

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA



**“GESTIÓN DE RESIDUOS DE PERMANGANATO DE POTASIO GENERADOS EN
LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA DE LA ESCUELA DE QUÍMICA”**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela, por la Br. Gladys
Sucic Orbegoso, para optar al
título de Licenciado en Química

Caracas, marzo de 2010

Yo Profesora: Dra. Soraya Taboada, Investigadora del Laboratorio de Síntesis Órgano-Metálica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, certifico que el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

“GESTIÓN DE RESIDUOS DE PERMANGANATO DE POTASIO GENERADOS EN
LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA DE LA ESCUELA DE QUÍMICA”.

Que presenta la Br. Gladys Sucic Orbegoso, para aspirar al título de Licenciada en Química, ha sido realizado en los Laboratorios de Docencia y en el Laboratorio de Síntesis Organo-Metálica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, bajo mi dirección, durante el año 2009, y con esta fecha autorizo su presentación.

Caracas, marzo de 2010

Dra. Soraya Taboada
(Tutor)

RESUMEN

En los Laboratorios de Docencia de la Escuela de Química se generan constantemente y se acumulan gran cantidad de residuos y desechos que por sus características físicas y químicas se consideran materiales peligrosos. Dentro de esta problemática se destacan los residuos de Permanganato de Potasio, dado que son los que se generan en un mayor volumen y representan un alto grado de peligrosidad por sí mismos y por hallarse en diversas mezclas.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo establecer una gestión para los diversos residuos de Permanganato de Potasio generados por la Institución, diseñando metodologías experimentales que puedan ser aplicadas por los mismos estudiantes que los generan, con el fin de reducir su concentración, peligrosidad, almacenamiento y transformarlos en un producto útil.

La gestión consistió primeramente en hacer la identificación completa de este tipo residuos a través del estudio de cada práctica y experimento que los generaban. Se elaboraron esquemas de segregación para cada práctica, éstos contenían la reacción química, los procesos y cantidades de residuo producidas, así como su composición y asignación de un código. A partir de esta información se hizo el inventario correspondiente, se investigó la clasificación de peligrosidad y se construyeron las etiquetas.

Se estableció recuperar el Manganeseo como Dióxido de Manganeseo, para ello se evaluaron varios tratamientos químicos de los cuales se seleccionaron los dos más sencillos, rápidos y eficaces que fueron el uso de H_2O_2 y del propio $KMnO_4$, además éstos no dejan residuos ni introducen especies nuevas a la solución. El óxido obtenido fue secado a $100^\circ C$ y caracterizado por XRD y FTIR determinándose como fase mayoritaria γ - MnO_2 hidratada o Nsutita que posee propiedades catalíticas entre otras.

Se diseñó una marcha analítica sencilla para eliminar las otras especies contaminantes como Fe, Sb, Ag, fosfatos, sulfatos, alcohol bencílico, benzaldehído, entre otras, lográndose disminuir sus concentraciones, exceptuando los nitratos, por debajo de los límites permitidos en el Decreto 883. Un 57% de los productos obtenidos pueden ser reinsertados como reactivos en los propios laboratorios de esta institución, el 14% pueden ser descartados por el drenaje y el 29% deben ser almacenadas para su disposición final.

El costo promedio de los tratamientos propuestos es de 37,05 BsF por litro de residuo y debido a la sencillez de los procedimientos pueden ser ejecutados por los propios alumnos, para lo cual se elaboró una práctica para los dos primeros laboratorios de la carrera, Principios de Química e Inorgánica I, quedando demostrado que no se necesita de grandes desarrollos tecnológicos para dar solución al problema de los residuos de Permanganato de Potasio.

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado: "GESTIÓN DE RESIDUOS DE PERMANGANATO DE POTASIO GENERADOS EN LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA DE LA ESCUELA DE QUÍMICA". Presentado por la Br. Gladys Sucic Orbegoso, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el titulo de Licenciado en Química.

Dra. Soraya Taboada
(Director)

Prof. Lewis Valero
(Jurado)

Dr. Paulino Betancourt
(Jurado)

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, mejor amigo, consejero y mi patrocinante durante toda la carrera Pavle Sušić Godinić.

A mi tutora que hace posible lo imposible Dra. Soraya Taboada

A mis jurados Dr. Paulino Betancourt y Prof. Lewis Valero

A los profesores que colaboraron en esta tesis desinteresadamente: Humberto Rada, Gustavo Pérez, Lola de Lima, William Meléndez y Santiago Marrero. También al Técnico Carlos Calderón, Samuel Peralta y al preparador Luis Veliz.

A mis amigos y compañeros durante la realización de este trabajo Ana Reyes, Lic. Carolina Moreno, Lic. Verónica Pinto, Lic. Gleidys Quintana, Bro. Leonardo Acevedo, Andreina Herrera, Lic. Mariú Solano, Daniel Manaure, Manuel Matos, María Maza, Lic. Ervis Escalante, Lic. Jhonatan González, Lic. Yesielin Flores, Lic. Danisbeth Quiñones, Lic. Susana Pinto, Dra. Olgioy Domínguez y Lic. Carolina Corao.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.-Marco Legal Venezolano	3
2.1.1.-Constitución de la República Bolivariana de Venezuela	3
2.1.2.-Convenios Internacionales.....	4
2.1.3.- Leyes Orgánicas	6
2.1.4.-Leyes Ordinarias.....	7
2.1.5.-Leyes Especiales.....	7
2.1.6.-Decretos.....	9
2.1.7.-Normas Técnicas COVENIN.....	12
2.2.-Gestión de Residuos	13
Técnicas de gestión de residuos.....	13
a.- Clasificación de los residuos	14
b.- Reducción de la fuente.....	14
c.- Reciclaje y reutilización de residuos.....	14
d.- Tratamiento y disposición final de residuos.....	15
d.1.- Descartar al residuo sin tratamiento	15
d.2.- Descartar el residuo con un tratamiento	16
d.2.1.- Procesos físicos para el tratamiento de residuos.....	16
d.2.2.- Procesos químicos para el tratamiento de residuos	18
d.2.3.- Procesos biológicos para el tratamiento de residuos.....	20
d.2.4.- Procesos térmicos para el tratamiento de residuos.....	20
d.2.5.- Procesos fotolíticos para el tratamiento de residuos.....	21
d.3.- Residuos y/o desechos tóxicos que tienen que ser almacenados	23
d.4.- Disposición final de desechos	24
2.3.- Especies químicas del Manganeso	24
2.3.1.- Óxidos de Manganeso	26

2.4.-Efectos del Manganeso sobre la salud y el ambiente	29
2.4.1.-Efectos sobre la salud.....	29
2.4.2.-Efectos ambientales del Manganeso	30
2.5.-Alternativas de Tratamiento de los Residuos de Manganeso.....	32
2.6.-Antecedentes.....	36
2.6.1.-Trabajos realizados en Gestión de Residuos.....	36
2.6.2.-Trabajos Específicos de Remoción de Manganeso	39
2.6.3.-Trabajos sobre el Dióxido de Manganeso.....	40
2.7.- Justificación del Problema	43
3.- OBJETIVOS	44
3.1.- Objetivo General.....	44
3.2.- Objetivos Específicos	44
4.- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	46
4.1.- Evaluación del procedimiento que se sigue actualmente en el manejo de los residuos de Permanganato de Potasio generados en los Laboratorios de Docencia.	47
4.2.- Identificación, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio.....	52
4.2.1.- Identificación de las fuentes de residuos de Permanganato de Potasio	52
4.2.2.- Recolección, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio.....	52
4.2.3.- Etiquetado de los residuos de Permanganato de Potasio.....	54
4.3.- Propuesta de recuperación y tratamiento de los residuos generados	55
4.4.- Determinación de las propiedades físicas y químicas de los productos y sub- residuos obtenidos en los tratamientos aplicados.	67
4.5.- Evaluación de los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados	68
4.6.- Ubicación de los productos obtenidos en los tratamientos de los residuos	68
4.7.- Propuesta de una práctica de laboratorio	69
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70

5.1.- Evaluación del procedimiento que se sigue actualmente en el manejo de los residuos de Permanganato de Potasio generados en los Laboratorios de Docencia .	70
5.2.- Identificación, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio.....	82
5.2.1.- Identificación de las fuentes de residuos de Permanganato de Potasio:	82
5.2.3.- Etiquetado de los residuos de Permanganato de Potasio.....	132
5.3.- Propuesta de recuperación y tratamiento de los residuos generados	132
5.3.1.- Análisis de los procedimientos seleccionados para el tratamiento de los contaminantes en los 14 residuos.....	136
Tratamiento de eliminación de Manganeseo	136
Tratamiento de eliminación de las otras especies contaminantes	142
5.3.2.- Presentación de los tratamientos propuestos y análisis de su aplicación .	149
5.4.- Resumen de la evaluación de los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados:.....	236
5.5.-Resumen de las propuestas de empleo de los productos obtenidos en los tratamientos de los residuos:	243
5.6.- Propuesta de una práctica de laboratorio.	252
6.- CONCLUSIONES	262
7.- RECOMENDACIONES	265
8.- ANEXOS	266
ANEXO A. Definición de Términos	266
ANEXO B. Clasificación de los Materiales Peligrosos:	271
1.- Clasificación por sus Efectos sobre la Salud	271
2.- Clasificación por su Peligrosidad	272
3.- Clasificación por sus Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas.....	279
ANEXO C. Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos a redes cloacales, según el Decreto 883 ^[18] en la Sección V del Capítulo III	281
ANEXO D. Potenciales estándar de reducción de algunos oxidantes	283

ANEXO E. Especificaciones de los equipos utilizados para el análisis de las muestras	284
ANEXO F. Método empleado para la determinación de Yodo presente en las muestras	286
ANEXO G. Guías de Prácticas de Laboratorio que generan residuos de Permanganato de Potasio:	287
G.1.- Laboratorio de Principios de Química	287
G.2.- Laboratorio de Inorgánica I	289
G.3.-Laboratorio Instrumental Analítico.....	292
G.4.-Laboratorio de Fisicoquímica Integrado	295
G.5.-Laboratorio de Analítica	299
G.6.-Laboratorio I de Química Orgánica	301
G.7.-Laboratorio II de Química Orgánica	302
ANEXO H. Cálculos de las concentraciones teóricas de Manganeso en los residuos de los laboratorios de Química Analítica y de Química Orgánica I y II	305
ANEXO I. Etiquetas empleadas en los residuos de Permanganato de Potasio	307
9.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	317

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Colores que presenta el ión de Manganese en solución según su estado de oxidación.	25
Tabla 2. Tratamientos con agentes reductores	58
Tabla 3. Tratamientos con agentes reductores	59
Tabla 4. Tratamientos con agente oxidantes. Oxidación de Manganese (II) a Manganese (IV).....	60
Tabla 5. Tratamientos que involucran procesos fotolíticos.....	62
Tabla 6. Tratamientos de precipitación de Manganese.....	63
Tabla 7. Tratamientos de eliminación para las otras especies contaminantes.....	64
Tabla 8. Total y porcentaje de las respuestas obtenidas en la entrevista sobre gestión interna.	76
Tabla 9. Total y porcentaje de las respuestas obtenidas en la entrevista sobre gestión externa.	77
Tabla 10. Prácticas de laboratorio que fueron seleccionadas:	83
Tabla 11: Volúmenes empleados de los reactivos y su temperatura	100
Tabla 12. Volúmenes empleados de los reactivos, su temperatura y pH.....	101
Tabla 13. Volúmenes totales empleados de los reactivos, su temperatura y pH	103
Tabla 14. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Principios de Química.	120
Tabla 15. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Inorgánica I	122
Tabla 16. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Fisicoquímica Integrado	126
Tabla 17. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Instrumental Analítico.....	127
Tabla 18. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Orgánica II.....	130

Tabla 19. Agrupaciones de los residuos	133
Tabla 20. Ventajas y desventajas de los tratamientos oxidantes y reductores preseleccionados	138
Tabla 21. Listado de los tratamientos a considerar y la página donde se encuentra su metodología experimental.....	149
Tabla 22. Características observadas al hacer reaccionar la solución con los cinco tratamientos	150
Tabla 23. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 1	155
Tabla 24: Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 50 mL de Residuo 1	157
Tabla 25. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.....	161
Tabla 26. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 2	163
Tabla 27. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 50 mL de Residuo 2	164
Tabla 28. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.....	166
Tabla 29. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 3	167
Tabla 30. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para de 50 mL de Residuo 3.....	169
Tabla 31. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.....	172
Tabla 32. Concentración de Manganeso presente en el Residuo 4 determinada por FAAS.....	173
Tabla 33. Reactivos y productos empleados en el tratamiento de 50 mL de Residuo 4	174
Tabla 34. Concentraciones de Manganeso después del tratamiento:.....	175
Tabla 35. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 5, determinadas por FAAS e IEC	176
Tabla 36. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento, partiendo de 50 mL de Residuo 5.....	177
Tabla 37. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.....	179

Tabla 38. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 6 determinadas por FAAS e IEC.	180
Tabla 39. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 100 mL de Residuo 6.	181
Tabla 40. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.	184
Tabla 41. Espectros de los compuestos puros.	186
Tabla 42. Espectros de los residuos.	187
Tabla 43. Concentración inicial de Manganeso presente en Residuo 7 determinada por FAAS.	189
Tabla 44. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 50 mL de Residuo 7.	190
Tabla 45. Concentración de Manganeso después del tratamiento.	192
Tabla 46. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 8, determinadas por FAAS y por titulación.	193
Tabla 47. Reactivos y productos empleados para el tratamiento.	194
Tabla 48. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.	196
Tabla 49. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 9, determinadas por FAAS y IEC.	197
Tabla 50. Reactivos y productos empleados para el tratamiento.	198
Tabla 51. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.	200
Tabla 52. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 10, determinadas por FAAS e IEC.	202
Tabla 53. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento.	203
Tabla 54. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.	206
Tabla 55. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 11, determinadas por FAAS y IEC.	208
Tabla 56. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento.	209
Tabla 57. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.	212

Tabla 58. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 12, determinadas por FAAS y IEC.	214
Tabla 59. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento partiendo de 50 mL de Residuo 12.....	215
Tabla 60. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.....	218
Tabla 61. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 13, determinadas por FAAS e IEC.	220
Tabla 62. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras.....	221
Tabla 63. Resultados obtenidos para las concentraciones de Fe, Sb, Ag, Na y K determinadas por FAAS.....	225
Tabla 64. Resumen de los resultados obtenidos para las concentraciones de Mn determinadas por FAAS.....	232
Tabla 65. Resultados obtenidos para las concentraciones de Mn y Na determinadas por FAAS.....	233
Tabla 66. Bandas de absorción en el Infrarrojo para el K_2SO_4 y sus diferentes modos de vibración.....	235
Tabla 67. Grado de peligrosidad de los productos y sub-residuos obtenidos en los diferentes tratamientos.....	236
Tabla 68. Datos de las distribuciones de los residuos de partida y de los productos y sub-residuos obtenidos luego de aplicar los tratamientos.....	240
Tabla 69. Campo de uso o demanda de los productos.	243
Tabla 70. Relación de costos del tratamiento completo.....	245
Tabla 71. Clasificación de los materiales peligrosos según los efectos sobre la salud	271
Tabla 72. Clasificación de los materiales peligrosos según el Artículo 6 del Decreto 2.635.	272
Tabla 73. Clasificación de los materiales peligrosos según su nivel de riesgo	275
Tabla 74. Clasificación de las Sustancias y Desechos Tóxicos, según la Unión Europea	276

Tabla 75. Leyenda de las cuatro partes del rombo del Sistema de identificación de riesgo de materiales peligrosos. NFPA 704	279
Tabla 76. Clasificación de los materiales peligrosos por sus Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas.....	279
Tabla 77. Parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales.....	281
Tabla 78. Potenciales estándar de reducción de algunos oxidantes.....	283
Tabla 79. Serie de corridas ($[KMnO_4]_0 = 5 \times 10^{-4} M$).	296
Tabla 80. Serie e ($V_S = 5 mL$, Temperatura = ambiente, $pH = 7$).....	297
Tabla 81. Serie s ($V_E = x mL$, Temperatura = ambiente, $pH = 7$)	298
Tabla 82. Serie t ($V_S = 5 mL$, $V_{H_2O} = 20-x mL$, $V_E = x mL$, $pH = 7$)	298
Tabla 83. Serie h ($V_S = 5 mL$, $V_B = 20-x mL$, $V_E = x mL$, Temperatura = ambiente.)..	298

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sinergia entre los Convenios de Estocolmo, Rotterdam y Basilea.....	5
Figura 2. Estructura del Rutilo	26
Figura 3. Representación de la Pirolusita	27
Figura 4. Representación de la Ramsdelita	27
Figura 5. Representación de la Nsutita	27
Figura 6. Representación de la Birnesita	28
Figura 7. Representación de la Holandita (izquierda) y la Romanechita (derecha).....	28
Figura 8. Estructura geométrica de la Nsutite (γ -MnO ₂)	41
Figura 9. Representación de los diferentes sitios para la oxidación.....	42
Figura 10. Esquema de la metodología experimental a emplearse:.....	46
Figura 11. Modelo de etiqueta utilizada.....	55
Figura 12. Foto de las etiquetas de los residuos generados en el Laboratorio I de Química Inorgánica.	72
Figura 13. Foto de las etiquetas de los envases de residuos de Permanganato generados en el Laboratorio de Principios de Química.....	72
Figura 14. Foto del lugar donde se acumulan los residuos, dentro del Laboratorio de Principios de Química (izquierda, arriba), Laboratorio Instrumental Analítico (derecha, arriba), Laboratorio II de Orgánica (izquierda, abajo) y Laboratorio de Preparaciones (derecha, abajo)	73
Figura 15. Foto de la etiqueta de algunos de los residuos acumulados en el Laboratorio I de Química Inorgánica.	74
Figura 16. Foto de un estante donde se guardan desechos, ubicado en el pasillo del segundo piso de los laboratorios de Docencia.....	74
Figura 17. Foto del depósito de residuos y desechos de los Laboratorios de Docencia.	75
Figura 18. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a las preguntas <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> y <i>c</i> en la entrevista sobre gestión interna.	78

