 kg de carburo de calcio

El escenario accidental VI.1.4. derrame de 100 kg de carburo de calcio, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde Al sistema auxiliar almacenamiento de materia prima, tiene un área aproximada de influencia de 0.33 ha como se observa en la Figura 39.

En la Figura 40 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 59 vienen de la Figura 39 y Figura 40 respectivamente. En la Tabla 59 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

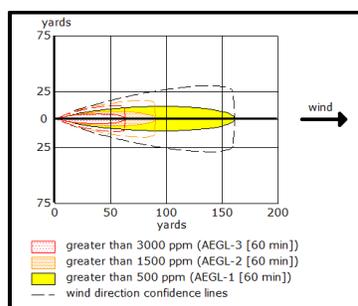


Figura 39. Área del escenario accidental VI.1.4



Figura 40. Área de influencia del escenario accidental VI.1.4

Tabla 59*ICM para Escenario accidental VI.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	10.37	1/3	3.46	5.17
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.1 T	-	1	1/3	0.33		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.33 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VI.1.5 - Derrame de 100 kg de carburo de silicio

El escenario accidental VI.1.5. derrame de 100 kg de carburo de calcio, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de materia prima, tiene un área aproximada de influencia de 0.26 ha. Como se observa en la Figura 41.

En la Figura 42 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 60 vienen de la Figura 41 y Figura 42 respectivamente. En la Tabla 60 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

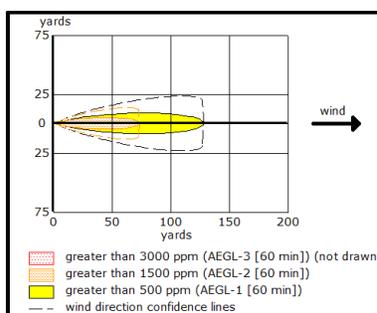


Figura 41. Área del escenario accidental VI.1.5



Figura 42. Área de influencia del escenario accidental VI.1.5

Tabla 60

ICM para Escenario accidental VI.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.1 T	-	1	1/3	0.33	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.26 ha	-	1	1/4	0.25	3.92
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VI.1.6 - Derrame de 50 kg de aluminio

El escenario accidental VI.1.6. derrame de 50 kg de aluminio, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde Al sistema auxiliar almacenamiento de materia prima, tiene un área aproximada de influencia de 0.25 ha. Como se observa en la Figura 43.

En la Figura 44 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 61 vienen de la Figura 43 y Figura 44 respectivamente. En la Tabla 61 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

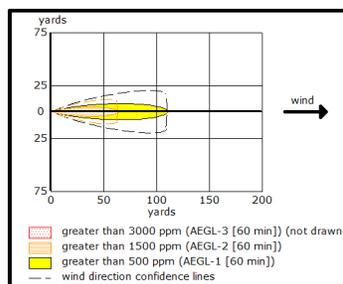


Figura 43. Área del escenario accidental VI.1.6



Figura 44. Área de influencia del escenario accidental VI.1.6

Tabla 61*ICM para Escenario accidental VI.1.6 Derrame de 50 kg de aluminio*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	7.40	1/3	2.47	4.18
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.05 T	-	1	1/3	0.33		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	0.25 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	4.5	1/4	1.125		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VII.1.1 - Derrame de 30,000 kg de escoria

El escenario accidental VII.1.1 derrame de 30,0000 kg de escoria, ocasionado por el desborde de la sustancia química mencionada y que corresponde Al sistema auxiliar almacenamiento de almacenamiento de residuos, tiene un área aproximada de influencia de 2.98 ha como se observa en la Figura 45.

En la Figura 46 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 62 vienen de la Figura 45 y Figura 46 respectivamente. En la Tabla 62 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

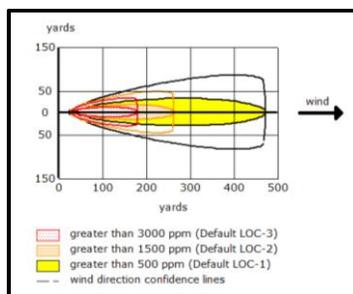


Figura 45. Área del escenario accidental VII.1.1

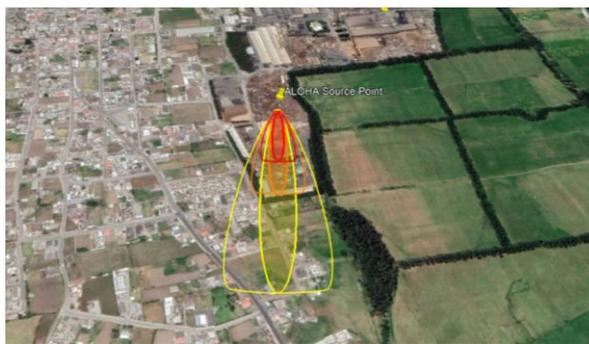


Figura 46. Área de influencia del escenario accidental VII.1.1

Tabla 62*ICM para Escenario accidental VII.1.1 - Derrame de 30,000 kg de escoria*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	1	1/1.35	6.66	1/3	2.22	7.345
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
	Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	30 T	-	3	1/3	1	
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	2.98 ha	-	5	1/4	1.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	11.5	1/4	2.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	3					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	1.5					
		Población afectada (Tabla 23)	2					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental VII.2.1 - Derrame de 1,000 kg de polvo de acería

El escenario accidental VII.2.1 derrame de 1,000 kg de polvo de acería, ocasionado por la ruptura de un saco contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde Al sistema auxiliar almacenamiento de almacenamiento de residuos, tiene un área aproximada de influencia de 1.46 ha como se observa en la Figura 47.