Figura 19. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a las preguntas <i>f</i> y <i>g</i> en la entrevista sobre gestión interna.	78
Figura 20. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a la pregunta <i>h</i> en la entrevista sobre gestión interna.	79
Figura 21. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a las preguntas <i>a</i> y <i>b</i> en la entrevista sobre gestión externa.	80
Figura 22. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a la pregunta <i>c</i> en la entrevista sobre gestión externa.	80
Figura 23. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a la pregunta <i>d</i> en la entrevista sobre gestión externa.	81
Figura 24. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química.....	89
Figura 25. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química.....	90
Figura 26. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química.....	91
Figura 27. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química.....	92
Figura 28. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química.....	93
Figura 29. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I.....	94
Figura 30. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I.....	95
Figura 31. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I.....	96
Figura 32. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I.....	97
Figura 33. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I.....	98
Figura 34. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I.....	99
Figura 35. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Fisicoquímica Integrado.....	100
Figura 36. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Fisicoquímica Integrado.....	101
Figura 37. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica.....	104
Figura 38. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica.....	105
Figura 39. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica.....	106
Figura 40. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica.....	107
Figura 41. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico.....	108
Figura 42. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico.....	109

Figura 43. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico	110
Figura 44. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico	111
Figura 45. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico	112
Figura 46. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico	113
Figura 47. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico	114
Figura 48. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Orgánica I.....	115
Figura 49. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Orgánica II.....	116
Figura 50. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Orgánica II.....	117
Figura 51. Distribución de los residuos según su grado de peligrosidad.....	131
Figura 52. Diagrama ecológico del Residuo 1. Primer método.	158
Figura 53. Diagrama ecológico del Residuo 1. Segundo método.....	159
Figura 54. Diagrama ecológico del Residuo 1. Tercer método.....	160
Figura 55. Diagrama ecológico del Residuo 2.....	165
Figura 56. Diagrama ecológico del Residuo 3. Primer método.	170
Figura 57. Diagrama ecológico del Residuo 3. Segundo método.....	171
Figura 58. Diagrama ecológico del Residuo 4.....	175
Figura 59. Diagrama ecológico del Residuo 5.....	178
Figura 60. Diagrama ecológico del Residuo 6. Primer método.	182
Figura 61. Diagrama ecológico del Residuo 6. Segundo método.....	183
Figura 62. Diagrama ecológico del Residuo 7.....	191
Figura 63. Diagrama ecológico del Residuo 8.....	195
Figura 64. Diagrama ecológico del Residuo 9.....	199
Figura 65. Diagrama ecológico del Residuo 10. Primer método.	204
Figura 66. Diagrama ecológico del Residuo 10. Segundo método.....	205
Figura 67. Diagrama ecológico del Residuo 11. Primer método.	210
Figura 68. Diagrama ecológico del Residuo 11. Segundo método.....	211
Figura 69. Diagrama ecológico del Residuo 12. Primer método.	216
Figura 70. Diagrama ecológico del Residuo 12. Segundo método.....	217
Figura 71. Diagrama ecológico del Residuo 14. Tratamiento general.....	224

Figura 72. Difracción de Rayos X del óxido de manganeso secado en la estufa	226
Figura 73. Espectro de Infrarrojo del óxido de manganeso secado en la estufa	227
Figura 74. Difracción de rayos X del Óxido de manganeso calcinado a 900°C	229
Figura 75. Espectro de Infrarrojo del óxido de Manganeso calcinado a 900°C	230
Figura 76. Espectro UV-Vis de la Solución de la mezcla de K_2SO_4	233
Figura 77. Espectro de Infrarrojo de la mezcla de sales de K_2SO_4	234
Figura 78. Distribución de la clasificación de peligrosidad de los productos y sub-residuos obtenidos.	239
Figura 79. Tendencia de la clasificación de peligrosidad de los residuos después de ser tratados	240
Figura 80. Distribución de productos y sub-residuos de acuerdo a su destino	242
Figura 81. Gráfica de los costos del tratamiento por cada litro de residuo.	251
Figura 82. Sistema de identificación de riesgo de materiales peligrosos. NFPA 704. ...	278
Figura 83. Etiqueta del Residuo 1.	307
Figura 84. Etiqueta del Residuo 2.	307
Figura 85. Etiqueta del Residuo 3.	308
Figura 86. Etiqueta del Residuo 4.	308
Figura 87. Etiqueta del Residuo 5.	309
Figura 88. Etiqueta del Residuo 6.	309
Figura 89. Etiqueta del Residuo 7.	310
Figura 90. Etiqueta del Residuo 8.	310
Figura 91. Etiqueta del Residuo 9.	311
Figura 92. Etiqueta del Residuo 10.	311
Figura 93. Etiqueta del Residuo 11.	312
Figura 94. Etiqueta del Residuo 12.	312
Figura 95. Etiqueta del Residuo 13.	313
Figura 96. Etiqueta del Residuo 14.	313
Figura 97. Patrón de difracción de Rayos X de la fase γ - MnO_2 hidratada o Nsutita reportado en la base de datos JCPDS-ICDD, PDF N° 17-0510.	314

- Figura 98. Patrón de difracción de Rayos X de Mn_3O_4 o Hausmanita reportado en la base de datos JCPDS-ICDD, PDF N° 24-0734.....315
- Figura 99. Patrón de difracción de Rayos X del Óxido de Manganeso Potasio Hidratado reportado en la base de datos JCPDS-ICDD, PDF N° 42-1317.....316

ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS USADOS:

Acrónimos o abreviaturas	Nombre
(ac)	Acuoso
BDQ	Base de Datos de Química
(c)	Concentrado
COP's	Contaminantes orgánicos persistentes
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency)
FAAS	Espectroscopia de Absorción Atómica a la Llama (Flame Atomic Absorption Spectroscopy)
FTIR	Espectroscopia en el Infrarrojo con Transformada de Fourier (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
(g)	Gaseoso
g	Gramos
IEC	Cromatografía de Intercambio Iónico (Ion Exchange Chromatography)
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
(l)	Líquido
LOPCYMAT	Ley Orgánica de Prevención, Condiciones de Vida y Medio Ambiente de Trabajo
MINAMB	Ministerio del Poder Popular para el Ambiente

Abreviatura y Acrónimos	Nombre	(continuación)
mL	Militros	
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego. (National Fire Protection Association)	
N-VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles que contienen Nitrógeno (N- Volatile Organic Compound)	
OMI	Organización Marítima Internacional	
ONU	Organización de Naciones Unidas	
pH	Potencial de Hidrógeno	
PIC	Principio de Información y Previo Consentimiento	
Ppm	Partes Por Millón	
(s)	Sólido	
UCV	Universidad central de Venezuela	
UV	Ultra Violeta	
Vis	Visible	
VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles (Volatile Organic Compound)	
XRD	Difracción de Rayos X (X Ray Diffraction)	

1.- INTRODUCCIÓN

Actualmente las investigaciones científicas y tecnológicas están orientadas a desarrollar y mejorar los procesos de explotación de los recursos, introduciendo principios ambientales de minimización, recuperación y reciclaje de los desechos producidos, dejando poco a poco en un segundo plano antiguas estrategias que no toman en cuenta estos factores, en donde predomina el criterio de comprar, usar y desechar.

Los centros de investigación, como los laboratorios universitarios son importantes generadores de sustancias, materiales y residuos peligrosos. En este punto es necesario definir lo que es un residuo peligroso: Es aquella sustancia en estado sólido, líquido o gaseoso que no tiene un valor de uso directo y en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad puede presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al medio ambiente.

El manejo inadecuado y la acumulación de los residuos y desechos peligrosos pueden constituir un problema ambiental ya que al ser almacenados y descartados en forma inadecuada, sin tratamiento previo, pueden transportarse a través del agua, suelo y aire, y llegar al ambiente, desde unos pocos hasta cientos de kilómetros del lugar de origen. El daño que ello causa no solo se debe a la toxicidad directa en los seres vivos, sino también, a su capacidad de alterar la química del agua, la atmósfera, el suelo, el clima y los ecosistemas

La producción de residuos y desechos peligrosos en los Laboratorios de Docencia de la Escuela de Química de la U.C.V. se caracteriza por ser amplia en diversidad y en cantidad, lo que dificulta el establecimiento de tratamientos generales para su valoración y disposición final. Una de las razones principales que contribuyen a

agravar este problema es la carencia de estrategias preventivas en la planificación de las actividades docentes a nivel experimental, lo que representa un riesgo añadido a las propias actividades del laboratorio

La normativa ambiental venezolana y los proyectos de ley que se desarrollan, elevan el compromiso de la Universidad Central a involucrarse en el desarrollo de tecnologías limpias que armonicen con los requerimientos y exigencias de los criterios ambientales actuales. Para cumplir con esta responsabilidad se debe recoger y gestionar adecuadamente todos los residuos que se generan, para ello es conveniente elaborar disposiciones o reglamentos internos que indiquen el protocolo a seguir en la gestión de los residuos generados en los laboratorios. Por lo anterior, con este trabajo se pretende servir de material de apoyo en la creación de un sistema de gestión de residuos químicos generados dentro de nuestra institución, específicamente de los residuos de Permanganato de Potasio, intentando inducir cambios de actitud en la comunidad universitaria con el propósito de disminuir la contaminación del medio.

2.- REVISION BIBLIOGRÁFICA

Se presenta una revisión del marco legal venezolano relacionado con el medio ambiente y con la gestión de residuos peligrosos, también se hace referencia a la planificación y técnicas generales para la gestión de residuos. Se presentan las características de las especies químicas del Manganeso, los efectos de éstas sobre la salud y el ambiente, así como las alternativas de tratamiento específicas para los residuos de Permanganato de Potasio que se utilizarán durante el desarrollo de este proyecto. Por último, se consideraron trabajos realizados en gestión de residuos y trabajos específicos de remoción de Manganeso.

2.1.-Marco Legal Venezolano

El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), es el organismo rector en materia ambiental, el cual tiene por responsabilidad establecer, conducir y ejecutar políticas ambientales a nivel nacional, para tomar decisiones coherentes y responsables relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, que conlleven a una mejor calidad de vida y desarrollo sustentable ^[1].

2.1.1.-Constitución de la República Bolivariana de Venezuela ^[2].

El derecho ambiental en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela se consagra en su Título III, que trata *De los deberes, derechos humanos y garantías* (Artículos 19-135), en él está contenido el Capítulo IX denominado *De los derechos ambientales* (Artículos 127-129), entre ellos el **Artículo 127** dice que "Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro"... y en el **Artículo 129** se señala que "Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural... Una ley especial

regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas".

2.1.2.-Convenios Internacionales.

Los convenios internacionales son expresiones formales de voluntad entre Estados mediante los cuales se crean obligaciones jurídicas. Venezuela forma parte de muchos convenios en pro del mejoramiento de la salud y calidad del medio ambiente. Entre ellos se encuentran:

- **Convenio de Basilea** ^[3]. Está orientado a resolver los problemas generados por los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, su eliminación y tráfico ilícito, estableciéndose la responsabilidad e indemnización por los daños que ello genere.
- **Convenio de Róterdam** ^[4]. El propósito es supervisar y controlar el comercio internacional de las sustancias peligrosas de origen agrícola e industrial. Esta convención también es conocida como el Principio de Información y Previo Consentimiento (PIC).
- **Convenio de Estocolmo** ^[5]. Trata sobre la protección de la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes (COP's).
- **Protocolo de Montreal** ^[6]. Su objetivo principal es proteger la capa de ozono adoptando medidas preventivas para controlar las emisiones mundiales de las sustancias que la agotan.

Los Convenios de Estocolmo, Rotterdam y Basilea ejercen una acción sinérgica, permitiendo una gestión racional y ecoeficiente de sustancias químicas y residuos peligrosos.



Figura 1. Sinergia entre los Convenios de Estocolmo, Rotterdam y Basilea.

- **Protocolo de Kyoto** ^[7]. Tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del período que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990.
- **Convenio MARPOL 73/78** ^[8]. Acuerdo promovido por la Organización de Naciones Unidas (ONU), a través de la Organización Marítima Internacional (OMI), que busca eliminar la contaminación internacional causada por sustancias dañinas para el medio marino; así como la minimización de las descargas accidentales de dichas sustancias, estimulando la capacidad de respuesta de los países ribereños.

2.1.3.- Leyes Orgánicas

Ley Orgánica del Ambiente ^[9]. Esta Ley tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. Entre sus artículos se destacan:

- **Artículo 75** titulado: *Orientación, fomento y estímulo de estudios e investigaciones con fines de información ambiental*: donde “se promoverá, apoyará y consolidará proyectos de vocación ambientalista con las instituciones, universidades nacionales...”
- **Artículo 80** titulado: *Actividades capaces de degradar el ambiente*, en sus numerales 2 y 7 señala actividades como “las vinculadas con la generación, almacenamiento, transporte, disposición temporal o final, tratamiento... de sustancias, materiales y desechos peligrosos”
- **Artículo 96** titulado: *Corresponsabilidad en la gestión del ambiente*, se refiere a “quienes ejecuten actividades capaces de degradar el ambiente, serán corresponsables en la gestión del ambiente...”

Ley Orgánica de Prevención, Condiciones de Vida y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) ^[10]: El objeto de esta Ley es establecer las instituciones, normas y lineamientos de las políticas, y los órganos y entes que permitan garantizar a los trabajadores y trabajadoras, condiciones de seguridad, salud y bienestar en un ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio pleno de sus facultades físicas y mentales, mediante la promoción del trabajo seguro y saludable, la prevención

de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales, la reparación integral del daño sufrido. En esta Ley se destaca:

Del registro y manejo de sustancias peligrosas:

- **Artículo 65:** Los empleadores y empleadoras están en la obligación de registrar todas las sustancias que por su naturaleza, toxicidad o condición físico-química pudieran afectar la salud de los trabajadores y trabajadoras. Dicho registro debe señalar explícitamente el grado de peligrosidad, los efectos sobre la salud, las medidas preventivas, así como las medidas de emergencia y tratamiento médico correspondiente.

2.1.4.-Leyes Ordinarias.

Ley Penal del Ambiente ^[11]: Surge por mandato de la Ley Orgánica del Ambiente, a fin de tipificar como delitos aquellos hechos que violen las disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, y establece las sanciones penales correspondientes, entre las sanciones principales están la prisión, el arresto, la multa y los trabajos comunitarios. Así mismo, determina las medidas precautelativas, de restitución y de reparación a que haya lugar.

2.1.5.-Leyes Especiales.

Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos ^[12]: Tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre con el fin de proteger la salud y el ambiente. Entre sus artículos se distinguen:

- **Artículo 3:** Se declara de utilidad pública e interés social el control de la utilización de sustancias y materiales peligrosos, la recuperación de los materiales peligrosos y la eliminación y disposición final de los desechos peligrosos.

- **Artículo 6:** Se prohíbe la descarga de sustancias, materiales o desechos peligrosos en el suelo, en el subsuelo, en los cuerpos de agua o al aire, en contravención con la reglamentación técnica que regula la materia.

- **Artículo 9:** En este artículo se definen 24 términos importantes para los efectos de esta Ley. Ver anexo A.

- **Artículo 10:** Las sustancias, materiales y desechos peligrosos se clasifican de acuerdo con los Sistemas de la Organización de Naciones Unidas. Esta clasificación podrá ser actualizada cuando se requiera tomando en consideración los avances tecnológicos y la caracterización de estas sustancias, materiales y desechos por las organizaciones especializadas, tanto nacionales como internacionales.

- **Artículo 13:** Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas responsables de la generación, uso y manejo de sustancias, materiales o desechos peligrosos están obligadas a:
 1. “Utilizar las sustancias y materiales peligrosos de manera segura a fin de impedir daños a la salud y al ambiente.

 2. Desarrollar y utilizar tecnologías limpias o ambientalmente seguras, aplicadas bajo principios de prevención que minimicen la generación de desechos, así como establecer sistemas de administración y manejo que permitan reducir al mínimo los riesgos a la salud y al ambiente.

3. Aprovechar los materiales peligrosos recuperables permitiendo su venta a terceros, previa aprobación por parte del Ministerio del Poder Popular del Ambiente, por medio de reutilización, reciclaje, recuperación o cualquier otra acción dirigida a obtener materiales reutilizables o energía.

2.1.6.-Decretos.

Existen también en la legislación venezolana una serie de decretos destinados a regular actividades específicas, entre ellos se encuentran:

Sobre las actividades susceptibles a degradar el ambiente:

Decreto 1257 ^[13]: Su propósito es dictaminar las normas que deben seguirse para minimizar los causantes de contaminación. También realiza la identificación de las actividades susceptibles a degradar el ambiente y las penalizaciones correspondientes para quienes no cumplan las normas allí contenidas.

Sobre los desechos peligrosos:

Decreto N° 2289 ^[14]: En este, se dictan las Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos.

Decreto N° 2635 ^[15]: Surge por la necesidad de establecer mecanismos que orienten la gestión de los generadores de desechos peligrosos hacia la reducción de la generación, el fomento del reciclaje, reutilización, aprovechamiento bajo la forma de materiales peligrosos recuperables, tratamiento y disposición final, cumpliendo con las medidas de seguridad, para que no constituyan una amenaza a la salud ni al ambiente. Algunos artículos de interés son:

- **Artículo 6:** En este artículo se clasifican las características peligrosas de materiales recuperables y desechos, conforme a la definición de las Naciones Unidas. Ver anexo B (punto 2.1).

- **Artículo 7:** Las condiciones peligrosas que pueden incrementar el riesgo del manejo de los materiales peligrosos recuperables y de los desechos peligrosos son las siguientes:
 1. “Estado físico, composición, contenedor y características peligrosas del material que permitan inferir el alcance de los daños, si tiene lugar una explosión, derrame, fuga o emisión de gases, humos y vapores.

 2. Cantidades acumuladas, forma de almacenamiento, envasado y características o condiciones del sitio donde se encuentran, en cantidades iguales o superiores a los valores críticos indicados...”

 5. “Si se trata de líquidos, persistencia del contaminante en medio acuático o terrestre, solubilidad, efectos conocidos sobre la biota y acumulación en la cadena trófica, efecto sobre suelos de cultivo, fuentes de agua superficiales y subterráneas, mecanismos de remoción existentes, eficiencia y limitantes”

- **Artículo 8:** Los materiales peligrosos recuperables y los desechos peligrosos presentan diferentes niveles de riesgo, atendiendo a sus características y condiciones peligrosas. Los niveles de riesgo se presentan en cinco (5) clases de peligrosidad creciente, las cuales deben ser identificadas y evaluadas para definir las medidas de seguridad. Ver anexo B (punto 2.2)

- **Artículo 9:** La recuperación de los materiales peligrosos tendrá como objetivo fundamental la reutilización, el reciclaje, la regeneración o el aprovechamiento de dichos materiales a escala industrial o comercial, con el propósito de alargar su vida útil, minimizar la generación y destrucción de desechos peligrosos y propiciar las actividades económicas que empleen estos procesos o se surtan de estos materiales.
- **Artículo 10:** “Las operaciones de recuperación de materiales peligrosos que conducen a la regeneración, reutilización, reciclado o cualquier otra utilización de los mismos son: empleo como materia prima para otros procesos;... reciclaje y aprovechamiento de metales o compuestos metálicos; regeneración, reutilización y reciclaje de sustancias y materias inorgánicas;... utilización de los materiales obtenidos por cualquiera de las operaciones anteriores, tratamiento biológicos o físico-químicos aplicados como acondicionamiento previo a las operaciones anteriores...”
- **Artículo 11:** La recuperación de los materiales peligrosos, sólo podrá llevarse a cabo, si el producto resultante reúne las condiciones sanitarias, de seguridad y de calidad, exigidos por los usuarios directos o por las normas de fabricación existentes, el proceso se realiza en concordancia con las regulaciones ambientales...”
- **Artículo 14:** Todo material peligroso que no pueda ser objeto de recuperación se considera un desecho peligroso y su manejo estará sujeto a las condiciones establecidas para desechos peligrosos.

Resolución 40 ^[16]: Tiene el propósito de dictar los requisitos para el registro y autorización de manejadores de sustancias, materiales y desechos peligrosos, y establecer de este modo, medidas de control para garantizar que las actividades de manejo de sustancias, materiales y desechos peligrosos se realicen asegurando la protección de la salud, el ambiente, la seguridad y la propiedad de terceros.

Sobre la calidad de las aguas:

Decreto 883 ^[17]: En éste se dictan las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. En la Sección III de este decreto, se establecen los rangos y límites máximos de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados en forma directa o indirecta a ríos, estuarios, lagos y embalses. Ver anexo C

2.1.7.-Normas Técnicas COVENIN ^[18]:

La Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), es un organismo cuya misión es planificar, coordinar y llevar adelante las actividades de Normalización y Certificación de Calidad en el país.

Las Normas Venezolanas COVENIN son el resultado de un laborioso proceso que incluye la consulta y estudio de las Normas Internacionales, Nacionales, de asociaciones o empresas relacionadas con la materia, así como investigación a nivel de plantas y/o laboratorios según el caso. Para este trabajo se pueden resaltar tres normas:

- Normas venezolanas **COVENIN 2670-2007** ^[19]. “Materiales Peligrosos”. Guía de respuesta de emergencias con accidentes e incidentes.
- Normas venezolanas **COVENIN. 3060-93** ^[20]. “Materiales Peligrosos, Clasificación, Símbolos y Dimensiones de Señales de Identificación.
- Normas Venezolanas **COVENIN 3061-93** ^[21]. “Materiales Peligrosos”. Guía para el entrenamiento de personas que manejan, almacenan y/o transportan materiales peligrosos.

2.2.-Gestión de Residuos ^[22]

La Gestión de Residuos comprende el conjunto de procedimientos que contribuyen a la reducción o a la eliminación de los residuos en su lugar de origen. Los objetivos de la administración o gestión de residuos son controlar, recolectar, procesar, utilizar y eliminar los residuos de la manera más económicamente congruente con la protección de la salud pública y los fines del servicio del sistema.

Técnicas de gestión de residuos

La gestión de los residuos abarca numerosas actividades que contribuyen a disminuir la generación y/o la toxicidad de los mismos. La escogencia de las alternativas requiere un conocimiento comprensivo del desecho, incluyendo características físicas y químicas, volumen y procedencia.

Existen en la literatura muchas clasificaciones de las técnicas de gestión de residuos, de la manera más general, éstas se describen como las técnicas de las tres erres:

- I. Reducción en el origen
- II. Reciclaje
- III. Reutilización

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (E.P.A.) recomienda la siguiente planificación para la gestión de residuos ^[23]:

- a) Clasificación de los residuos
- b) Reducción de la fuente
- c) Reciclaje o reutilización

- d) Tratamiento
- e) Disposición final o eliminación

a.- Clasificación de los residuos ^[24]:

En general, toda sustancia química es peligrosa y bajo condiciones específicas, incluso la más inocua puede ser mortal. Sin embargo, existe un gran número de sustancias que pueden ocasionar accidentes, lesiones o daños con gran facilidad y sin que se requiera de una condición extrema o fuera de lo normal. El Decreto 2.635 ^[15] en su Artículo 6 señala las características peligrosas de materiales recuperables y desechos. Ver anexo B (punto 2.1)

b.- Reducción de la fuente ^[25]:

Esta estrategia es ideal porque previene la generación de desechos peligrosos, implementa una amplia visión de conservación de recursos, es más económica, ambientalmente segura y legalmente permitida. La reducción o minimización de la fuente puede involucrar la modificación de un proceso. Algunas de tales modificaciones son de naturaleza química, cambios en las condiciones que permitan minimizar la formación de subproductos como sustancias peligrosas, reemplazo de catalizadores potencialmente peligrosos por unos menos nocivos o que puedan ser reciclados antes de descargarlos, minimización de residuos por reducción de volumen y desecación de lodos, entre otros.

c.- Reciclaje y reutilización de residuos ^[26]:

Si la reducción de la fuente no es factible, la segunda estrategia óptima es el reciclaje o reutilización de materiales. Dentro de los beneficios de esto, se incluyen la

reducción de los costos de disposición y transporte de desechos, así como los riesgos asociados a ellos.

d.- Tratamiento y disposición final de residuos ^[27]:

Entre las consideraciones que se deben tomar para el tratamiento de los residuos se encuentran el volumen o cantidad de los desechos y residuos generados, la facilidad con que el residuo pueda ser tratado por los diferentes métodos, ya sea destruyendo el residuo o recolectándolo de manera selectiva para su posterior almacenamiento, de igual manera es importante analizar si el residuo puede ser recuperado y reutilizado, el costo del tratamiento y el tiempo en que se realice éste, es esencial para tomar la decisión mas conveniente de trabajo.

De acuerdo a las características de los residuos y desechos, en términos de componentes presentes y el medio en que se encuentran, se pueden catalogar como:

- 1.- Residuos desechables al ambiente sin tratamiento.
- 2.- Residuos desechables al ambiente con tratamiento.
- 3.- Residuos y/o desechos tóxicos que tienen que ser almacenados
- 4.- Desechos en espera de disposición final.

d.1.- Descartar al residuo sin tratamiento:

Cuando el residuo no ejerce ningún daño al ambiente, se pueden descartar por la cañería de acuerdo a las normativas del MINAMB. Los límites de concentración permitidos para poder verter un residuo por el desagüe se encuentran en el anexo C.

d.2.- Descartar el residuo con un tratamiento:

El tratamiento puede caracterizarse como algún proceso físico, químico, biológico o térmico que destruye o neutraliza residuos peligrosos, reduciendo su volumen o haciendo el desecho manejable para su recuperación, almacenaje o transporte. El tratamiento específico utilizado depende del material de desecho y sus propiedades particulares

Esta estrategia puede ocurrir en tres niveles: el tratamiento primario es básicamente una preparación para un tratamiento futuro y puede proveer la remoción de subproductos y reducción de las cantidades y peligrosidad del residuo. El tratamiento secundario consiste en la destrucción y remoción de constituyentes peligrosos. El terciario se refiere usualmente al tratamiento de agua u otros productos los cuales son removidos del desecho para descargarlo de una forma más segura

d.2.1.- Procesos físicos para el tratamiento de residuos:

Los procedimientos físicos incluyen tecnologías que pueden ser aplicadas en el reciclado y tratamiento de residuos peligrosos como:

d.2.1.1.- Separación de fases

d.2.1.2.- Transición de fases

d.2.1.3.- Transferencia de fases

d.2.1.4.- Separación por membranas.

d.2.1.1.- Los métodos de separación de fases involucran la separación de componentes de una mezcla en dos fases diferentes. La **sedimentación** y la **decantación** se llevan a cabo con equipos sencillos y constituyen un ejemplo de esta

técnica. En muchos casos la separación puede ayudarse por medios mecánicos como **filtración y centrifugación**.

d.2.1.2.- En los métodos de transición de fases, el material cambia de una fase a otra. El mejor ejemplo de éstos es la **destilación**, que se emplea en el tratamiento y reciclaje de solventes, residuos de aceite, desechos de soluciones fenólicas acuosas, contaminación de xileno con parafina y mezclas de etilbenceno y estireno. La **evaporación** es empleada para remover agua de un residuo acuoso con el fin de concentrarlo. El **secado** consiste en la remoción de un solvente de un sólido o de un líquido en suspensión. La **precipitación física** describe el proceso en el cual un sólido se forma de un soluto en solución como resultado de un cambio físico en la solución. La **remoción por aire o vapor** son técnicas también utilizadas en las que ocurre una transferencia de masa que aumenta la volatilidad de los componentes del agua subterránea o residual, mediante el paso de aire o de vapor, mejorándose así la transferencia entre las dos fases, aire y agua.

d.2.1.3.- Los métodos de transferencia de fases consisten en la transferencia de un soluto en una mezcla, de una fase a otra. Un tipo importante de procesos para esta categoría es la **extracción con solvente**, en el que una sustancia es transferida de una solución de un solvente a otro sin que tenga lugar algún cambio químico. La mayor aplicación de esta técnica en tratamiento de residuos es la remoción de fenol del agua de desecho de la industria de petróleo y el carbón. El empleo de **fluidos supercríticos**, como CO₂, es efectivo para la remoción de contaminantes orgánicos de aguas de desechos, extracción de pesticidas organohalogenados de suelos y regeneración de carbón activado gastado. La **adsorción por carbón** es un proceso mediante el cual un contaminante soluble es eliminado del agua por contacto con una superficie sólida de gran área superficial interna.

d.2.1.4.- Por último, la **separación molecular** es basada frecuentemente en procesos de membrana, en los cuales los contaminantes disueltos o solventes pasan a través de una membrana selectiva bajo presión.

d.2.2.- Procesos químicos para el tratamiento de residuos:

Este tipo de tratamiento está basado en las propiedades químicas de los residuos. Entre los procesos más empleados se encuentran:

d.2.2.1.- Neutralización

d.2.2.2.- Extracción química

d.2.2.3.- Hidrólisis

d.2.2.4.- Precipitación química

d.2.2.5.- Oxidación/ reducción

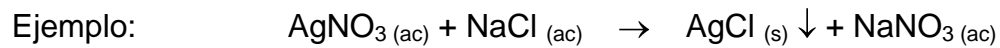
d.2.2.6.- Intercambio iónico

d.2.2.1.- La **neutralización** de los desechos ácidos y básicos es el método más frecuentemente usado para convertir el ácido o base generados como residuo, en desechos neutros (sales de ácido y bases), que fácilmente pueden ser descargados por los desagües, sin que estos sean fuentes de contaminación que perturben el ecosistema. Sin embargo este método suele presentar problemas, uno de estos es: la evolución de contaminantes volátiles, corrosión y calor excesivo.

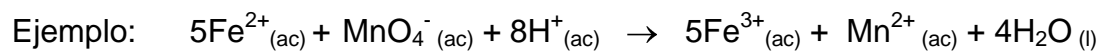
Ejemplo:
$$R-H + X-OH \rightarrow H_2O + RX$$
 Ecuación 1

d.2.2.2.- La **precipitación química** son aquellas reacciones donde uno o más reactivos al combinarse generan un producto insoluble en ese medio. Esta técnica se emplea principalmente para la remoción de metales pesados del agua. La desventaja

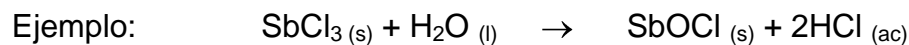
es la posible coprecipitación de impurezas, por sustancias que deberían permanecer disueltas, esto puede ser por adsorción superficial o por la incorporación de iones extraños a la misma red cristalina del precipitado.



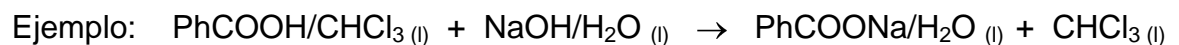
d.2.2.3.- La **oxidación/ reducción** implica transferencia de electrones, es decir, que una de las especies química involucrada debe ceder electrones y la otra debe captar o aceptar esos electrones.



d.2.2.4.- La **hidrólisis** es una reacción química del agua con una sustancia. Numerosas sales al ser disueltas en agua, sus iones constituyentes se combinan con los iones hidronios H_3O^+ o bien con los iones hidroxilo, OH^- , o ambos. Dichos iones proceden de la disociación del agua. Esto produce un desplazamiento del equilibrio de disociación del agua y como consecuencia se modifica el valor del pH.

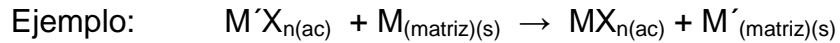


d.2.2.5.- La **extracción química** es el proceso de remoción del compuesto considerado como peligroso, por reacción química con un solvente, de acuerdo a la solubilidad de los componentes.



d.2.2.6.- El **intercambio iónico** es la remoción de cationes y aniones en solución a través de una resina sólida, que puede ser regenerada por tratamiento con ácidos,

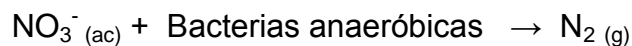
bases o sales. Se emplea principalmente en la remoción de metales pesados en baja concentración de aguas de desecho.



d.2.3.- Procesos biológicos para el tratamiento de residuos.

Es la degradación del residuo orgánico por la acción de los microorganismos. La degradación altera la estructura molecular de los compuestos orgánicos y el grado de alteración determina si se ha producido biotransformación o mineralización. El término biotransformación se refiere a la descomposición de un compuesto orgánico en otro similar. En la mineralización se produce la descomposición total de las moléculas orgánicas en dióxido de carbono, agua, residuos inorgánicos inertes y se incorpora el resto a las estructuras de los microorganismos. Se puede realizar el tratamiento biológico de casi todos los residuos orgánicos peligrosos si se establecen, mantienen y controlan las poblaciones microbianas apropiadas.

Ejemplo: Denitrificación de la fracción líquida de aguas residuales. Tratamiento anaeróbico con bacterias donde se produce el paso de nitratos a Nitrógeno gas:



d.2.4.- Procesos térmicos para el tratamiento de residuos.

La incineración es un proceso tecnológico que implica la quema o combustión para degradar térmicamente materiales residuales. Las incineradoras deben cumplir las regulaciones de calidad de aire. Este proceso se utiliza especialmente para los residuos orgánicos. Los residuos se reducen mediante oxidación y normalmente sostendrán el proceso de combustión sin emplear combustible adicional. En la incineración se

destruye la fracción orgánica de los residuos que es convertida en dióxido de carbono y agua. Sin embargo, este proceso puede producir grandes problemas de contaminación atmosférica, dependiendo tanto de las condiciones de operación como de la propia constitución de la materia combustible presente en el residuo. A estos contaminantes gaseosos cabe agregar la presencia de materia particulada, tanto de naturaleza inorgánica como de constitución carbonosa, que se conoce como “cenizas volantes”.

Ejemplo: Los desechos hospitalarios son tratados en hornos incineradores

d.2.5.- Procesos fotolíticos para el tratamiento de residuos^[28]:

La fotólisis puede utilizarse para destruir un gran número de residuos peligrosos. En los procesos fotolíticos, muchos enlaces C-H y C-O son rotos y el producto final es un compuesto orgánico menos peligroso.

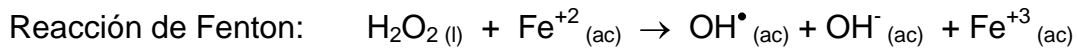
Esta técnica se emplea hoy en día en gran extensión. Debido a la amplia variedad de compuestos que pueden tratarse por esta vía. Un ejemplo de esta técnica son las tecnologías de oxidación avanzada que involucran procesos fotoquímicos.

Entre los procesos fotoquímicos se encuentran:

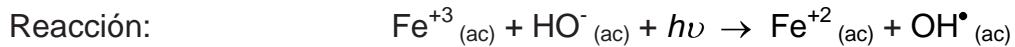
- Fotólisis directa
- Procesos sensibilizados por colorantes
- Radiación UV/ (H_2O_2 / O_3)
- Foto-Fenton (Fe^{+2} / H_2O_2 + Luz UV) y relacionadas
- Fotocatálisis heterogénea (TiO_2 como catalizador)

Dentro de estas técnicas, las más importantes por su alta eficacia las constituyen la reacción de Foto-Fenton y la Fotocatálisis heterogénea con TiO_2 :

d.2.5.1.- La reacción de Foto-Fenton: el peróxido de hidrógeno es considerado un oxidante relativamente débil, bajo ciertas condiciones; sin embargo, puede resultar un oxidante fuerte cuando es activado con algún otro compuesto. Existen muchos compuestos que pueden emplearse como activadores, pero el reactivo de Fenton es el más utilizado, donde la especie activadora es el ión Fe^{+2} .

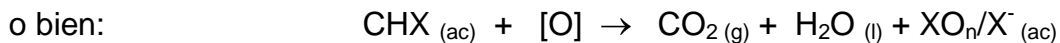
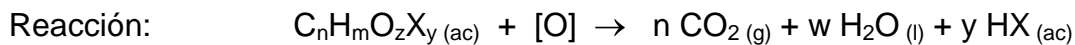


Un modo de mejorar el proceso es conseguir la reducción del Fe (III) a Fe (II), lo cual se logra irradiando la disolución con Luz UV o Luz solar.