En la Figura 48 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 63 vienen de la Figura 47 y Figura 48 respectivamente. En la Tabla 63 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

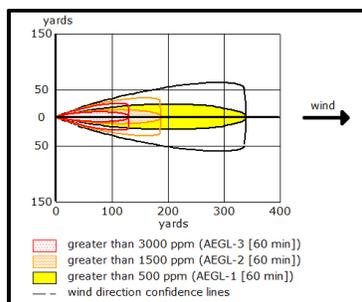


Figura 47. Área del escenario accidental VII.2.1



Figura 48. Área de influencia del escenario accidental VII.2.1

Tabla 63

ICM para Escenario accidental VII.2.1. Derrame de 1,000 kg de polvo de acería

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	10.37	1/3	3.45	6.74
		Volatilidad	5					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
	Sinergia	0						
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	1 T	-	2	1/3	0.66		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	1.46 ha	-	3	1/4	0.75	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	7.5	1/4	1.875		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
Población sensible (Tabla 24)	0							

- Escenario accidental VIII.1.1 - Derrame de 40 L de ácido clorhídrico

El escenario accidental VIII.1.1 derrame de 40 L de ácido clorhídrico, ocasionado por la ruptura del recipiente contenedor de la sustancia química y que corresponde al sistema auxiliar análisis y control de calidad, tiene un área mínima de incidencia debido al volumen de la sustancia. Los valores del ICM se muestran en la Tabla 64.

Tabla 64

ICM para Escenario accidental VIII.1.1. Derrame de 40 L de ácido clorhídrico

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	6	1/1.35	11.85	1/3	3.95	5.28
		Volatilidad	4					
		Bioconcentración	0					
		Adsorción	0					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	3					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	0.04 T	-	1	1/3	0.33		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	<1 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	3	1/4	0.75		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	0					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IX.1.1. – Bleve tanque GLP

El escenario accidental IX.1.1 bleve tanque GLP, ocasionado por la ruptura del tanque contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de GLP, tiene un área aproximada de influencia de 147.73 ha como se observa en la Figura 49.

En la Figura 50 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 65 vienen de la Figura 49 y Figura 50 respectivamente. En la Tabla 65 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

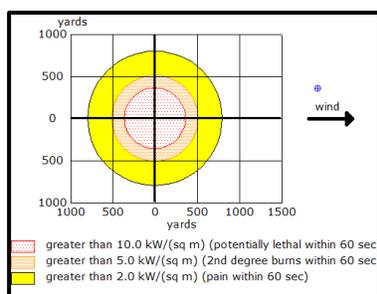


Figura 49. Área del escenario accidental IX.1.1

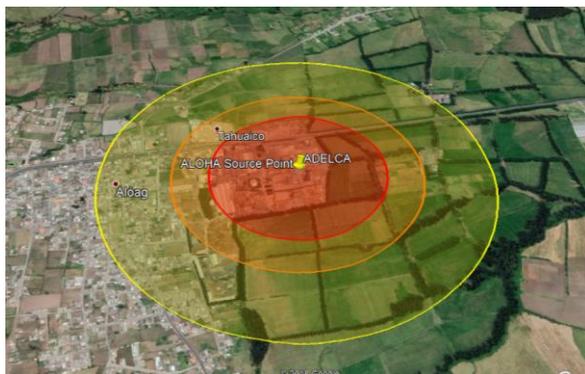


Figura 50. Área de influencia del escenario accidental IX.1.1

Tabla 65*ICM para Escenario accidental IX.1.1. Blevé tanque GLP*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	8.14	1/3	2.71	8.96
		Volatilidad	3					
		Bioconcentración	1					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	17.4 T		3	1/3	1		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	147.73 ha	-	10	1/4	1.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	11	1/4	2.75		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	2					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	3					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IX.1.2. – Jet fire tanque GLP

El escenario accidental IX.1.2 jet fire tanque GLP, ocasionado por la ruptura del tanque contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de GLP, tiene un área aproximada de influencia de 3.78 ha. Como se observa en la Figura 51.

En la Figura 52 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 66 vienen de la Figura 51 y Figura 52 respectivamente. En la Tabla 66 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

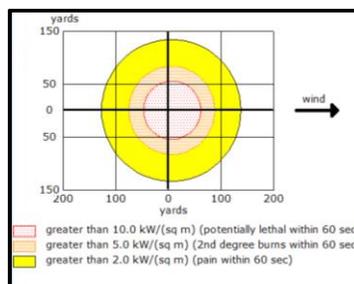


Figura 51. Área del escenario accidental IX.1.2



Figura 52. Área de influencia del escenario accidental IX.1.2

Tabla 66*ICM para Escenario accidental IX.1.2. Jet fire GLP*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	8.14	1/3	2.71	6.96
		Volatilidad	3					
		Bioconcentración	1					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	17.4 T		3	1/3	1		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	3.78 ha	-	5	1/4	1.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	8	1/4	2		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	1					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	1					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IX.1.3. – Explosión de vapor GLP

El escenario accidental IX.1.3 explosión de vapor, ocasionado por la ruptura del tanque contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de GLP. Tiene un área mínima de incidencia debido al volumen de la sustancia. Los valores del ICM se muestran en la Tabla 67.

Tabla 67

ICM para Escenario accidental IX.1.3. Explosión de vapor GLP

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	8.14	1/3	2.71	4.71
		Volatilidad	3					
		Bioconcentración	1					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	16.2 T	3	1/3	1			
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	< 1 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	3	1/4	0.75		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	0					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IX.1.4. – Flash fire GLP

El escenario accidental IX.1.4. flash fire tanque GLP, ocasionado por la ruptura del tanque contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de GLP. Tiene un área aproximada de influencia de 16.8 ha como se observa en la Figura 53.

En la Figura 54 se muestra el alcance del área de influencia sobre un modelo real de la planta, que permite determinar la vulnerabilidad socioeconómica y las distintas zonas de riesgo. Los datos de las secciones del área afectada y vulnerabilidad socioeconómica de la Tabla 68 vienen de la Figura 53 y Figura 54 respectivamente. En la Tabla 68 se reúnen todos los datos necesarios para obtener el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) para este escenario accidental.