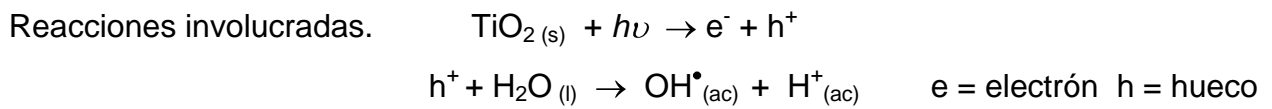
El Fe (III) frecuentemente juega un rol importante en la oxidación de radicales orgánicos intermediarios producidos por el paso del radical hidroxilo (OH^\bullet) a otros productos.

En el caso de compuestos halogenados y complejos derivados de alcanos, ácidos carboxílicos y sustancias aromáticas, la estequiometría general de mineralización es la siguiente:



donde: $\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_z\text{X}_y$ ó CHX = sustrato orgánico; $[\text{O}]$ = agente oxidante; HX = ácidos minerales; $\text{XO}_n = \text{NO}_3^-$, PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , etc.; $\text{X} = \text{N}, \text{Cl}, \text{I}, \text{Br}, \text{S}$ y/o P ; $\text{X}^- = \text{Cl}^-$.

d.2.5.2.- La fotocatalisis heterogénea con TiO_2 ^[29]: se basa en la absorción directa o indirecta de energía radiante (visible o UV) por un sensibilizador como el TiO_2 . El fotocatalizador es capaz de absorber la energía solar emitida, capturando fotones y alcanzado estados electrónicos excitados. Cuando estos estados electrónicos excitados se desactivan, se genera una especie agresiva que será la encargada de atacar la materia orgánica o sustrato, iniciando su degradación oxidativa.



En general, los procesos fotoquímicos de oxidación avanzada se caracterizan por ser una fuente de radicales hidroxilo (OH^*). La velocidad de oxidación se ve muy incrementada por la participación de este radical, el cual ataca virtualmente a todos los compuestos orgánicos, metales pesados, aguas contaminadas con cianuro, plaguicidas, etc., por poseer el segundo potencial estándar de reducción más alto entre los oxidantes comunes. Ver anexo D.

d.3.- Residuos y/o desechos tóxicos que tienen que ser almacenados:

Representan aquellos residuos tóxicos que no puedan ser descartados por las cañerías con ningún tratamiento, también residuos tóxicos que no pueden ser tratados o que siguen siendo tóxicos aún con tratamiento y residuos tóxicos que con un tratamiento dejan de ser tóxicos pero que no son reusables. Estos deben ser recolectados selectivamente y acumulados en cantidad controlada o almacenados temporalmente dentro del laboratorio de trabajo (90 días máximo) en la misma habitación en la que el residuo fue generado, teniendo en cuenta las incompatibilidades de los mismos, para que posteriormente sean removidos del laboratorio por el personal debidamente capacitado, quién lo dispondrá en un área de almacenamiento apropiada.

d.4.- Disposición final de desechos:

La disposición final describe el proceso de colocación del material de desechos en un sitio inactivo “final”, el cual nunca debe ser alterado nuevamente. La inmovilización, estabilización, fijación y solidificación son términos que describen técnicas con las cuales los residuos son colocados en forma adecuada para su disposición final. Todas las condiciones deben ser monitoreadas para asegurar que no ocurran derrames, si esto ocurre deben tomarse acciones correctivas para prevenir daños ambientales.

2.3.- Especies químicas del Manganeso ^{[30], [31] y [32]}:

El elemento Manganeso, de símbolo químico Mn, número atómico 25 y peso atómico 54.938. Es uno de los metales de transición del cuarto período de la tabla periódica; se encuentra entre el Cromo y el Hierro. Tiene propiedades en común con ambos metales. Aunque poco conocido o usado en su forma pura, reviste gran importancia práctica en la fabricación de acero.

El Manganeso se oxida con facilidad en el aire para formar una capa castaña de óxido. También lo hace a temperaturas elevadas. Su comportamiento es más parecido a su vecino de mayor número atómico en la tabla periódica (el Hierro), que al de menor número atómico, el Cromo.

El Manganeso es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente. Cuando se calienta en presencia de aire u oxígeno, el manganeso en polvo forma un óxido rojo, Mn_3O_4 . Con agua a temperatura ambiente se forman hidrógeno e hidróxido de Manganeso (II), $Mn(OH)_2$. En el caso de ácidos, y a causa de que el Manganeso es un metal reactivo, se libera hidrógeno y se forma una sal de

Manganeso (II). El Manganeso reacciona a temperaturas elevadas con los halógenos, azufre, nitrógeno, carbono, silicio, fósforo y boro.

Es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre, por detrás del Hierro, y está ampliamente distribuido. Se encuentra en cientos de minerales, aunque sólo una docena tiene interés industrial. Destacan: pirolusita (MnO_2), psilomelana ($\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), manganita ($\text{MnO}(\text{OH})$), braunita ($3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$), rodonita (MnSiO_3), rodocrosita (MnCO_3), etc.

En sus muchos compuestos, presenta estados de oxidación de 1+ hasta de 7+. Los estados de oxidación más comunes son 2+, 4+ y 7+. Todos los compuestos, excepto los que contienen Mn (II), son intensamente coloridos. Por ejemplo, el Permanganato de Potasio, KMnO_4 , produce soluciones acuosas que son de color rojo púrpura; el Manganato de Potasio, K_2MnO_4 , produce soluciones de color verde intenso.

Tabla 1. Colores que presenta el ión de Manganeso en solución según su estado de oxidación.

Estado de Oxidación	Color del Ión en Solución
+2	Rosa
+3	Rojo
+4	Marrón
+5	Azul
+6	Verde
+7	Violeta

2.3.1.- Óxidos de Manganeso.

El elemento Manganeso da lugar a un complejo sistema de óxidos. Siendo los de estequiometría habitual. MnO , Mn_3O_4 , Mn_2O_3 y MnO_2 . Estos óxidos son diversamente estructurados y cada uno de ellos pueden existir en diferentes formas alotrópicas, además, ellos pueden presentar grados diferentes de no estequiometría con estados de oxidación que van desde II a IV ^[33]

Entre estos óxidos el MnO_2 probablemente es el que exhibe el más amplio número de estructuras polimorfas. Más de 20 fases predominantes de Mn (IV) han sido reconocidas como especies minerales, entre ellas se encuentran:

1. **Pirolusita ó β - MnO_2 :** es el polimorfo más estable y tiene estructura de rutilo ^[34]. Cada átomo de Mn está rodeado de seis átomos de oxígeno (disposición octaédrica) y cada átomo de oxígeno se rodea de tres átomos de Mn (disposición trigonal), de forma que la estructura de tipo rutilo presenta coordinación de 6:3. Esta estructura es la adoptada, entre otros, por el óxido de Sn(IV) o casiderita, el TiO_2 y el WO_2 y por los fluoruros del tipo MgF_2 y NiF_2 ^[35]

Figura 2. Estructura del Rutilo ^[35]

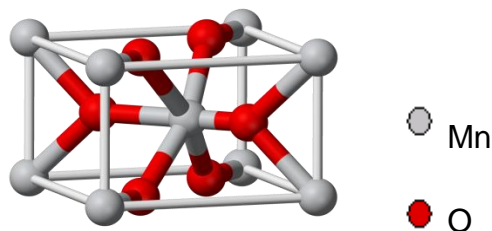
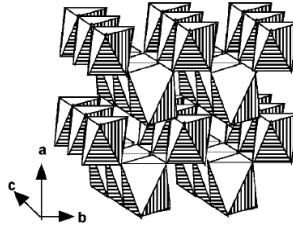
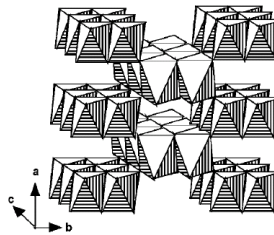


Figura 3. Representación de la Pirolusita ^[36]



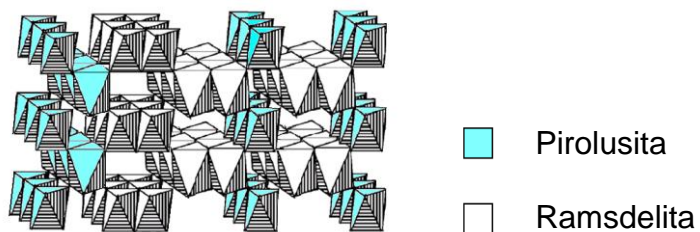
2. **Ramsdelita ó R-MnO₂**: esta estrechamente relacionada al rutilo excepto por el hecho de que la doble cadena sustituye a la cadena simple del borde compartido del octaedro ^[37]

Figura 4. Representación de la Ramsdelita ^[36]



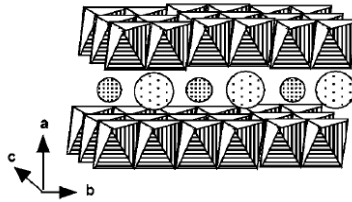
3. **La Nsutita o γ-MnO₂**: tiene una estructura altamente desordenada y puede ser descrita como una interrelación irregular de capas de Pirolusita dentro de una matriz de Ramsdelita ^[38]

Figura 5. Representación de la Nsutita ^[39]



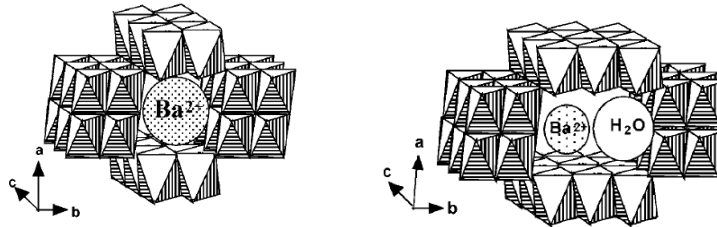
4. **Birnesitas:** Las capas de MnO_6 octaédrico tienen una vacante en uno de cada seis sitios del octaedro. Éstos están separados por capas de cationes de baja valencia y por capas de agua e iones hidróxido

Figura 6. Representación de la Birnesita ^[36]



Existen otras especies minerales de interés como la **Holandita**, **Romanechita**, **Todorokita** y **Hausmanita**.

Figura 7. Representación de la Holandita (izquierda) y la Romanechita (derecha) ^[36]



Estos materiales encuentran aplicación cada vez mayor en los campos de catálisis y electroquímica, empleados como catalizadores, agentes oxidantes, materiales absorbentes y electrodos.

Polimorfos de MnO_2 , MnO_3 y Mn_3O_4 han sido propuestos como ^[33]:

- i. Catalizadores baratos y amigables con el medio ambiente para la combustión de Compuestos Orgánicos Volátiles o VOCs por sus siglas en inglés y para los compuestos que contiene Nitrógeno N-VOCs.

- ii. Para la oxidación total de metano y monóxido de carbono
- iii. Para la reducción selectiva de nitrobenzeno.
- iv. Además, el Dióxido de Manganeso MnO_2 tiene especial importancia en la síntesis de compuestos carbonílicos α - β insaturados por la oxidación parcial de alcoholes alílicos,
- v. En la oxidación de anilina a hidroquinona
- vi. Es considerado un componente atractivo para cátodos reversibles en baterías.
- vii. Como material de partida para la producción de ferritas y colorantes
- viii. Como agentes inhibidores de corrosión de pinturas.

Sin embargo, el desempeño de los óxidos de manganeso para estas aplicaciones es críticamente controlado por la composición de la fase mayoritaria y por las propiedades de textura, las cuales dependen ampliamente del método de preparación así como del compuesto precursor y el pre-tratamiento térmico.

2.4.-Efectos del Manganeso sobre la salud y el ambiente ^[40]:

2.4.1.-Efectos sobre la salud:

El Manganeso es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, sino que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones. Cuando no se

cumple con la ración diaria recomendada o cuando la toma es demasiado alta, la salud se verá afectada.

Los efectos del Manganese mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con Manganese son alucinaciones, olvidos y daños en el sistema nervioso. El Manganese puede causar Mal de Parkinson, embolia pulmonar y bronquitis.

Un síndrome ocasionado por elevadas concentraciones de Manganese en el organismo tiene los siguientes síntomas: Esquizofrenia, Depresión, Debilidad de músculos, Dolor de cabeza e Insomnio.

La falta de este metal en el organismo también puede producir los siguientes efectos: Intolerancia a la glucosa, Coágulos de sangre, Obesidad, Problemas de la piel, Bajos niveles de colesterol, Desorden del esqueleto, Defectos de nacimiento, Cambios en el color del pelo y Síntomas neurológicos

2.4.2.-Efectos ambientales del Manganese:

Los compuestos del Manganese existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Las partículas de Manganese en el aire están presentes en las partículas de polvo. Estas usualmente se depositan en la tierra en unos pocos días.

Para los animales el Manganese es un componente esencial sobre unas 36 enzimas que son usadas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas. Su ingesta baja interfiere en el crecimiento normal, la formación de huesos y en la reproducción. A pequeñas dosis por encima de la dosis esencial tienen pocas

posibilidades de supervivencia. El Manganeseo puede causar problemas en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales. Finalmente, las pruebas de laboratorio con animales han mostrado que cuando el Manganeseo es tomado a través de la piel este puede causar temblores y fallos en la coordinación. Diversos envenenamientos pueden incluso ser capaces de causar el desarrollo de tumores en animales.

En plantas los iones del Manganeseo son transportados hacia las hojas después de ser tomados del suelo. Cuando muy poco Manganeseo puede ser absorbido ocasiona interferencias en los mecanismos de las plantas. Por ejemplo; en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, en lo cual el Manganeseo juega un papel importante. Concentraciones altamente tóxicas de Manganeseo en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento y puntos marrones en las hojas. Cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de Manganeseo son más comunes y pueden también causar estos efectos.

Los humanos aumentan las concentraciones de Manganeseo en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. Al emplearlo en pesticidas llega al suelo, también llega a las aguas subterráneas y aguas residuales, lo que trae varias consecuencias como: corrosión y obstrucción de las tuberías (directamente por precipitación y formación de depósitos, o indirectamente favoreciendo el desarrollo de bacterias específicas); aspecto y sabor del agua indeseable (color marrón y sabor metálico); inconvenientes en el lavado de la ropa y otras características indeseables en numerosas aguas de fabricación, en especial en industrias lecheras, papeleras o textiles.

En las aguas de superficie el Manganeseo se encuentra generalmente en estado oxidado y precipitado, por lo que se elimina por tratamientos clásicos de clarificación.

En aguas profundas desprovistas de oxígeno, se presenta en forma reducida (Mn^{+2}) y disuelta, en cuyo caso deben de someterse a los tratamientos específicos que se examinan seguidamente.

2.5.-Alternativas de Tratamiento de los Residuos de Manganeso.

Para el tratamiento de estos residuos existen diversas tecnologías específicas para la remoción de Manganeso como lo son ^[41]:

- Oxidación y filtración
- Tratamientos Biológicos
- Filtración a través de medios especiales como la arena verde
- Intercambio iónico
- Adsorción en Carbón Activado.

De todos ellos solo se considerará el primer punto, que involucra reacciones tipo óxido-reducción, ya que permite tratar residuos con distintos estados de oxidación del Manganeso y puede ser llevada a cabo por procesos químicos y fotolíticos sencillos, explicados anteriormente. También, entre los procesos químicos para tratamiento de residuos se encuentra la precipitación química que permite extraer al contaminante Manganeso como una sal insoluble en el medio.

A continuación se ofrecen tres listados de agentes reductores, oxidantes y precipitantes en relación a las especies de manganeso:

Listado de posibles agentes reductores ^[42]:

- **Reductor Jones** consiste en gránulos de Zinc amalgamado (aleado con Mercurio) para minimizar la reducción del ión hidrógeno de la disolución sulfúrica de la muestra.
- **Reductor Walden** consiste de Plata metálica y Ácido Clorhídrico 1 M.
- **Dióxido de Azufre** es un reductor de fuerza media, utilizándose en reducciones similares a las que se efectúan con Plata.
- **Sulfuro de Hidrógeno** es comparable al Dióxido de Azufre en poder reductor y en la forma de eliminar su exceso.
- **Hiposulfito Sódico $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$** , es un reductor poderoso especialmente en disolución alcalina.
- **Ácido Clorhídrico (concentrado)** se utiliza como reductor principalmente para la disolución de óxidos de plomo y manganeso.
- **Oxalato de Sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)** es el agente reductor común para reducir la especie Permanganato a Manganeso (II) en medio ácido, pero hay que calentar para acelerar el proceso.
- **Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2)** es un agente de carácter dual, puede ser empleado como un buen oxidante o como un reductor débil, frente a un oxidante fuerte como Permanganato actúa eficaz y rápidamente.

Listado de posibles agentes oxidantes:

- **Peroxidisulfato de Potasio $K_2S_2O_8$:** agente de gran poder oxidante, puede ser catalizada con ión Plata, el mismo es capaz de convertir todos los iones de Mn(II) en iones de Manganeso (VII), es decir, en iones Permanganato MnO_4^- .
- **Peroxidisulfato de Amonio $(NH_4)_2S_2O_8$,** es uno de los oxidantes más fuertes, su acción lenta puede ser catalizada con ión Plata. Se utiliza para la oxidación de Manganeso (II) a Permanganato y para la oxidación del Carbono en muestras de aceros.
- **Peryodato Potásico, KIO_4 ,** utilizado en la oxidación de Manganeso (II) a Permanganato.
- **Permanganato de Potasio, $KMnO_4$,** puede ser empleado para oxidar Mn(II) a Mn(IV) en medio básico
- **Bismutato Sódico, $NaBiO_3$,** utilizado en oxidación de Manganeso (II) a Permanganato.
- **Clorato Potásico, $KClO_3$,** en disolución ácida o en fusiones alcalinas es un oxidante poderoso.
- **Óxido de Plata (II), Ag_2O_2 ,** en disolución ácida es adecuado para oxidar el Manganeso (II) a Permanganato, el Cromo (III) a Dicromato y el Cerio (III) a Cerio (IV) a la temperatura ambiente.
- **Ozono, O_3 ,** puede prepararse haciendo circular, oxígeno gaseoso por un tubo de vidrio entre cuyas paredes se mantiene una descarga eléctrica. Es un potente oxidante y puede llevar al Mn(II) a MnO_2 y MnO_4^- .

- **Dióxido de Cloro, ClO_2** , es un buen oxidante y al burbujearlo por una solución de Mn(II) lo lleva MnO_2 el cual precipita.
- **Dióxido de Plomo, PbO_2** puede oxidar al Mn(II) a Permanganato.
- **Peróxido de Hidrógeno H_2O_2** es un buen oxidante para las especies de Manganeso en medio básico

Listado de agentes precipitantes para el Mn(II):

- **El Sulfuro de Amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$** , al entrar en contacto con la solución de Mn(II) precipita como Sulfuro de Manganeso.
- **Fosfato de Amonio NaHPO_4** junto con la especie Mn(II) forma Fosfato de Manganeso $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$ que es insoluble en medio acuoso y en presencia de sales de amonio o amoníaco precipita $\text{Mn}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- **Solución de Hidróxido de Amonio, NH_4OH** , en esta reacción se obtiene Hidróxido de Manganeso que precipita como un sólido blanco.
- **Solución de Hidróxido de Sodio, NaOH** , al igual que en la anterior se obtiene el precipitado Hidróxido de Manganeso.

2.6.-Antecedentes.

2.6.1.-Trabajos realizados en Gestión de Residuos:

Existen numerosas y muy importantes experiencias con respecto a la gestión de residuos en las distintas universidades del mundo, las cuales incluyen la recuperación de materiales peligrosos generados en los procesos químicos de las instituciones universitarias. Las más relevantes a considerar son:

- **Universidad de Sevilla (1993)** ^[43]. Desarrolló un programa para la gestión de residuos y desechos peligrosos, administrado por la Unidad de Medio Ambiente, cuya función principal ha sido la de mejorar los recursos de su infraestructura y realizar guías técnicas que permitan la clasificación, segregación y tratamiento de los residuos que se generan en la institución.
- **Universidad de Valencia (1996)** ^[44]. Desde 1996 se lleva a cabo una gestión organizada de los residuos de la Universidad, que se inicia con la puesta en marcha del Programa de Minimización de Residuos donde se estableció un protocolo de actuación para los residuos. En el Campus de Burjassot, donde se encuentran ubicadas las Facultades de Ciencias Experimentales, hay un almacén de residuos donde se clasifican, etiquetan y almacenan hasta su retirada por un gestor autorizado.
- **Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2001)** ^[45]. Ha desarrollado proyectos referentes a “tratamiento de residuos peligrosos de laboratorio”. A fin de desarrollar una metodología de tratamiento para los residuos, utilizando técnicas científicas que puedan ser enseñadas a los estudiantes para que las mismas sean aplicadas al momento de generación de residuos.

- **Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) (2004)** ^[46]: Desarrollaron e implementaron un programa de manejo de desechos en los laboratorios de docencia e investigación del ITCR. Las actividades que se desarrollan en él son: la capacitación para llevar a cabo el sistema de gestión, cuantificación y caracterización de los desechos; ejecución de tres métodos efectivos para los tres desechos que se generan en gran cantidad de masa o volumen; poseen un sistema de inventarios estandarizados que ha sido instalado en nueve laboratorios de la Sede de Cartago; elaboraron una “Guía de manejo de los desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR”, que sirve de documento base para los funcionarios de los laboratorios.
- **Universidad Central de Venezuela**

Taboada, Soraya y Araujo, Nelson (2000) ^[47]. Evaluaron en el año 2000, las condiciones de seguridad de trabajo para los estudiantes y trabajadores, de acuerdo a la generación y acumulación de materiales peligrosos en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. Aproximadamente veinticinco toneladas de desechos peligrosos con más de ochocientos materiales en diferentes grados de peligrosidad, fueron hallados en las áreas de trabajo y adyacencias de la Facultad. Se realizó una propuesta de recuperación de algunos de los materiales y el retiro de los desechos, de manera de cumplir con las normativas vigentes.

Materan, Rinsky (2002) ^[48]. Evaluó el posible tratamiento y contención de residuos y desechos, almacenados en dos locales que se utilizaban como depósitos de reactivos y materiales peligrosos en la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela; también evaluó los posibles riesgos que acarrearían dichas sustancias para el ambiente y las personas que trabajaban en las cercanías del lugar y realizó un diseño para la disposición temporal de dichas sustancias.

Gainza, Andrea; Morocoima, Dubravka y Méndez, María T. (2007) ^[49,50 y 51]. Realizaron un Primer Avance de Propuesta de Gestión de Riesgos y Manejo de Materiales Peligrosos en tres de los Laboratorios Docente de la Facultad de Ciencias en donde se realizaron los diagramas ecológicos e inventario de los residuos generados en cada práctica y una propuesta de almacenamiento temporal para los mismos.

Solano, María (2008) ^[52]. Realizó un Estudio de Gestión de Riesgo del Laboratorio I de Inorgánica de la Facultad de Ciencias en donde se estableció un modelo de gestión de riesgo aplicable a cualquier laboratorio de química y creó un programa llamado Base de Datos de Química (BDQ) donde se recopilan las Hojas de Seguridad de los reactivos y residuos de los Laboratorios I y II de Química Inorgánica y de Principios de Química

- **Universidad Simón Bolívar:**

Ojeda, Enrique (2004) ^[53]. Elaboró un Plan de Gestión de los Residuos generados en la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología donde caracterizó los residuos generados, evaluó el estado actual del manejo de residuos y los clasificó en base a cantidad, peligrosidad y factibilidad de comercialización.

Rojas, Juan (2004) ^[54]. Realizó un estudio de reducción de riesgo, en el manejo de sales inorgánicas en un laboratorio toxicológico, donde propone un plan de gestión de dichos desechos de manera que estos no sean fuente contaminante para el ecosistema. De igual forma realizó un proyecto corto referente a Evaluación de riesgos toxicológicos involucrados en el manejo y almacenamiento de soluciones de diversos metales del Laboratorio de Toxicología e Higiene Industrial de la UCV.

- **Universidad de Carabobo:**

Albujar, Joselin (2002) ^[28]. Diseñó la metodología para el tratamiento y la minimización de cuatro de los desechos mayoritarios de naturaleza orgánica e inorgánica provenientes de los Laboratorios de Fisicoquímica y Orgánica; empleó en estos tratamientos procesos químicos y biológicos.

Armas, Ana (2004) ^[55]. Estableció una gestión de los desechos químicos provenientes de tres de las prácticas del Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, lo que le permitió recuperar y disminuir las concentraciones hasta los niveles permitidos de descarga.

Soares, María (2004) ^[56]. Evaluó las prácticas y la generación de desechos y residuos del laboratorio de química orgánica de la Universidad de Carabobo, con el fin de cambiar algunos de los experimentos por otros, que impliquen menor generación de desechos y residuos y facilidad de tratamiento de los mismos. Además realizó diagramas ecológicos para el estudio los residuos generados en cada práctica.

2.6.2.-Trabajos Específicos de Remoción de Manganeso:

- **Universidad de San Carlos de Guatemala**

Solórzano, Flor (2002) ^[57]. Logró la remoción del 92% de Manganeso encontrado en agua de pozo que había provocado incrustaciones en las tuberías de conducción de la planta potabilizadora Santa Luisa de la Ciudad de Guatemala; para ello, determinó los parámetros óptimos de coagulación y de filtración rápida con arena sílice y arena verde (Cullorb manganeso greensand media) en donde tuvo que

regenerar ésta última con Permanganato de Potasio para potenciar sus funciones oxidativas y de intercambiador iónico, además de servir como trampa de partículas.

- **Universidad de Catania, Italia**

Roccaro, P., Barone, C. y Mancini, G. (2006) ^[58]. Removieron el 95% de Manganeseo encontrado en concentraciones muy por encima del límite permitido por las regulaciones europeas en suministros de agua para el consumo humano, empleando el proceso de oxidación con Permanganato de Potasio y la seguida floculación, sedimentación y filtración. Estudiaron este proceso a diferentes valores de pH, cantidad de oxidante y de floculante, por último, filtraron a diferentes tamaños de poros.

- **Universidad Federal do Rio Grande do Sul**

Cadorin, Luciana; Tabosa, Érico; Paiva, Meise y Rubio, Jorge (2006) ^[59]. Trataron efluentes mineros ácidos donde la eliminación de Manganeseo se llevó a cabo por precipitación, adicionando cal y sales de aluminio a pH 12. Los sólidos producidos fueron separados por flotación por aire disuelto lo que presentó ventajas significativas sobre la sedimentación, en términos de calidad del agua tratada y una mayor cinética. Además, los sólidos separados pudieron ser reciclados nuevamente como reactivos “coagulantes” o en la forma de etringita para uso en la industria del cemento.

2.6.3.-Trabajos sobre el Dióxido de Manganeseo:

Jooho Moon y col. ^[60] estudiaron la influencia del peróxido de hidrogeno como oxidante sobre las características de las partículas de los óxidos de manganeseo,

concluyendo que la presencia del H_2O_2 y su secuencia de adición tiene influencia en la estructura del cristal, tamaño de partícula, morfología y área de superficie

J. Boyero Macstre y col. ^[33] investigaron el rol de varios parámetros como pH, compuesto de origen, agente precipitante y temperatura de calcinación sobre la síntesis por precipitación de óxidos de manganeso, concluyendo que las características estructurales y morfológicas del óxido dependen principalmente de la naturaleza del compuesto de origen y del pH al cual la precipitación toma lugar.

Luciano Lamaita y col. ^[61 y 62] estudiaron la actividad catalítica de $\gamma\text{-MnO}_2$ en la oxidación completa Compuestos Volátiles Orgánicos (VOC's) tomando como modelo al etanol y estudiaron teóricamente el proceso de absorción-oxidación sobre diferentes sitios de este óxido, como se observa en las figuras inferiores; concluyendo que éste mostró mayor actividad que Mn_2O_3 y $\beta\text{-MnO}_2$ los cuales tienen buena estructura cristalina y son óxidos estequiométricos, estos resultados se lo atribuyeron a la pobre cristalinidad, a la presencia de la dupla Mn^{+3} - Mn^{+4} y la existencia de vacantes Mn^{+4} . Los sólidos fueron caracterizados por Rayos X, Infrarrojo y Análisis termogravimétrico.

Figura 8. Estructura geométrica de la Nsutite ($\gamma\text{-MnO}_2$)

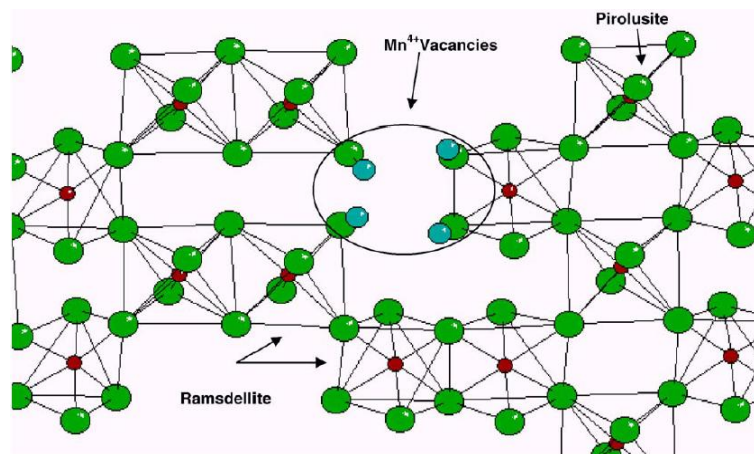
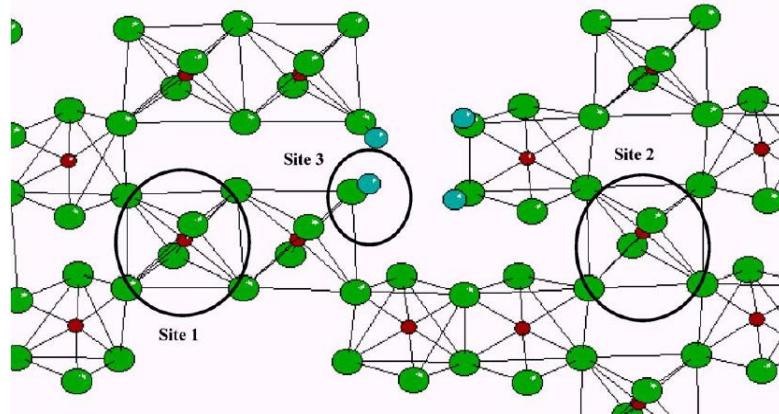


Figura 9. Representación de los diferentes sitios para la oxidación



C. Cellier y col. ^[63 y 64] investigaron la oxidación total de n-Hexano y Trimetilamina sobre varios catalizadores de óxidos de metales nobles encontrando que γ -MnO₂ fue el catalizador mas activo para oxidar ambas moléculas selectivamente a CO₂, H₂O y N₂. La actividad catalítica de γ -MnO₂ esta intrínsecamente ligado a su área superficial por lo que lo consideran un buen candidato para remover ambos compuestos.

Potter y Rossman ^[39], hicieron posible obtener las características estructurales de diferentes fases del Dióxido de Manganeso, sintéticas y naturales, tomando en cuenta la correlación de espectros de IR. Ellos señalaron que las bandas de IR se trasladan a menor número de onda con el incremento de la polimerización octaédrica.

C. M. Julien y col. ^[36]; también caracterizaron una gran variedad de Dióxidos de Manganeso, minerales y sintéticos, por espectroscopia de Infrarrojo y Raman y por Difracción de Rayos X, con el fin de comparar las propiedades estructurales y morfológicas de los diferentes entramados del óxido de Manganeso. Sus resultados confirman las características espectrales de diferentes óxidos que muestran bandas que son diagnóstico de su esqueleto Mn-O y del arreglo estructural de la celda base MnO₆.

2.7.- Justificación del Problema

En los Laboratorios de Docencia de la Escuela de Química se generan constantemente y se acumulan gran cantidad de residuos y desechos que por sus características físicas y químicas se consideran materiales peligrosos. La gran mayoría de éstos no son correctamente recolectados ni etiquetados, tampoco son clasificados, no se encuentran en condiciones apropiadas de almacenamiento y no se llevan registros de las cantidades que se tienen acumuladas, es decir, no se aplica una adecuada gestión interna y externa de los residuos y desechos producidos.

Dentro de esta problemática se destaca los residuos de Permanganato de Potasio ya que son los que se generan en mayor volumen y representan un alto grado de peligrosidad por sí mismos y por encontrarse en diversas mezclas

Es por ello que existe la necesidad de investigar, diseñar e implementar un sistema de gestión de residuos de Permanganato de Potasio adecuado a las necesidades de la Escuela de Química, donde no solo se lleve un control y correcto manejo de los residuos sino que también se estudie el tratamiento más adecuado y factible según la procedencia y el destino final del mismo, ya sea para ser descartado directamente según los límites permitidos por la ley o para ser reutilizado y transformado en un producto útil para el propio beneficio de la Escuela; con el fin de ir dando una verdadera solución a esta problemática y servir de ejemplo para aplicarse en otros tipos de residuos

Este trabajo también pretende llenar el vacío que existe en materia de responsabilidad ambiental, creando el compromiso de los próximos Licenciados en Química, de tratar el residuo y/o desecho en la misma fuente, preferiblemente por quién lo produjo.

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo General

Establecer una gestión para los diversos residuos de Permanganato de Potasio generados en los Laboratorios de Docencia de la Escuela de Química, diseñando metodologías experimentales que puedan ser aplicadas por los alumnos al momento de generar los residuos, a fin de reducir su concentración, peligrosidad, almacenamiento y su transformación en sub-productos.

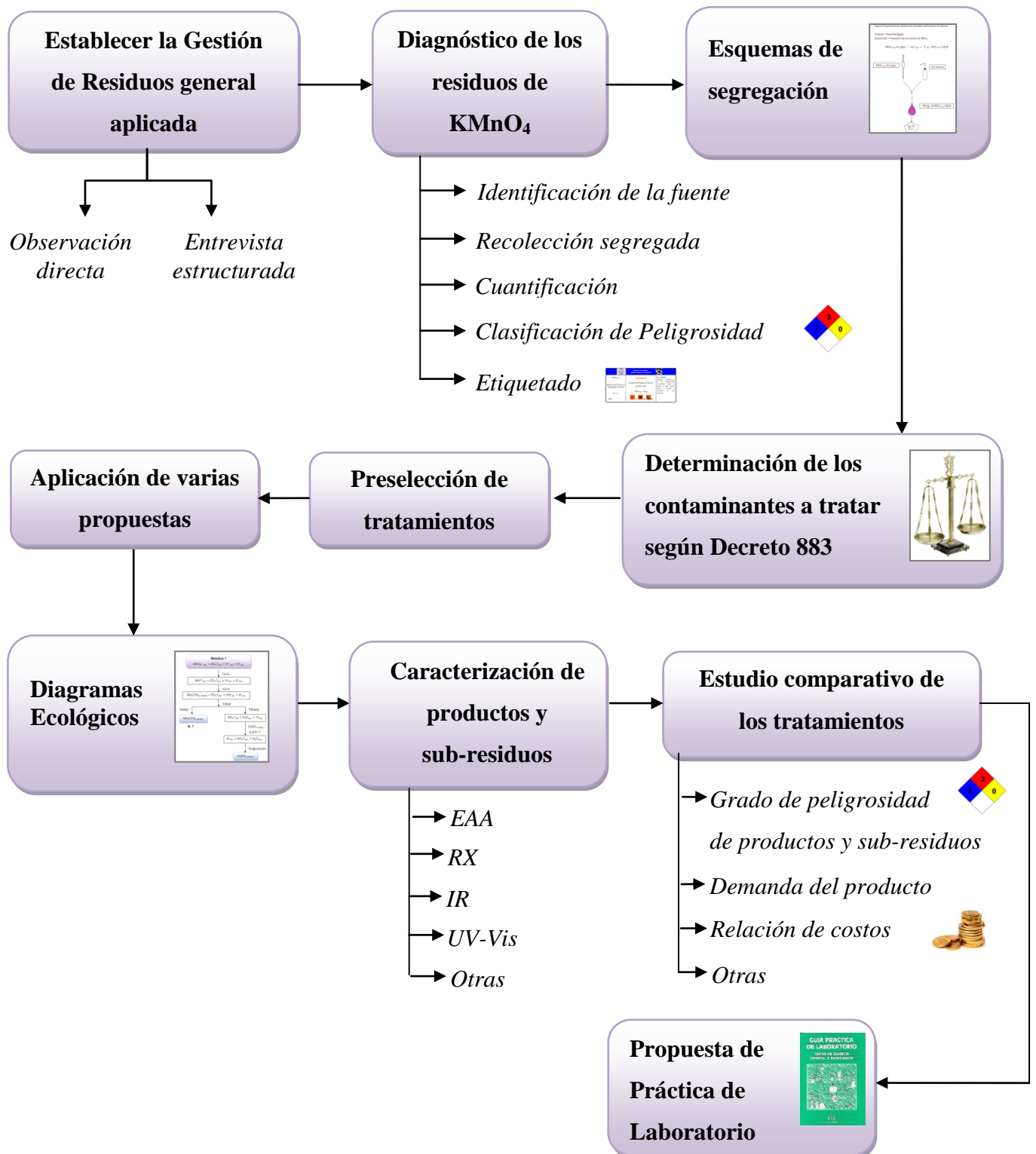
3.2.- Objetivos Específicos

- Evaluar el estado actual del manejo de los residuos de Permanganato de Potasio en los Laboratorios de Docencia.
- Recolectar y clasificar los diversos residuos de Permanganato generados en los Laboratorios de Docencia.
- Evaluar los posibles tratamientos para estos residuos.
- Seleccionar y aplicar los tratamientos más adecuados.
- Purificar y caracterizar el producto final.
- Determinar la posible ubicación del producto con el usuario final
- Elaborar los diagramas ecológicos completos de las prácticas de laboratorio que generen residuos de Permanganato de Potasio

- Realizar un análisis económico de factibilidad de implementación de los tratamientos.
- Estudiar la ejecución de la recuperación de este tipo de residuos como una práctica de laboratorio en uno de los Laboratorios de Docencia

4.- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Figura 10. Esquema de la metodología experimental a emplearse:



4.1.- Evaluación del procedimiento que se sigue actualmente en el manejo de los residuos de Permanganato de Potasio generados en los Laboratorios de Docencia:

Para conocer la gestión actual de los residuos de Permanganato de Potasio se realiza una evaluación general sobre la gestión llevada con todos los residuos producidos en esta institución. En la evaluación del protocolo se hace la división entre la gestión interna y la gestión externa efectuada. En la gestión interna se hizo énfasis en los siguientes lineamientos:

- Recolección segregada de residuos
- Disposición en los envases correctos
- Etiquetado con la información reglamentaria
- Elaboración de un inventario
- Manipulación y almacenaje correcto
- Tiempo de permanencia dentro del laboratorio que generó el residuo y en el almacén de la institución
- Además, el grado de acumulación actual de residuos y desechos ya existentes.