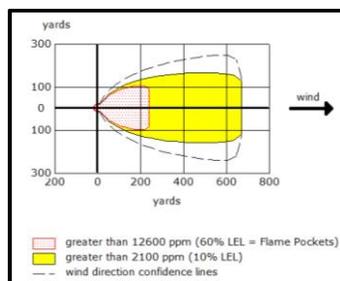


Figura 53. Área del escenario accidental IX.1.4



Figura 54. Área de influencia del escenario accidental IX.1.4

Tabla 68*ICM para Escenario accidental IX.1.4. Flash fire GLP*

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	8.14	1/3	2.71	8.59
		Volatilidad	3					
		Bioconcentración	1					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
		Sinergia	0					
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	16.2 T		3	1/3	1		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	16.8 ha	-	10	1/4	2.5	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	4	9.5	1/4	2.375		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	2.5					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	1					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

- Escenario accidental IX.1.5. – Dispersión tóxica GLP

El escenario accidental IX.1.3. dispersión tóxica GLP, ocasionado por la ruptura del tanque contenedor de la sustancia química mencionada y que corresponde al sistema auxiliar almacenamiento de GLP. Tiene un área mínima de incidencia debido al volumen de la sustancia. Los valores del ICM se muestran en la Tabla 69.

Tabla 69

ICM para Escenario accidental IX.1.5. Dispersión tóxica GLP

FACTOR	SUBFACTOR	PARÁMETROS	Puntuación Parámetro	Factor Estandarizado (Sección 3.3)	Puntuación Pre-normalizado	Factor Normalizado (Sección 3.3)	Puntuación Normalización	Puntuación Final
Fuentes de peligro	Peligrosidad	Toxicidad	3	1/1.35	8.14	1/3	2.71	4.71
		Volatilidad	3					
		Bioconcentración	1					
		Adsorción	1					
		Biodegradación	3					
	Sinergia	0						
Cantidad (Tabla 27)	Valoración cantidad (Tabla 17)	16.2 T		3	1/3	1		
Receptores	Área afectada	Valoración área (Tabla 18)	< 1 ha	-	1	1/4	0.25	
	Vulnerabilidad	Tipo de entorno afectado (Tabla 19)	1	3	1/4	0.75		
		Categoría de protección de especies (Tabla 20)	1					
		Impacto en actividades económicas (Tabla 21)	0					
		Alteración recursos naturales e infraestructuras (Tabla 22)	0					
		Población afectada (Tabla 23)	1					
		Población sensible (Tabla 24)	0					

4.4. Valoración del riesgo ambiental

En la Tabla 70 se presenta el valor del riesgo ambiental en función de los factores anteriormente desarrollados: Índice de Consecuencias Medioambientales (ICM) y probabilidad o frecuencia de los accidentes. Se puede verificar que las áreas que representan un mayor riesgo ambiental son la etapa de producción y el almacenamiento de materia prima. La etapa que representan un mínimo riesgo es el almacenamiento de GLP.

Tabla 70

Valor del riesgo ambiental

Escenario accidental	Etapa	ICM	Probabilidad (Tabla 40)	Riesgo = ICM * Prob (Ec 1)
I.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica	Producción (Horno Eléctrico)	5.51	7.30E-05	4.02E-04
I.1.2. Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica		6.13	7.30E-05	4.47E-04
I.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso		6.55	1.04E-05	6.76E-05
I.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio		5.17	1.04E-05	5.37E-05
I.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio		3.92	1.04E-05	4.07E-05
II.1.1. Derrame de 500 kg de cal cálcica	Producción (Horno Cuchara)	4.68	2.09E-05	9.78E-05
II.1.2. Derrame de 100 kg de sílico manganeso		4.89	2.09E-05	1.02E-04
III.1.1. Derrame de 50 kg de aluminio	Producción (CC)	4.18	1.03E-05	4.30E-05
IV.1.1. Derrame de 50 kg de sosa cáustica	Planta de tratamiento de agua	4.68	2.40E-06	1.12E-05
IV.1.2. Derrame de 2,000 L de hipoclorito de sodio		7.96	1.20E-07	9.54E-07
IV.1.3. Derrame de 2,000 L de ácido clorhídrico		5.99	1.20E-07	7.18E-07
IV.2.1. Derrame de 1,000 L agua sin tratar		6.73	1.00E-08	6.73E-08
IV.3.1. Derrame de 100 kg de sosa cáustica		5.18	7.01E-08	3.63E-07
V.1.1. Escape de 500 kg de polvo de acería	Planta de tratamiento de humos	6.24	6.00E-09	3.74E-08
VI.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica		5.51	1.46E-04	8.04E-04

VI.1.2. Derrame de 1,500 kg de cal dolomítica	Almacenamiento de materia prima	6.13	3.13E-05	1.91E-04
VI.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso		6.5	1.04E-05	6.76E-05
VI.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio		5.17	1.04E-05	5.37E-05
VI.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio		3.92	1.04E-05	4.07E-05
VI.1.6. Derrame de 50 kg de aluminio		4.18	1.04E-05	4.34E-05
VII.1.1. Derrame 30,000 kg de escoria		Almacenamiento de residuos	7.35	1.00E-08
VII.2.1. Derrame 1,000 kg de polvo de acería	6,74		4.00E-07	2.70E-06
VIII.1.1. Derrame de 40 L de ácido clorhídrico	Análisis y control de calidad	5,28	3.65E-06	1.93E-05
IX.1.1. Blevé	Almacenamiento de GLP	8,96	3.00E-11	2.69E-10
IX.1.2. Jet fire		6,96	2.90E-08	2.02E-07
IX.1.3. Explosión de vapor		4.71	6.98E-10	3.29E-09
IX.1.4. Flash fire		8.59	1.74E-11	1.49E-10
IX.1.5. Dispersión tóxica		4.71	2.69E-11	1.27E-10

4.5. Estimación del riesgo ambiental

En la Figura 55 se evalúa la variación del riesgo en función de los factores que lo componen: Índice de Consecuencias Medioambientales (I.C.M) y probabilidad de accidentes. En la gráfica se incluye el código de los escenarios accidentales más significativos y que se encuentran dentro de la región ALARP para tomarlos en cuenta en un análisis posterior.