En la gestión externa de los residuos se tomaron en cuenta:

- Acuerdos entre la Universidad Central de Venezuela y las empresas encargadas de retirar los residuos y desechos para su disposición final, enfocándose en la frecuencia de búsqueda de los mismos y los costos del servicio.

Para llevar a cabo esta evaluación se utilizan dos fuentes de información que permiten la recopilación de los datos necesarios para conocer la situación actual del manejo de desechos.

Las técnicas empleadas para obtener la información fueron las siguientes:

- A) *La observación directa:* que consiste en registrar sistemáticamente las conductas manifestadas por los estudiantes, profesores y empleados durante la práctica de laboratorio. Aquí se detalla el proceso de producción de los residuos, la trayectoria que describen los mismos luego de generados, las estrategias de gestión que se emplean actualmente, las cantidades acumuladas, así como los diferentes problemas que se suscitan con ellos.

- B) *La entrevista estructurada:* que consiste en entrevistar al personal docente y técnico de los Laboratorios de Docencia aplicándoles dos cuestionarios formales que consisten en preguntas cerradas basadas en la gestión interna y externa de los residuos generados en esa institución. De esta manera se puede puntualizar los problemas existentes en el proceso de manipulación de residuos.

A continuación se muestran los dos modelos de cuestionarios cerrados que fueron aplicados:

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ciencias

Nombre: _____

Laboratorios de Docencia

Entrevista estructurada

Tema: Gestión interna de residuos en los Laboratorios de Docencia.

- a) ¿Se realiza la recolección de todos los residuos de manera segregada al momento de ser generados en cada práctica de laboratorio?
Si _____ No_____
- b) ¿Todos los residuos son dispuestos en los recipientes correctos de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas y a su volumen?
Si _____ No_____
- c) ¿Etiquetan todos los residuos con la información reglamentaria para su identificación, es decir, nombre del residuo, composición química aproximada, símbolo de peligrosidad y procedencia?
Si _____ No_____
- d) ¿Se lleva un inventario de todos los residuos recolectados?
Si _____ No_____
- e) ¿Los residuos recolectados son manipulados y almacenados correctamente?
Si _____ No_____

f) ¿Cuánto tiempo permanecen los residuos dentro del laboratorio que los generó?

Menos de 90 días____ 90 días____ Más de 90 días____

g) ¿Cuánto tiempo permanecen los residuos dentro del almacén de la institución en espera a su disposición final?

Menos de 90 días____ 90 días____ Más de 90 días____

h) ¿El grado de acumulación actual de los residuos y desechos en esta institución es?

Óptimo____ Bueno____ Regular____ Deficiente____

Este cuestionario se estructuró de manera tal que la primera opción a todas las preguntas se corresponda con una completa gestión interna de residuos. En las preguntas *f* y *g* se sondea el conocimiento del plazo de “90 días” que es plazo máximo de tiempo que estipula la ley para el almacenamiento temporal de residuos y desechos. Por último, la pregunta *h* nos da la visión del ámbito que le rodea respecto al almacenamiento.

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ciencias

Nombre: _____

Laboratorios de Docencia

Entrevista estructurada

Tema: Gestión externa de residuos en los Laboratorios de Docencia.

a) ¿Tiene Ud. conocimiento de los acuerdos que existen entre la Universidad Central de Venezuela y las empresas encargadas de retirar los desechos químicos para su disposición final?

Si _____ No _____

b) ¿Conoce Ud. algunas de estas empresas? Nómbrelas.

Si _____ No _____ Nombres: _____

c) ¿Cuál es la frecuencia de retiro de los desechos?

Menos de 90 días _____ 90 días _____ Más de 90 días _____

d) ¿Este servicio le cuesta a la Universidad anualmente?

Menos de 10 000 BF _____

Entre 10 001 BF y 100 000 BF _____

Más de 100 001 BF _____

No conoce la cifra _____

Igualmente para este cuestionario, se plantearon cuatro preguntas donde la primera opción, para *a*, *b* y *c*, corresponde a una persona que genera residuos o

desechos químicos dentro de los Laboratorios de Docencia y está consciente de la gestión que se realiza. La última pregunta se realizó con el fin de sondear si hay conciencia del costo de la disposición final de estos residuos.

4.2.- Identificación, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio:

4.2.1.- Identificación de las fuentes de residuos de Permanganato de Potasio

Los residuos de Permanganato de Potasio son originados en la ejecución de diversos experimentos contemplados en las asignaturas prácticas o laboratorios del pensum de estudio de la Escuela de Química.

En cada laboratorio se determinará la práctica y experimento donde se usan compuestos de Manganeso y la información será organizada en tablas y esquemas de segregación.

4.2.2.- Recolección, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio:

- En base a los esquemas de segregación de los residuos, se realizan los experimentos e inmediatamente se recolectan los residuos, colocándolos en recipientes de vidrio. La escogencia del tipo de recipiente se basó en la cantidad del residuo, en la naturaleza del mismo y en las posibles interacciones que éste pudiera tener con el

material del recipiente que lo contiene. Por ello se emplean contenedores de vidrio ya que este material es inerte y seguro para este tipo de residuos.

Aquellos residuos que por sus propiedades químicas pudiesen experimentar reacciones colaterales de descomposición por ser fotosensibles, como es el caso del permanganato, se envasan en recipientes de vidrio color ámbar para protegerlos de la luz. Esto se hace como medida preventiva de conservación de las características de los residuos y asegurar que la muestra recolectada sea exactamente la misma hasta el momento de su tratamiento.

- Se miden las cantidades en volumen o en peso, según el caso, de todos los residuos producidos por cada estudiante o por cada vez que se ejecute el experimento.
- Una vez tomadas las muestras se establecen sus características como aspecto, color y pH.
- Se realiza la evaluación de la toxicidad, peligros y riesgos asociados a los componentes de los residuos recolectados, tomando como base la clasificación de los materiales peligrosos descritos en la legislación venezolana, según el Decreto 2 635 en su Artículo 6, conforme a la definición de las Naciones Unidas, así como también se tomó en cuenta la Normativa Internacional de la Unión Europea.

Para realizar esta clasificación se consultaron las hojas de seguridad disponibles para compuestos puros ^[65]. En el caso de asignar la clasificación para una solución de múltiples componentes es necesario tomar en cuenta todas las especies químicas presentes en la mezcla (dada por la composición química determinada en los esquemas de segregación) y se realizan todas las posibles combinaciones entre los aniones y cationes presentes. De este modo se ubican las hojas de seguridad de las

sales resultantes, de allí se extraen el número de identificación de la sustancia, asignado por la ONU, así como el código o pictograma de peligrosidad de esta organización y de la Unión Europea.

Toda la información anterior se sintetiza en tablas que contienen los siguientes puntos:

- a. Código del residuo
- b. Composición química aproximada
- c. Cantidad aproximada generada por experimento
- d. Características como color, aspecto y pH
- e. Clasificación de peligrosidad: según el Artículo 6 del Decreto 2 635 (código y pictograma de la ONU) y según la Unión Europea
- f. Material y capacidad del contenedor empleado






4.2.3.- Etiquetado de los residuos de Permanganato de Potasio:

El etiquetado de los residuos se realiza con ayuda del programa BDQ ^[52]. Este programa proporciona una etiqueta donde se adjunta la información necesaria para la debida identificación del residuo, como lo son los siguientes aspectos:

- a. Nombre del laboratorio
- b. Número de práctica
- c. Nombre y código del residuo
- d. Fórmula química aproximada
- e. Cantidad
- f. Clasificación de peligrosidad (en código y pictogramas)
- g. Fecha de recolección

A continuación se muestra un modelo de etiqueta proporcionada por el programa BDQ [52]

Figura 11. Modelo de etiqueta utilizada:

		ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
Práctica N° 3 Residuo de una solución de Permanganato de Potasio R. 3. 1 0,950 L		<p style="text-align: center;">RESIDUO</p> <p style="text-align: center;">Laboratorio de Principios de Química</p> <p style="text-align: center;">Semestre II-2009</p> <p style="text-align: center;">$\text{MnO}_4^- (\text{ac}) + \text{K}^+ (\text{ac})$</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  O </div> <div style="text-align: center;">  X_n </div> <div style="text-align: center;">  N </div> </div>	<p>H5.1: Oxidante: Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>

4.3.- Propuesta de recuperación y tratamiento de los residuos generados:

Para establecer un tratamiento en un residuo específico se toman en cuenta todas las especies presentes en él, basándose en la información obtenida de los esquemas de separación:

- En primer lugar, se determinan cuales de las especies químicas y parámetros del residuo están regulados por el Decreto 883 en su sección de aguas a ser descargadas a redes cloacales.
- Se decide que el Manganeso presente en cada residuo se iba a recuperar como Dióxido de Manganeso, ya que este óxido es uno de los más versátiles de los

compuestos de Manganeso, según lo expresado en la revisión bibliográfica, y se puede separar fácilmente de la solución porque es insoluble en medio acuoso.

- A una muestra de cada residuo se cuantifica las concentraciones iniciales de todas las especies objeto de regulación. Se emplearon los servicios de tres laboratorios para el análisis de los cationes por la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica a la Llama (FAAS) con el equipo Perkin Elmer 200 (ver anexo E), para los aniones la técnica de Cromatografía de Intercambio Iónico (IEC) con un Cromatógrafo Iónico Dionex DX 100 (ver anexo E) y la concentración de Yodo por titulación con Tiosulfato de Sodio (ver anexo F).
- En la revisión bibliográfica se encuentran los listados de los posibles métodos químicos (ver páginas 33-35) y métodos fotolíticos (ver páginas 21-23) de eliminación para el Manganeso. En la lista de tratamientos químicos oxidantes se encuentran once agentes de los cuales sólo cuatro son los que transforman al Manganeso en su especie Mn(IV) o Dióxido de Manganeso MnO_2 , que es el producto deseado para este trabajo, estos agentes son el Dióxido de Cloro, el Permanganato de Potasio, el Ozono y Peróxido de Hidrógeno. De los ocho agentes químicos reductores se preseleccionaron en una primera revisión a dos: el Oxalato de Sodio ($Na_2C_2O_4$) y el Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2). En la lista de tratamientos de precipitación se escogió al Hidróxido de Sodio o Potasio. Por último, de los métodos fotolíticos se eligieron dos: la Fotocatálisis Heterogénea con TiO_2 y el Foto-Fenton.
- Adicionalmente, se hace una investigación de los procesos de eliminación de las otras especies contaminantes encontradas en estos residuos, como lo son el Hierro, Antimonio, Plata, Sulfatos, Fosfatos, Nitratos y Yodato entre las especies inorgánicas y entre las orgánicas están el Alcohol Bencílico, Benzaldehído, Ciclohexanona y Ácido Adípico.

A continuación toda la información recopilada se presenta en tablas donde se desarrollan los siguientes tópicos:

- a. Nombre del tratamiento
- b. Reactivos necesarios
- c. Proceso sufrido por la especie con su ecuación química respectiva
- d. Condiciones experimentales necesarias
- e. Metodología a seguir
- f. Utilidad del producto obtenido.

Tablas de los procedimientos experimentales de los tratamientos considerados para el Manganeso

Tabla 2. Tratamientos con agentes reductores

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por el Mn. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
A. Peróxido de Hidrógeno	H ₂ O ₂ , Ácido o base	<p><i>Reducción a pH ácido</i></p> $2\text{MnO}_4^- (\text{ac}) + 5\text{H}_2\text{O}_2 (\text{ac}) + 6\text{H}^+ (\text{ac}) \rightarrow 2\text{Mn}^{+2} (\text{ac}) + 5\text{O}_2 (\text{g})\uparrow + 8\text{H}_2\text{O} (\text{l})$ <p><i>Reducción a pH básico</i></p> $2\text{MnO}_4^- (\text{ac}) + 3\text{H}_2\text{O}_2 (\text{ac}) \rightarrow 3\text{O}_2 (\text{g})\uparrow + 2\text{MnO}_2 (\text{s})\downarrow + 2\text{OH}^- (\text{ac}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$ <p><i>Descomposición del reactivo</i></p> $2 \text{H}_2\text{O}_2 (\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{O}_2 (\text{g})\uparrow$	<p>Temperatura: Ambiente pH: ácido</p> <p>Temperatura: Ambiente pH: básico</p>	A la solución de Permanganato se le agrega ácido o base según el producto de reducción deseado y se añade la solución de Peróxido de Hidrógeno lentamente. En medio básico es violenta la reacción.
B. Peróxido de Hidrógeno	H ₂ O ₂ , base	<p><i>Oxidación</i></p> $\text{Mn}^{+2} (\text{ac}) + \text{H}_2\text{O}_2 (\text{ac}) + 2\text{OH}^- (\text{ac}) \rightarrow \text{MnO}_2 (\text{s})\downarrow + 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$	<p>Temperatura: Ambiente pH: básico</p>	A la solución que contenga Mn(II) se la añade base y la solución de Peróxido de Hidrógeno lentamente porque es violenta la reacción.

Tabla 3. Tratamientos con agentes reductores

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por el Mn. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
<p align="center">C. Oxalato de Sodio</p>	<p align="center">Na₂C₂O₄, H₂SO₄</p>	<p align="center"><i>Reducción</i></p> $2\text{MnO}_4^-{}_{(ac)} + 5\text{C}_2\text{O}_4^{2-}{}_{(ac)} + 16\text{H}^+{}_{(ac)} \rightarrow 2\text{Mn}^{2+}{}_{(ac)} + 10\text{CO}_2{}_{(g)}\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}{}_{(l)}$ <p align="center"><i>Descomposición del reactivo</i></p> $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4{}_{(ac)} \rightarrow \text{CO}_2{}_{(g)}\uparrow + \text{CO}{}_{(g)}\uparrow + \text{H}_2\text{O}{}_{(l)}$	<p>Temperatura: Ambiente pH: ácido</p>	<p>A la solución de Permanganato se le agrega Acido Sulfúrico concentrado en exceso y la solución de Oxalato de Sodio o Ácido Oxálico. Como la reacción es lenta se puede calentar la solución para aumentar la velocidad de reacción.</p>

Tabla 4. Tratamientos con agente oxidantes. Oxidación de Manganeso (II) a Manganeso (IV)

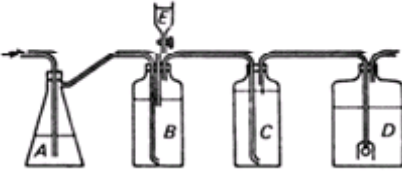
Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por el Mn. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
<p align="center">D. Dióxido de Cloro</p>	<p align="center">NaClO₂ H₂SO₄ (c)</p>	<p align="center"><i>Oxidación</i></p> $\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + 2\text{ClO}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{MnO}_{2(s)}\downarrow + 2\text{O}_{2(g)}\uparrow + 2\text{Cl}^{-}_{(ac)} + 4\text{H}^{+}_{(ac)}$	<p>Temperatura: Ambiente pH: 4 - 9 Montaje:</p>  <p align="center">Sistema de generación y absorción de dióxido de cloro.</p> <p>Frasco generador B: Color ámbar. El ClO₂ es sensible a la luz ultravioleta.</p> <p>Reacción de Generación:</p> $5\text{NaClO}_{2(ac)} + 4\text{HCl}_{(ac)} \rightarrow 4\text{ClO}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{NaCl}_{(ac)}$	<p>Disolver 10g de NaClO₂ en 750mL de agua destilada y colocarla en el frasco generador (B). diluir 4 mL de H₂SO₄ concentrado. A 16 mL de agua destilada y transferirla al embudo (E). Pasar una corriente suave de aire a través del sistema. Agregar incrementos de 5mL de H₂SO₄ desde el embudo al frasco generador. La concentración de ClO₂ varía entre 250 y 600 ppm. Esta solución se agrega a la de Manganeso.</p>

Tabla 4. Tratamientos con agente oxidantes. Oxidación de Manganeso (II) a Manganeso (IV). (Continuación)

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por el Mn. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
E. Permanganato de Potasio	KMnO ₄	<p style="text-align: center;"><i>Oxidación</i></p> $3\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + 2\text{MnO}_4^{-}_{(ac)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 5\text{MnO}_2_{(s)} \downarrow + 4\text{H}^{+}_{(ac)}$	Temperatura: Ambiente pH: neutro a ligeramente básico	A la solución de Manganeso (II) se le agrega una solución de Permanganato de Potasio en medio básico.
F. Ozono	Existen diversas tecnologías para generar ozono	<p style="text-align: center;"><i>Oxidación</i></p> $\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + \text{O}_3_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{MnO}_2_{(s)} + \text{O}_2_{(g)} \uparrow + 2\text{H}^{+}_{(ac)}$	Se necesita un generador electrolítico de ozono, el cual divide el agua en sus elementos básicos y luego convierte parte del oxígeno liberado en ozono. También se obtiene haciendo circular el gas oxígeno o aire seco, por un espacio en donde se aplicará un fuerte campo eléctrico. Esa energía produce la disociación del oxígeno que se recombina con nuevas moléculas para dar ozono.	Para que el ozono haga su trabajo de desinfección y oxidación debe entrar en contacto con el agua y absorberse, para ello se requiere equipos especiales, generalmente se emplean difusores de burbujas finas ubicadas en cámaras con deflectores o en un contactor de tipo turbia

Tabla 5. Tratamientos que involucran procesos fotolíticos

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por el Mn. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
<p>G. Fotocatálisis Heterogénea con TiO₂</p>	<p>Oxidante: Aire, O₂ u otro. TiO₂ Luz UV</p>	<p><i>Reducción</i> $5e^- + MnO_4^-(ac) \rightarrow Mn^{+2}(ac)$ <i>Oxidación</i> I) $h^+ + H_2O(ac) \rightarrow HO^{\bullet}(ac) + H^+(ac)$ II) $Mn^{+2}(ac) + 2HO^{\bullet}(ac) \rightarrow MnO_2(s) + HO^-(ac)$</p>	<p>Temperatura: Ambiente pH: Neutro Exposición a la Luz Solar directa o Lámpara de $\lambda < 390nm$ Reacción del catalizador: $TiO_2(s) + h\nu \rightarrow e^- + h^+$ e = electrón h = hueco</p>	<p>En un recipiente transparente colocar una capa de Oxido de Titanio, soportado o no. Luego se añade la solución a degradar y se expone a la Luz UV. Para un proceso oxidante se puede hacer circular aire a través de la solución o bien añadir un agente oxidante</p>
<p>H. Foto-Fenton</p>	<p>H₂O₂ FeSO₄•7H₂O Luz UV</p>	<p><i>Oxidación</i> $Mn^{+2}(ac) + 2HO^{\bullet}(ac) \rightarrow MnO_2(s) + 2HO^-(ac)$</p>	<p>Temperatura: Ambiente pH: Neutro Exposición a la Luz Solar directa o Lámpara de $\lambda < 580nm$ Reacción Foto-Fenton: I) $H_2O_2(ac) + Fe^{+2}(ac) \rightarrow Fe^{+3}(ac) + HO^{\bullet}(ac) + HO^-(ac)$ II) $Fe^{+3}(ac) + HO^-(ac) + h\nu \rightarrow Fe^{+2}(ac) + HO^{\bullet}(ac)$</p>	<p>En una fiola agregar la solución del residuo a tratar y añadir FeSO₄ • 7H₂O y H₂O₂ al 30%. Las fiolas se colocan sobre una superficie aluminizada a exposición solar directa por un espacio de tiempo. (las cantidades y el tiempo deben ser optimizados)</p>

Tabla 6. Tratamientos de precipitación de Manganeso.

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por el Mn. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
I. Hidróxido de Sodio o Potasio	NaOH ó KOH	<p style="text-align: center;"><i>Precipitación</i></p> $\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + 2\text{OH}^{-}_{(ac)} \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 (s)$	Temperatura: Ambiente pH: básico	A la solución de Manganeso (II) se le agrega Hidróxido de Sodio o Potasio y se agita, se observará la formación de un precipitado de color blanco


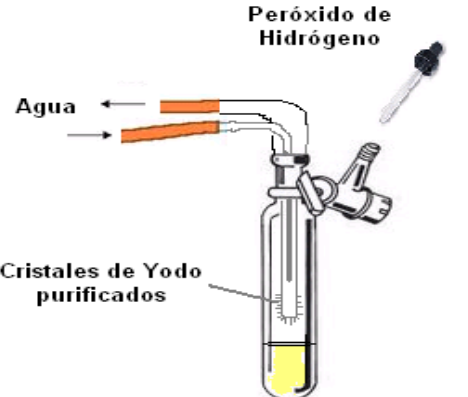
Tabla 7. Tratamientos de eliminación para las otras especies contaminantes.

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por la especie. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
J. Eliminación de Hierro	KOH PhCO ₂ K (KBz)	Precipitación: $\text{Fe}^{+3}_{(ac)} + 2\text{PhCO}_2^{-}_{(ac)} + \text{OH}^{-}_{(ac)} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})\text{Bz}_2(\text{s}) \downarrow$	Temperatura: Ambiente pH: 3-4	A la solución que contiene Hierro se le agrega KOH o ácido, según sea el caso, hasta llegar a pH 3-4. Luego se le añade una solución de KBz, dejar reposar 10 minutos y filtrar o centrifugar.
K. Eliminación de Antimonio	KOH	Precipitación: En presencia de Cloruros $\text{SbOCl}(\text{s}) \downarrow$	Temperatura: Ambiente pH: básico	A la solución que contiene Antimonio en presencia de iones cloruro, se añade KOH, se deja reposar y se filtra
L. Eliminación de Plata	KCl ó NaCl ó HCl	Precipitación: $\text{Ag}^{+}_{(ac)} + \text{Cl}^{-}_{(ac)} \rightarrow \text{AgCl}(\text{s}) \downarrow$	Temperatura: Ambiente pH: no precisa	A solución que contiene Plata se le agrega una solución de KCl, dejar reposar y centrifugar
M. Obtención de Fosfato de Calcio	Ca(OH) ₂ ó CaCl ₂	Precipitación: $2\text{PO}_4^{-3}_{(ac)} + 3\text{Ca}^{+2}_{(ac)} \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) \downarrow$	Temperatura: Ambiente pH: no precisa	Agregar una solución de Calcio a la que contiene Fosfatos, agitar y dejar reposar. Filtrar por succión.

Tabla 7. Tratamientos de eliminación para las otras especies contaminantes. (Continuación)

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por la especie. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
N. Obtención de Sulfato de Bario	Ba(OH) ₂ .8H ₂ O ó BaCl ₂	Precipitación: $\text{SO}_4^{-2}(\text{ac}) + \text{Ba}^{+2}(\text{ac}) \rightarrow$ $\text{BaSO}_4(\text{s}) \downarrow$	Temperatura: Ambiente pH: no precisa	A la solución que contiene sulfato se añade una solución de Bario para precipitar la sal BaSO ₄ . Dejar reposar y centrifugar
O. Prueba Control del Exceso de Bario	Ba(OH) ₂ .8H ₂ O ó BaCl ₂ H ₂ SO ₄			Este método se basa en verificar si se añadió la cantidad necesaria de Bario en la prueba anterior. Se toma una muestra de la solución remanente a la centrifugación y se coloca en un vidrio reloj, allí se añade gota a gota la solución de Bario, si se observa precipitado es porque aún hay sulfato en la muestra. En caso contrario, se toma una nueva muestra y se añade unas gotas de H ₂ SO ₄ , la formación del sólido indica exceso de Bario en la muestra.

Tabla 7. Tratamientos de eliminación para las otras especies contaminantes. (Continuación)

Nombre del tratamiento	Reactivos necesarios	Proceso sufrido por la especie. Ecuación química	Condiciones experimentales	Metodología
<p>P. Obtención de Yodo</p>	<p>H₂O₂</p>	<p>Reducción del Yodato:</p> $2\text{IO}_3^- (\text{ac}) + 5\text{H}_2\text{O}_2 (\text{ac}) + 2\text{H}^+ (\text{ac}) \rightarrow \text{I}_2 (\text{s}) + 5\text{O}_2 (\text{g}) \uparrow + 6\text{H}_2\text{O} (\text{l})$ <p><u>Condiciones experimentales:</u></p>	<p>Montaje:</p>  <p>Peróxido de Hidrógeno</p> <p>Cápsula de porcelana llena de Hielo</p> <p>Cristales de Yodo purificados</p> <p>Solución de Yodato</p>	<p>Colocar la solución de Yodato en un beaker y taparlo con un vidrio reloj o cápsula de porcelana, a la cual se le coloca hielo. Añadir gota a gota el H₂O₂ hasta observar cambio de color en la solución. Si no se desprenden vapores se puede calentar hasta 60°C</p>
<p>Q. Obtención de Yodo</p>		<p><u>Condiciones experimentales:</u></p> <p>Temperatura: (25-60)°C</p> <p>pH: ácido</p>	<p>Montaje:</p>  <p>Peróxido de Hidrógeno</p> <p>Agua</p> <p>Cristales de Yodo purificados</p>	<p>Colocar la solución de Yodato en un schlenk y ensamblarle el sublimador, el cual debe estar conectado a la toma de agua. A través de la llave se va adicionando el H₂O₂ hasta observar cambio de color en la solución. Si no se desprenden vapores se puede calentar hasta 60°C</p>

- Todos los posibles tratamientos descritos en las tablas anteriores fueron evaluados inicialmente de acuerdo a sus principales ventajas y desventajas, donde fueron preseleccionados los tratamientos a ser aplicados.
- Con esta información se procedió a proponer varios métodos de separación vía húmeda (marcha analítica) para los componentes de cada residuo según su matriz, empleando un conjunto de los tratamientos elegidos anteriormente (tablas 2-7) con el propósito de comparar los resultados de cada método y seleccionar el más apropiado para cada residuo.

4.4.- Determinación de las propiedades físicas y químicas de los productos y sub-residuos obtenidos en los tratamientos aplicados.

Los productos obtenidos en cada tratamiento fueron caracterizados por sus propiedades físicas y químicas:

- Se determinaron las concentraciones de Manganeso y de las otras especies presentes en las soluciones remanentes después de cada tratamiento. Nuevamente se emplearon los servicios de los tres laboratorios para los análisis que se realizaron con las mismas técnicas empleadas inicialmente. Adicionalmente se utilizó la Espectroscopia de Absorción Molecular en el UV-Vis con el equipo Thermo Electron modelo Nicolet Evolution 300 (ver anexo E) para determinar la presencia del contaminante Benzaldehído en solución acuosa.
- La caracterización de los productos sólidos como sales y óxidos cristalinos se llevo a cabo por medio de la Difracción de Rayos X en el equipo Bruker modelo

D8 Advance (ver anexo E) y Espectroscopia de Absorción en el Infrarrojo con el equipo Thermo Electron modelo Nicolet IR 200 FTIR (ver anexo E).

4.5.- Evaluación de los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados:

Se realizó la valoración de cada tratamiento de acuerdo a los resultados obtenidos en cada uno, con ello se hizo un estudio comparativo para seleccionar el tratamiento más adecuado para cada residuo, en la cual se buscó puntualizar los criterios de mayor importancia como lo son:

- a. Disminución de la concentración del contaminante
- b. Grado de peligrosidad de los residuos iniciales, productos y sub-residuos
- c. Campo de uso o demanda del producto
- d. Relación de costos del tratamiento completo
- e. Disponibilidad de los reactivos y recursos empleados
- f. Tiempo de análisis
- g. Facilidad de tratamiento

4.6.- Ubicación de los productos obtenidos en los tratamientos de los residuos:

Se propondrán los posibles campos de aplicación para los productos obtenidos según su potencial uso y grado de pureza. Para ello se tomará como principal usuario final la propia institución, en el área de los Laboratorios de Docencia.

4.7.- Propuesta de una práctica de laboratorio.

Con los resultados obtenidos en este trabajo, se elaboró un modelo de práctica de laboratorio para el tratamiento de un residuo común en los dos primeros laboratorios de química, estos son: Laboratorio de Principios de Química y Laboratorio I de Química Inorgánica.

En el desarrollo de esta práctica se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

1. Objetivos de la práctica
2. Reseña de los conocimientos previos que debe de tener el estudiante para realizar la práctica
3. Materiales, reactivos y cantidades necesarias para llevar a cabo la práctica
4. Diagrama ecológico del tratamiento
5. Asignaciones a realizar con los resultados

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- Evaluación del procedimiento que se sigue actualmente en el manejo de los residuos de Permanganato de Potasio generados en los Laboratorios de Docencia:

A) Resultados de la observación directa:

Mediante la observación directa se conoció la trayectoria de los residuos de Permanganato de Potasio una vez producidos por los estudiantes dentro del laboratorio, de manera general:

- i. En primer lugar, los residuos líquidos son reservados por los estudiantes en los recipientes donde fueron generados como vasos de precipitados, tubos de ensayos y fioles; los residuos sólidos en los embudos donde fueron filtrados de la solución y todos éstos son acumulados sobre el mesón de trabajo.
- ii. Luego, los residuos son depositados por los estudiantes en recipientes destinados para tal fin, suministrado por el profesor o preparador del curso. La recolección no se realiza de forma segregada por experimento, sino que se agrupan en clasificaciones muy generales de acuerdo a una característica del residuo, tales como: desechos ácidos, desechos básicos, desechos de Cobre, desechos orgánicos, desechos de Permanganato, etc.
- iii. Se empleaban recipientes de plástico o vidrio indistintamente según la disponibilidad de los mismos, estos provienen de reactivos gastados los cuales son dotados por los técnicos encargados o reciclados del mismo laboratorio.

- iv. Los profesores y preparadores identifican los residuos con etiquetas improvisadas, donde especifican en algunos casos, el número de la práctica y del experimento de donde proviene ese residuo y la fecha de recolección (ver Figura 12), en otros solo se coloca un texto general como “Desechos de Permanganato” (ver Figura 13)
- v. Al finalizar la práctica, estos recipientes son guardados dentro del mismo laboratorio que lo produjo, en lugares como campanas de absorción, mesones no usados o en el piso. (ver figura 14)
- vi. En tres laboratorios, Analítica, Orgánica I y Orgánica II, no se recolectaban algunos de los residuos de Permanganato de Potasio, sino que eran diluidos con una cantidad específica de agua y se vertían por el desagüe. La justificación para ello era que las cantidades empleadas de este reactivo eran muy pequeñas y por simple dilución se hacía seguro su vertido.
- vii. Algunos de los residuos ya almacenados estaban completamente identificados, en su etiqueta se podía encontrar el nombre del laboratorio, número de práctica, nombre y código del residuo, fórmula química aproximada, cantidad, pictogramas de peligrosidad y fecha de recolección. Esto se observó en los laboratorios de Principios de Química e Inorgánica I donde ya se han hecho trabajos sobre sus residuos, tales como las tesis de grado de Gainza⁽⁵⁶⁾, Méndez⁽⁵⁸⁾ y Solano⁽⁵⁹⁾.(ver Figura 15)
- viii. En el pasillo del segundo piso de los Laboratorios de Docencia se encuentra un estante donde se almacenan momentáneamente residuos, en su mayoría, de permanganato (ver Figura 16)
- ix. No hay un inventario de todos los residuos acumulados.

- x. El depósito de residuos y desechos sobrepasa su capacidad de almacenamiento (ver Figura 17)
- xi. El tiempo de permanencia de los residuos dentro de la institución supera los 90 días exigidos por la Ley ^[12].

A continuación se muestran un conjunto de fotos tomadas en los Laboratorios de Docencia de la Escuela de Química durante la realización de este trabajo.

Figura 12. Foto de las etiquetas de los residuos generados en el Laboratorio I de Química Inorgánica.



Figura 13. Foto de las etiquetas de los envases de residuos de Permanganato generados en el Laboratorio de Principios de Química.



Figura 14. Foto del lugar donde se acumulan los residuos, dentro del Laboratorio de Principios de Química (izquierda, arriba), Laboratorio Instrumental Analítico (derecha, arriba), Laboratorio II de Orgánica (izquierda, abajo) y Laboratorio de Preparaciones (derecha, abajo)



Figura 15. Foto de la etiqueta de algunos de los residuos acumulados en el Laboratorio I de Química Inorgánica.



Figura 16. Foto de un estante donde se guardan desechos, ubicado en el pasillo del segundo piso de los laboratorios de Docencia.



Figura 17. Foto del depósito de residuos y desechos de los Laboratorios de Docencia.



B) Resultados de las entrevistas estructuradas:

En las tablas que se muestran a continuación, se encuentra la cuantificación en número y en porcentaje de las personas entrevistadas (personal técnico y docente) que respondieron a las ocho preguntas realizadas durante la entrevista sobre la gestión interna y a las cuatro preguntas sobre gestión externa de los residuos generados en los Laboratorios de Docencia.

Tabla 8. Total y porcentaje de las respuestas obtenidas en la entrevista sobre gestión interna.

Pregunta	Número de personas que contestaron:		Porcentaje de personas que contestaron:					
	Si	No	Si	No				
a	7	3	70%	30%				
b	4	6	40%	60%				
c	1	9	10%	90%				
d	1	9	10%	90%				
e	2	8	20%	80%				
	Menos de 90 días	90 días	Más de 90 días	Más de 90 días	90 días	Menos de 90 días		
f	1	1	8	10%	10%	80%		
g	0	0	10	0%	0%	100%		
	Óptimo	Bueno	Regular	Deficiente	Óptimo	Bueno	Regular	Deficiente
h	0	2	4	4	0%	20%	40%	40%
Total de personas entrevistadas: 10								

Tabla 9. Total y porcentaje de las respuestas obtenidas en la entrevista sobre gestión externa.

Pregunta	Número de personas que contestaron:			Porcentaje de personas que contestaron:				
	Si	No		Si	No			
a	0	10		0%	100%			
b	0	10		0%	100%			
	Menos de 90 días	90 días	Más de 90 días	Más de 90 días	90 días	Menos de 90 días		
c	0	0	10	0%	0%	100%		
	Menos de 10 000 Bs	Entre 10 001 Bs y 100 000 Bs	Más de 100 001 Bs	No conoce la cifra	Menos de 10 000 Bs	Entre 10 001 Bs y 100 000 Bs	Más de 100 001 Bs	No conoce la cifra
d	0	0	0	10	0%	0%	0%	100%
Total de personas entrevistadas: 10								

Se graficaron los porcentajes obtenidos para cada respuesta con el fin de poder visualizar las tendencias de éstas. Las gráficas se muestran seguidamente.