La Figura 55 nos muestra también que 24 de los 28 escenarios accidentales considerados se encuentran en la zona de riesgo moderado y los 4 restantes se encuentran en la zona de riesgo ALARP. Los 4 escenarios accidentales que se encuentran en la zona de riesgo ALARP son: I.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica, I.1.2. Derrame de 1,500 de cal dolomítica, pertenecientes a la zona de proceso y VI.1.1.

Derrame de 1,000 kg de cal cálcica, VI.1.2. Derrame de cal dolomítica pertenecientes a la zona de almacenamiento de materia prima.

En la Figura 56 se muestran 13 escenarios accidentales muy cercanos a la zona de riesgo ALARP que son: I.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso, I.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio, I.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio, pertenecientes a la etapa productiva (horno eléctrico), II.1.1. Derrame de 500 kg de cal cálcica, II.1.2. Derrame de 100 kg de sílico manganeso perteneciente a la etapa productiva (horno cuchara), III.1.1. Derrame de 50 kg de aluminio perteneciente a la etapa productiva (colada continua),899 IV.1.1. Derrame de 50 kg de sosa caustica que corresponde a la planta de tratamiento de agua, VI.1.3. Derrame de 700 kg de sílico manganeso, VI.1.4. Derrame de 100 kg de carburo de calcio, VI.1.5. Derrame de 100 kg de carburo de silicio, VI.1.6. Derrame de 50 kg de aluminio perteneciente a la zona de almacenamiento de materia prima, VII.1.1. Derrame de 30 kg de escoria perteneciente al almacenamiento de residuos y VIII.1.1. Derrame de 40 L de ácido clorhídrico que pertenece a análisis y control de calidad.

Los 13 escenarios accidentales mencionados resultan ser significativos para esta evaluación de riesgos, por lo que, son tomados en cuenta para el desarrollo de una propuesta de prevención o reducción del riesgo.

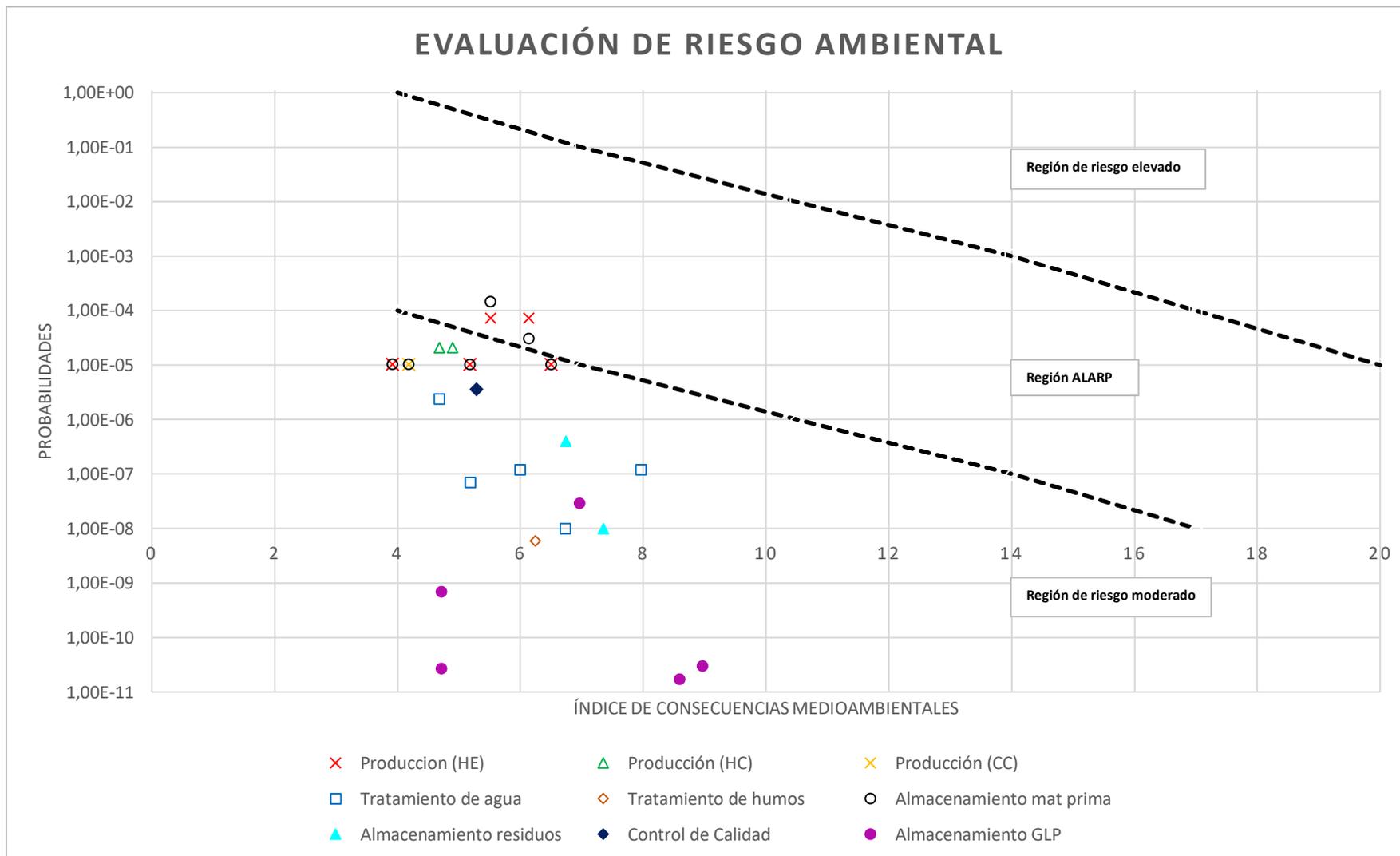


Figura 55. Evaluación de riesgo ambiental de todos los escenarios accidentales

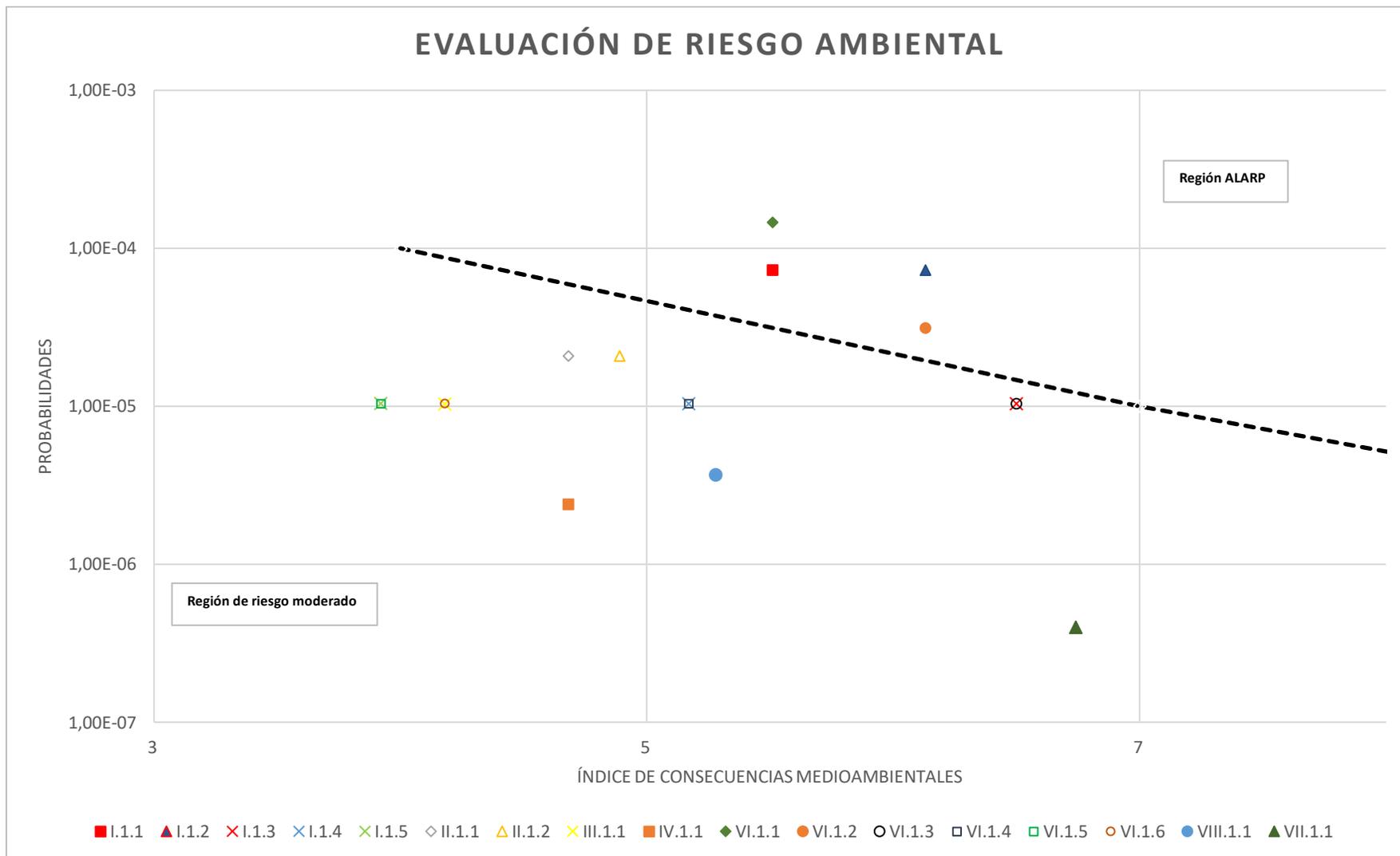


Figura 56. Evaluación de riesgo ambiental de los escenarios que representan mayor riesgo

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE PREVENCIÓN

Las propuestas de prevención están enfocadas en reducir la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental y el índice de consecuencias medioambientales (ICM). En la Tabla 71 se muestran las diferentes propuestas consideradas para reducir el riesgo ambiental de los 17 escenarios accidentales más representativos en este trabajo de investigación. Estas propuestas pueden ser aplicadas a uno o más escenarios.

Tabla 71

Propuestas de prevención para los respectivos escenarios accidentales considerados

Áreas	N. propuesta	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6	Propuesta 7	Propuesta 8	Propuesta 9
	Escenario accidental									
Producción (HE)	I.1.1	X	X							
	I.1.2	X	X		X					
	I.1.3		X							
	I.1.4		X				X			
	I.1.5		X				X			
Producción (HC)	II.1.1		X							
	II.1.2		X							
Producción (CC)	III.1.1		X							
Planta trat. de agua	IV.1.1							X		
Almacenamiento de materia prima	VI.1.1	X	X	X		X				
	VI.1.2	X	X	X	X	X				
	VI.1.3		X	X		X				
	VI.1.4		X	X			X			
	VI.1.5		X	X			X			
	VI.1.6		X	X		X				
Alm. escoria	VII.1.1									X
Análisis de calidad	VIII.1.1		X						X	
REDUCE ICM							X		X	X
REDUCE PROBABILIDAD		X	X	X	X	X		X		

5.1. Propuesta 1

Realizar una revisión diaria minuciosa de los sacos o big bag de cal cálcica y cal dolomítica que llegan a la empresa. Mediante un check list y una hoja de seguridad registrar cualquier tipo de inconveniente con el recipiente contenedor de la sustancia química, con la finalidad de cotejar el estado de los mismos, visto que, al ser transportados a la etapa productiva (horno eléctrico y horno cuchara) puede producirse una rotura y posterior derrame que produzca no solamente un riesgo ambiental sino también la pérdida parcial o total de la materia prima. Si algunos de los sacos revisados se encuentran rotos o rasgados, se procede a reportarlos y almacenarlos en el área de pesaje, ya que cuenta con una gran infraestructura y sobre todo el personal del área posee los equipos necesarios para realizar un trasvase y posterior pesaje. Finalmente, los sacos trasvasados y verificados son enviado por el montacargas a las diferentes líneas de producción para su uso inmediato.

5.2. Propuesta 2.

Desarrollar una inspección técnica diaria de los montacargas, con la finalidad de verificar el estado y funcionamiento de: la cabina, estructura, horquillas, circuito hidráulico, sistema eléctrico, estado del motor, cilindro de levantamiento, neumáticos, letreros e indicadores. Una vez elaborada la revisión, se procede a constatar el cumplimiento de los procedimientos diarios de carga y descarga de materia prima. Si el funcionamiento del montacarga es defectuoso y atenta con la seguridad del operador, se dispone a separarlo y trasladarlo al taller de vehículos pesados, donde se entregará un

diagnóstico del equipo. Finalmente, se comprueba el funcionamiento del montacarga y se confirma que las actividades diarias a realizar sean ejecutadas correctamente, reduciendo así el riesgo otorgado a este escenario accidental.

5.3. Propuesta 3

Implantar un sistema de aspiración de polvo industrial (al vacío) en el área de almacenamiento de materia prima. Con el objetivo de recuperar la sustancia química liberada retenida en el recipiente contenedor del aspirador, siendo una herramienta que además de rescatar cierto porcentaje de materia prima ayuda a reducir la concentración del polvo en el ambiente a niveles que se encuentren dentro de normas vigentes (Nivelo & Ugalde, 2011).

5.4. Propuesta 4

Con el fin de reducir el riesgo de contaminación de aire por emisión de polvo generado en el área de almacenamiento a causa de un derrame, se propone contar con un sistema extractor de polvo localizado, enfocado en la zona de depósito de cal dolomítica, puesto que, el tamaño de su partícula es muy pequeño (7 micras) y en consecuencia son más peligrosos y permanecen por más tiempo en el aire. Cabe mencionar que esta materia prima es muy reactiva con el agua y la humedad y con este sistema extractor no solo se disminuirá la emisión de polvo sino también la acumulación de material solidificado.

5.5. Propuesta 5

Según Bilger (2019), todas las instalaciones que manipulan materiales peligrosos deben contemplar una barrera de contención en el área de almacenamiento de materia prima. Además de garantizar una segura retención contra dichos contaminantes o sustancias peligrosas, debe asegurar que los contaminantes no alcancen el medio vulnerable, a fin de contrarrestar consecuencias catastróficas sobre las personas, las instalaciones industriales, las infraestructuras cercanas y el medio ambiente. La implementación de una barrera tipo rampa para el control de derrames en las áreas de almacenamiento de materia prima, con la finalidad de evitar el flujo de insumos químicos vertidos hacia el exterior del sitio, representará la reducción de este riesgo, de manera tal, que no afecte la productividad.

5.6. Propuesta 6

Al exponer los compuestos químicos involucrados en estos escenarios accidentales al agua o la humedad se forma acetileno gaseoso inflamable (NJHealth, 2009). Se propone la implementación de un sistema de inertización en el almacenamiento de dichas sustancias, apoyándose en la implementación de un ambiente hipóxico, es decir, disminuir la concentración de oxígeno de una atmósfera natural añadiendo nitrógeno de manera controlada hasta convertirla en una atmósfera reducida en oxígeno que dificulte la combustión de la mayoría de los materiales (atmósfera hipóxica, alrededor del 15% de oxígeno), lo que dificulta el origen de llama y el crecimiento del fuego (Soler, 2016).

5.7. Propuesta 7

Verificar el cumplimiento del programa de mantenimiento In Situ de la maquina mezcladora con los respectivos registros de verificaciones y calibraciones cuando el equipo así lo requiera, además de las verificaciones operacionales (check-list). Mediante observaciones a los operarios, verificar que el procedimiento de alimentación de sosa cáustica al mezclador sea correctamente ejecutado para controlar los desvíos identificados.

5.8. Propuesta 8

Uno de los escenarios accidentales más difíciles de controlar es el derrame de ácido clorhídrico. La planta de tratamiento de agua y el área de control de calidad no cuenta con un tratamiento específico para contrarrestar el efecto que éste supone al ambiente. Se propone una neutralización con algún tipo de base como: hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, bicarbonato de sodio o se puede aprovechar el polvo de acería, proveniente de la planta de tratamiento de humos que tiene un 22.7% de cal cálcica en su composición (Ver Tabla 1). El depósito de cal cálcica se ubicará al costado de los recipientes contenedores de ácido clorhídrico, dentro del kit de contingencia. Este material realizará la neutralización del ácido y facilitará la recolección de los vertidos.

5.9. Propuesta 9

Debido a que la gran cantidad de escoria proveniente del horno eléctrico y horno cuchara no recibe ningún proceso de recuperación de metales y existe una gran acumulación, se propone un sistema de transferencia a través de transporte pesados con disponibilidad inmediata que faciliten la salida de escoria a diferentes destinos de acuerdo a los usos que se le puede dar como: la industria cementera, asfaltado y construcción, todo esto con la finalidad de facilitar el traslado de escoria fuera de la empresa y evitar la aglomeración que pueda conducir a un posterior riesgo ambiental potencial.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- En el reconocimiento y clasificación de las sustancias químicas tanto en la etapa productiva como en los sistemas auxiliares de la planta fundidora de acero, se identificaron 16 sustancias, entre insumos químicos y residuos de las diferentes áreas, las cuales son consideradas las más representativas en función a la cantidad almacenada y su peligrosidad.
- El método de árbol de sucesos y HAZOP aplicado a los sucesos iniciadores y factores condicionantes permitieron obtener 28 escenarios accidentales y el valor de la probabilidad de ocurrencia de cada escenario accidental, correspondientes a cada suceso iniciador,
- Los datos obtenidos del ICM permitieron concluir que los altos valores alcanzados por el sistema auxiliar (Almacenamiento de GLP), no representan un riesgo elevado, debido a que el suceso iniciador se desarrolla en un ambiente con diferentes factores condicionantes que reducen la probabilidad de ocurrencia del escenario accidental.
- Los escenarios accidentales más representativos que se encuentran en la zona de riesgo ALARP son cuatro; dos en el área de producción (horno eléctrico) y dos en el área de almacenamiento de materia prima. Como se mencionó en el inciso

3.5, el riesgo ambiental definido en esta zona, debe ser disminuido hasta el nivel más bajo que sea posible, sin recurrir en costos desmesurados.

- Se determinaron que los cuatro escenarios accidentales que representan un mayor riesgo son: I.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica, I.1.2. Derrame de 1,500 de cal dolomítica, pertenecientes a la zona de proceso y VI.1.1. Derrame de 1,000 kg de cal cálcica, VI.1.2. Derrame de cal dolomítica perteneciente a la zona de almacenamiento de materia prima.
- Se propusieron diferentes medidas para reducir el riesgo ambiental de los 17 escenarios accidentales más relevantes en la investigación; 4 ubicados en la zona de riesgo ALARP y 13 ubicados en la zona de riesgo moderado.
- Las propuestas de prevención de riesgos para los escenarios accidentales más significativos, están orientadas a disminuir el valor del índice de consecuencias medioambientales (ICM) y la probabilidad de ocurrencia del accidente, reduciendo así, el valor global del riesgo ambiental de cada escenario accidental.
- Se corroboró la hipótesis planteada, ya que, mediante la evaluación del riesgo ambiental correspondiente a la etapa productiva y sistemas auxiliares en la planta de fundición de acero, se determinó que ninguno de los escenarios accidentales considerados para este estudio, se encuentra dentro de la categoría de región de riesgo elevado.
- La evaluación del riesgo medioambiental puede facilitar la labor de la autoridad competente al momento de descartar de la planificación aquellos escenarios accidentales que, por presentar una probabilidad de ocurrencia o unas

consecuencias medioambientales extremadamente bajas, se considere muy improbable su materialización, justificándolo convenientemente.

- Se entrega el análisis del riesgo ambiental, al responsable del establecimiento quien a efectos de gestión posee un conocimiento de los escenarios accidentales con mayor riesgo asociado, que le permitirá gestionar la seguridad en el establecimiento.

6.2. Recomendaciones

- Tanto las etapas de producción como los sistemas auxiliares deben contar con un riguroso sistema de monitoreo continuo del estado general de equipos, maquinarias y herramientas. A través de inspecciones se sugiere llevar este registro en conjunto con los supervisores de las diferentes áreas.
- Utilizar la misma metodología de evaluación de riesgos ambientales, enfocados en el área de laminados y trefilados pertenecientes a la empresa ADELCA C.A.
- Debido a que la vulnerabilidad socioeconómica depende de factores externos a la empresa, se recomienda realizar estudios del entorno afectado periódicamente, con el fin de monitorear la contaminación existente en dichas zonas.
- Es pertinente la realización de simulacros acordes a las actividades de cada proceso industrial, con el objetivo de hacer frente a sucesos inesperados que impliquen el riesgo de contaminación al ambiente.

- Inspección de los procedimientos de trabajo, con la finalidad de asegurar el correcto desempeño y en forma general la seguridad del personal de cada área de la planta.
- Realizar una difusión tanto interna como externa de los peligros que conlleva el mal uso de los equipos y la mala ejecución de los distintos procedimientos. Además, registrar la información de los resultados obtenidos a partir de la implementación de las medidas de prevención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELCA, C. A. (2017). Memoria de Sostenibilidad. Retrieved from Acería del Ecuador website: <https://www.adelca.com/memoria-sostenibilidad.pdf>
- André, O. (2005). Diseño y análisis económico de una instalación de gas licuado de petróleo aplicado al edificio Mllenium de la ciudad de Loja (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Retrieved from [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13812/3/TESIS Tería de las Restricciones %28TOC%29 - Ing.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13812/3/TESIS%20Tería%20de%20las%20Restricciones%20TOC%29%20-%20Ing.pdf)
- Arruti, A. (2009). La siderurgia en el medio ambiente. Retrieved from América Económica website: <http://www.americaeconomica.com/portada/opiniones/septiembre09/040909/arruti040409.html>
- Bilger, E. (2019). Barreras de contención para derrames de productos químicos y del agua del sistema contra incendios. Retrieved from NFPA website: <https://www.nfpajla.org/archivos/exclusivos-online/materiales-inflamables-combustibles/868-barreras-de-contencion-para-derrames-de-productos-quimicos-y-del-agua-del-sistema-contra-incendios>
- Camacho, L., & Sánchez, J. (2007). Bioconcentración y toxicidad de metales en el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Toxicol*, 24, 14–17.
- Cardona, G. A. (2015). Diseño de una Estrategia de Desarrollo Sostenible para el Municipio de Aquismón, San Luis Potosí 2015-2025. Instituto Politécnico Nacional de México.
- CEDEX. (2011). Ficha técnica: Escoria de acería de horno de arco eléctrico. Retrieved

from <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/22980D5E-377B-4697-AEFE-CE897A68963D/119858/ESCORIASDEACERIADEHORNODEARCOELECTRICO.pdf>

Correa, E. E. (2014). Estudio de factibilidad para el montaje de un tren de laminación de alambón que fortalezca la integración vertical en la empresa Acería del Ecuador ADELCA C.A. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Delgado, J. M. (2007). La medida del riesgo ambiental. MAPFRE - Gestión de Riesgos, pp. 50–63.

Díaz, M., López, M., & Espinoza, A. (2009). Pruebas de toxicidad acuática: fundamentos y métodos. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 29(1), 140–142.

Ecuador, A. C. Constitución del Ecuador. , (2008).

Figueroa, A. (2010). Analisis de riesgo ambiental aplicado a un establecimiento afectado por el R.D. 1254/1999. Universidad Politécnica de Cataluña.

Galarza, C. P. (2017). Analizar los riesgos ambientales causantes de enfermedades profesionales a los trabajadores en la empresa metalmecánica “INNOVA FERRO.”

García, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 14, 109–129.

Garrido, M. (2006). Propuesta general de prevención de riesgos para empresas colaboradoras que realizan trabajos en el área de la construcción en la Universidad Austral de Chile. Universidad Austral de Chile.

INDURA. (2015). Manual de Gases. Retrieved from <http://www.indura.net/content/storage/ec/biblioteca/115c34ca0e684d41b098c9fbbc>

861cac.pdf

INEC. (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>

INSHT. (2008). Análisis de riesgos mediante árbol de sucesos. Retrieved from https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_328.pdf

ISOtools. (2015). Las principales diferencias entre la versión actual de ISO 14001 y la futura ISO 14001:2015. Retrieved from ISO 14001 website: <https://www.isotools.com.mx/las-principales-diferencias-entre-la-version-actual-de-iso-14001-y-la-futura-iso-140012015/>

ISTAS. (2004). El método de árbol de causas. Retrieved from Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud website: <https://istas.net/salud-laboral/actividades-preventivas/investigacion-de-accidentes-de-trabajo/el-metodo-arbol-de>

Liñán, A. (1999). Métodos, criterios de selección y una aplicación en el almacenamiento y manejo de cloro industrial.

López, G., Irán, A., Zahily, M., & Cabrera, H. (2018, August). Árbol de fallo como herramienta para la mejora de procesos. Estudio de caso cementera XPZ. ESPACIOS.

Maldonado, J. L. (2016). Aceros y sus Aplicaciones (Universidad Autónoma de Nuevo León). Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/421/1/1020118272.PDF>

Medina, L. (2010). Proceso de fabricación del acero. UPCommons, 43–50.

Mendieta, M. A. (2017). Análisis de riesgo ambiental aplicado a la planta de fundición de acero de la empresa Novacero S.A. Planta Lasso, Ecuador (Universidad Politécnica

- de Valencia). Retrieved from <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/89438>
- MITECO. (2015). Análisis de riesgos medioambientales individual sector : Almacenamiento de sustancias. Secretaría De Estado y de Medio Ambiente España. Retrieved from <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/analisis-de-riesgos-sectoriales/analisis-riesgos-medioambientales.aspx>
- Moffit, A., & Masaitis, J. (2015). Hierro y acero. In Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Retrieved from <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/73.pdf>
- Narváez, N. (2018). Modelación del horno de arco eléctrico y análisis de la calidad del producto técnico en el sistema de media y alta tensión de la planta ADELCA con sede en Aloag.
- Nivelo, J., & Ugalde, J. (2011). Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa INSOMET (division TELARTEC, productora de telas de poli-algodon); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cia. Ltda. Universidad Politécnica Salesiana.
- NJHealth. (2009). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. Retrieved from Department of health, New Jersey website: <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0312sp.pdf>
- Pacay, E. (2014). Necesidad de aplicar la evaluación de riesgo ambiental que establece el reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental en la construcción de infraestructura vial. (Vol. 3).

<https://doi.org/http://dx.doi.org/110.21043/equilibrium.v3i2.1268>

Renzo, O., & Barreto, L. (2009). Estudio de análisis de riesgo en un generador de acetileno utilizando el metodo HAZOP. Universidad Nacional de Ingeniería.

Ruiz, C. (2014). Metodología de análisis de riesgo ambiental aplicado a una empresa de recubrimientos metálicos por electrólisis Distrito de la Victoria - Perú. Universidad Politécnica de Valencia.

SEMARNAT. (2016). Guía para la elaboración de la cédula de operación anual Industria Metalúrgica. México.

SENPLADES. (2012). Secretaría Nacional de Desarrollo. Obtenido de Transformación de la Matriz Productiva. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz_productiva_WEBtodo

SNI. (2014). Sistema Nacional de Información. Retrieved from <http://sni.gob.ec/mapa-cobertura-uso>

Soler. (2016). Blog de Soler: Prevención y Seguridad. Retrieved from <http://www.solerprevencion.com/noticias/sistemas-de-proteccion-contra-incendios/sistemas-inertizacion-antiincendios/>

Stoffen, G. (2005). Guidelines for quantitative risk assessment. In VROM.

Uribe, S. E. (2012). Preopuesta de mejoramiento de políticas y precedimientos en la gestión de procesamiento, almacenaje y consumo de materia prima en el departamento de fundición de la Acería del Ecuador C.A. ADELCA. Universidad Central del Ecuador.

Villafuerte, R. (2008). Modelación, simulación y determinación de índices de distorsión armónica y efecto flicker, en el sistema nacional de transmisión, causados por la

conexión de horno de arcos, aplicado al caso de NOVACERO S.A.

Zapata, J. (2013). Elaboracion de un análisis másico de agua, para obtener información real de entrada y salida del mismo recurso dentro de la fábrica Acería del Ecuador C.A ubicada en la parroquia de Aloag,Canton Mejía. Unicersidad Técnica de Cotopaxi.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA**

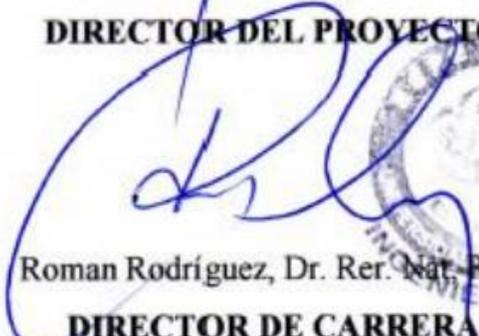
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **Erik Fabricio Fajardo Molina.**

En la ciudad de Latacunga a los 13 días del mes de noviembre de 2019.

Aprobado por:


Ricardo Urrutia Goyes, PhD
DIRECTOR DEL PROYECTO


Roman Rodriguez, Dr. Rer. Nat. PhD
DIRECTOR DE CARRERA



Certificado por:


Ab. Darwin Albán
SECRETARIO ACADÉMICO