Figura 18. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a las preguntas *a*, *b*, *c* y *c* en la entrevista sobre gestión interna.

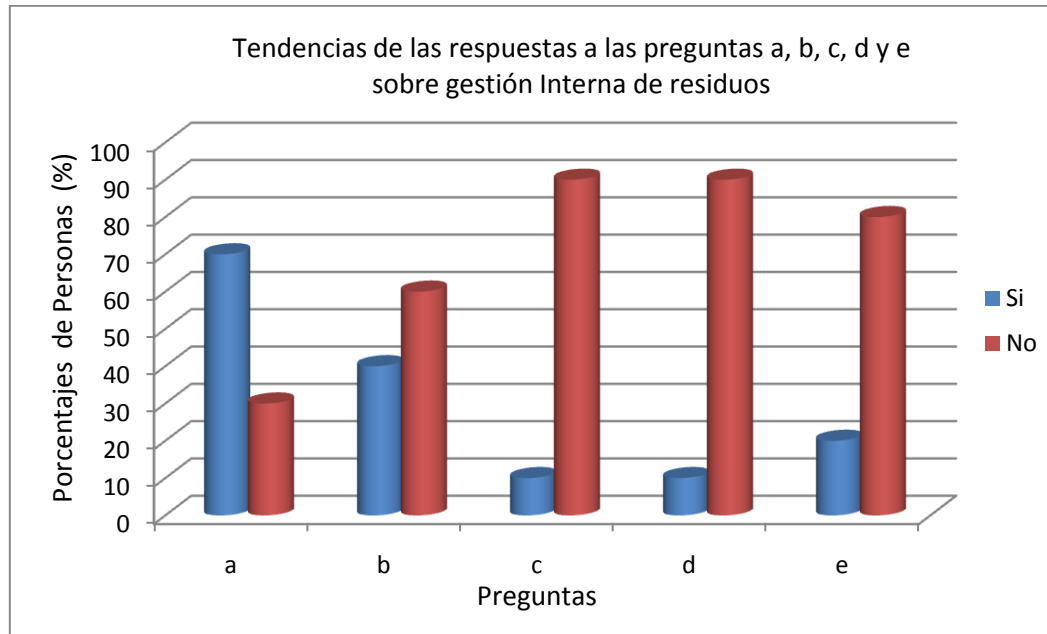


Figura 19. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a las preguntas *f* y *g* en la entrevista sobre gestión interna.

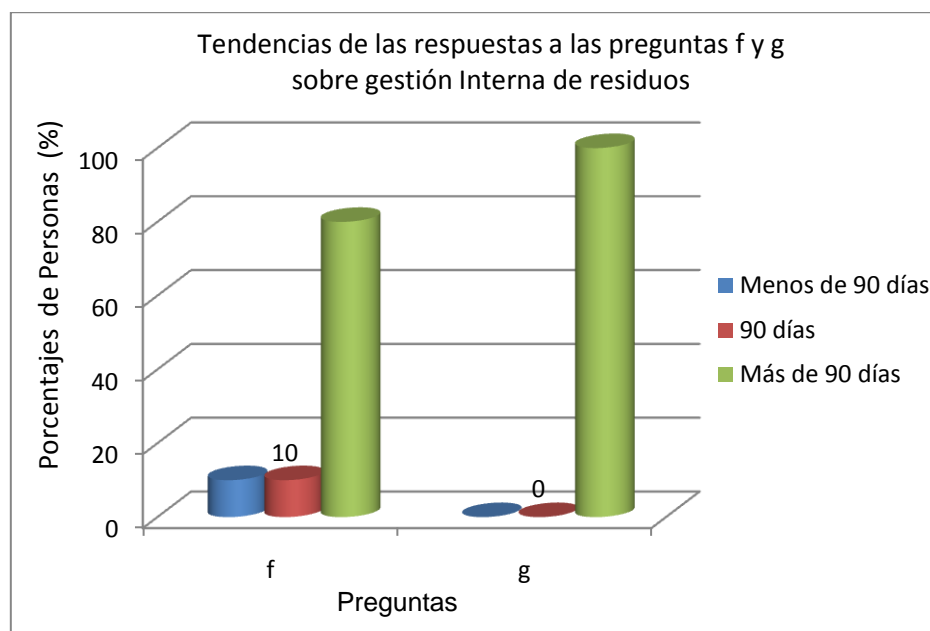
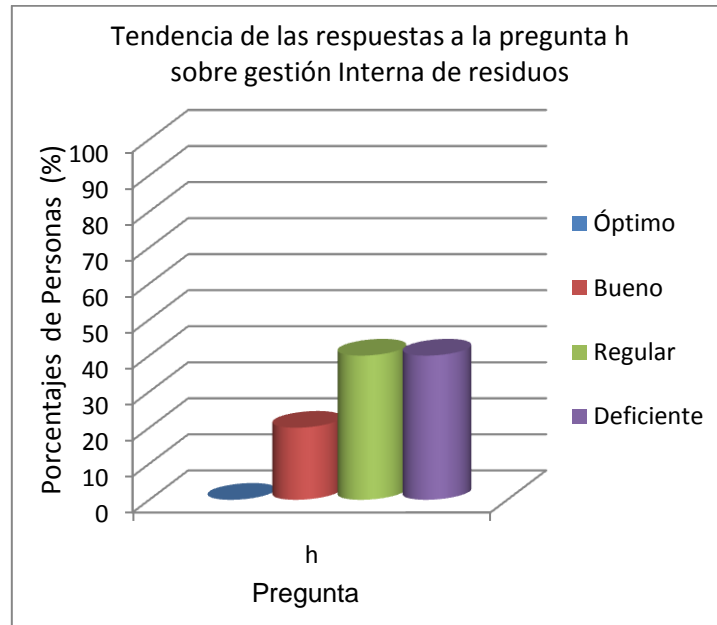


Figura 20. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a la pregunta *h* en la entrevista sobre gestión interna.



En la tendencia de los resultados del primer gráfico se observa que en la única pregunta donde el porcentaje de respuestas afirmativas superó a la negativas fue en la pregunta *a*, que es la relacionada con la recolección de los residuos, esto demuestra que aunque sí se realiza la recolección de los residuos y desechos químicos no se les está dando el correcto manejo, porque no se envasan en recipientes adecuados, no se identifican ni se conoce las cantidades acumuladas de cada uno y como consecuencia de lo anterior, no se les almacena siguiendo las normas de seguridad e incompatibilidades químicas.

Adicionalmente, en la figura 19 se aprecia que el tiempo de permanencia de los residuos dentro de los laboratorios y del depósito es superior a los 90 días que estipula la ley y ello trae como consecuencia que el grado de acumulación haya sobrepasado la capacidad que tiene esta institución (figura 20).

Todo lo anterior coincide con los datos que se recopilieron por observación directa.

Figura 21. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a las preguntas a y b en la entrevista sobre gestión externa

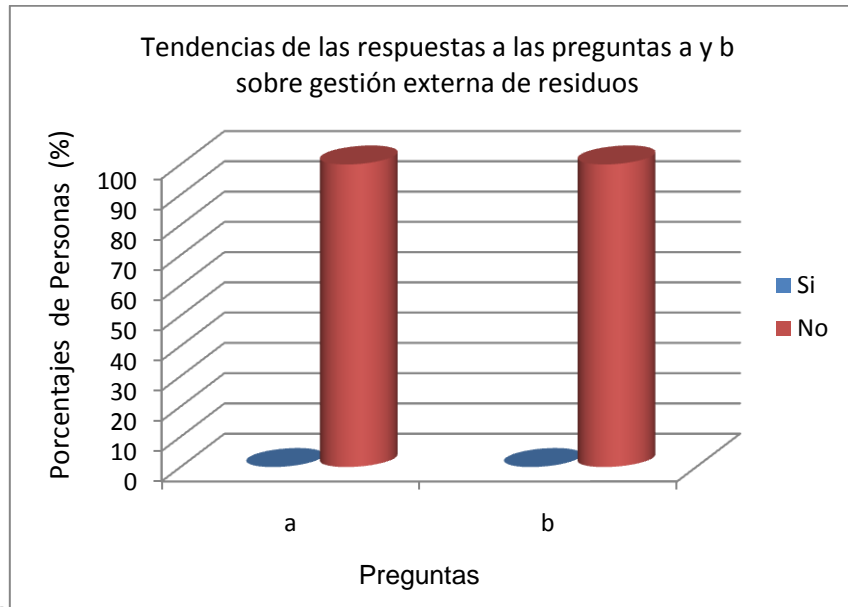


Figura 22. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a la pregunta c en la entrevista sobre gestión externa.

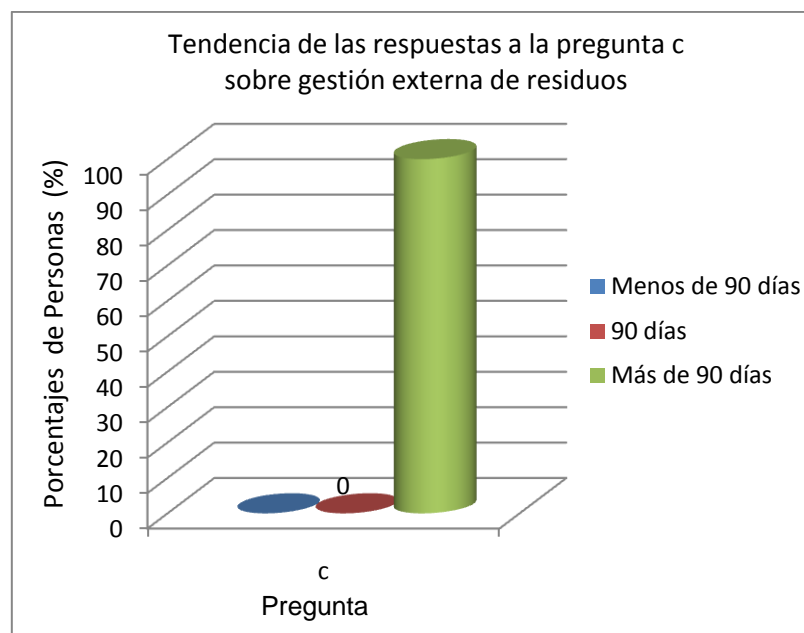
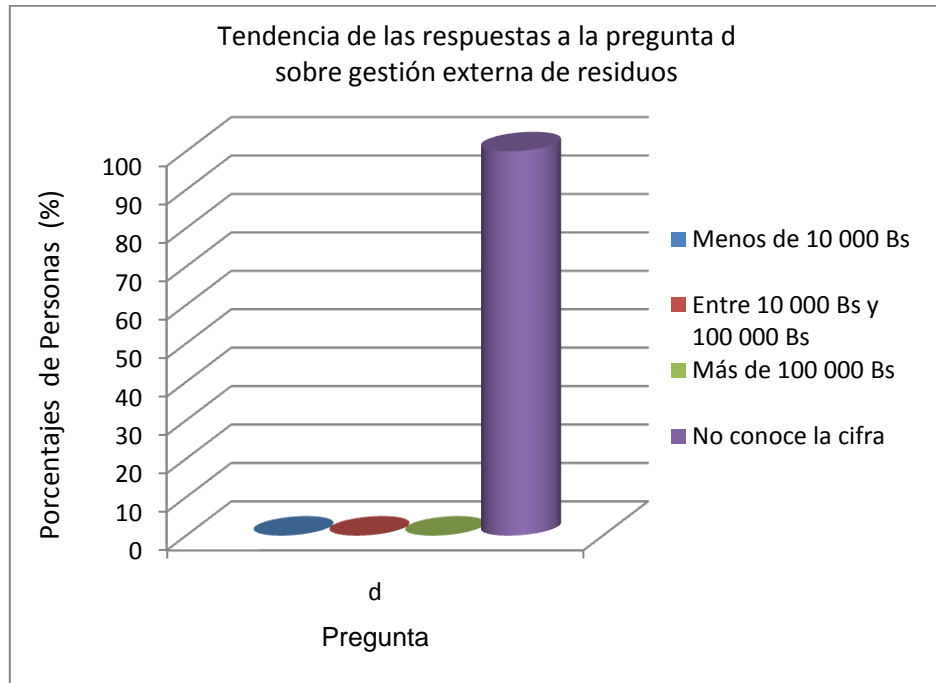


Figura 23. Gráfico del porcentaje de personas que respondieron a la pregunta *d* en la entrevista sobre gestión externa.



En el segundo cuestionario se obtuvo que ninguna de las personas entrevistadas manejaba información sobre las empresas que retiran los desechos químicos para su disposición final, como se aprecia en la figura 21, esto es debido a que no existen acuerdos permanentes entre una empresa y la UCV, si no que la relación es puntual para un momento dado que supera el tiempo estipulado, según la tendencia obtenida en la figura 22. En cuanto a los costos del servicio, no se tuvo conocimiento sobre alguna cifra en particular.

De todos los planteamientos anteriores, se pueden resaltar cuatro grandes problemas como lo son en primer lugar, el envasado en recipientes no apropiados para sus características químicas y físicas de los residuos; segundo, la identificación incompleta en el etiquetado; tercero, el almacenaje en lugares inapropiados, sin hacer

la separación por incompatibilidades químicas y por un tiempo mayor 90 días y por último, la enorme cantidad de residuos acumulados en espera por un tratamiento o su disposición final.

5.2.- Identificación, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio:

5.2.1.- Identificación de las fuentes de residuos de Permanganato de Potasio:

La identificación es el punto de partida para lograr una buena gestión de residuos. Al revisar el pensum de la Escuela de Química se encontraron que existen ocho laboratorios de química que se dictan semestralmente, estos son:

- Laboratorio de Principios de Química
- Laboratorio I de Química Inorgánica
- Laboratorio II de Química Inorgánica
- Laboratorio de Química Analítica
- Laboratorio I de Química Orgánica
- Laboratorio II de Química Orgánica
- Laboratorio de Físico-Química
- Instrumental Analítico

Se estudiaron los procedimientos seguidos en estos ocho laboratorios solamente en aquellos experimentos que empleaban como reactivos especies de Manganeso. Los compuestos con los que se trabaja en ellos son: Permanganato de Potasio (KMnO_4), Sulfato de Manganeso (MnSO_4) y Dióxido de Manganeso (MnO_2).

El Laboratorio II de Química Inorgánica no va a ser considerado en esta investigación debido a que en el mismo no se emplea ningún reactivo que contenga al elemento Manganeso

En los siete laboratorios restantes se tomaron en cuenta un total de 14 prácticas, las cuales se dividen en 32 experimentos. Las prácticas objeto de estudio se encuentran identificadas en la siguiente tabla.

Tabla 10. Prácticas de laboratorio que fueron seleccionadas:

Laboratorio	Práctica	Experimento	Título
Principios de Química	3 Reacciones en Medio Líquido	1	Cambio de Color de las Soluciones por Efecto de Disolución
		2. A. a	Cambio de Color de las Soluciones por Efecto de Reacción. Desaparición de un Color
		2. A. b	
	9 Titulaciones Redox	1	Preparación de una Solución de KMnO_4
		2	Determinación de la Concentración de la Solución de KMnO_4
		3	Determinación de la Concentración de una Solución Problema de Fe (II)

Tabla 10. Prácticas de laboratorio que fueron seleccionadas. (Continuación)

Laboratorio	Práctica	Experimento	Título
Química Inorgánica I	6 Preparación del Tricloruro de Antimonio.	5	Análisis del Producto de Hidrólisis de SbCl_3
	9 Preparación Electrolítica del Peroxidisulfato de Potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$).	1.5. A	Propiedades oxidantes del Permanganato de Potasio. Medio ácido
		1.5. B	Propiedades oxidantes del Permanganato de Potasio. Medio básico
		3. B. I	Estudio comparativo del Peróxido de Hidrógeno y algunos compuestos de Azufre que contienen al grupo Peroxo
		3. B. II	
		3. C. I	
		3. C. II	
	4	Descomposición del Peróxido de Hidrógeno.	
	10 Preparación del Yodato de Potasio	3	Método Alternativo para Preparar Yodato de Potasio

Tabla 10. Prácticas de laboratorio que fueron seleccionadas. (Continuación)

Laboratorio	Práctica	Experimento	Título
Instrumental Analítico	Métodos de Análisis por Fotocolorimetría. Determinación de Manganeso como Permanganato.	Parte a	Preparación de los Patrones de Permanganato
		Parte b	Tratamiento de la Muestra Sintética. Oxidación a Permanganato
		Parte c	Tratamiento de la Muestra Real. Disolución del Acero
		Parte d	Tratamiento de la Muestra Real de Acero. Oxidación a Permanganato
	Métodos de Análisis por Absorción Atómica a la Llama. Determinación de Manganeso.	Parte a	Preparación de Patrones de Manganeso para Curva de Calibración Externa
		Parte b	Tratamiento de la Muestra Sintética. Diluciones
		Parte c	Tratamiento de la Muestra Real. Disolución del Acero
		Parte d	Preparación de Patrones de Manganeso para Curva de Adición Estándar

Tabla 10. Prácticas de laboratorio que fueron seleccionadas. (Continuación)

Laboratorio	Práctica	Experimento	Título
Fisicoquímica Integrado	Cinética	Oxidación del Alcohol Bencílico	Oxidación del Alcohol Bencílico con Permanganato de Potasio
	Catálisis Homogénea	Cinética Enzimática	Descomposición del Agua Oxigenada por la Enzima Catalasa
Analítica	Análisis Cualitativo. Identificación de Cationes en Muestra Líquida	Grupo No Anfotérico	Separación y Reconocimiento del Manganeso (II)
	Análisis Cualitativo. Identificación de Aniones en Muestra Líquida	Grupo III	Prueba para el ión Permanganato
		Pruebas Preliminares	Prueba para Iones Reductores
			Prueba para Compuestos Azufrados
Química Orgánica I	Aplicación de las Pruebas de Clasificación	Prueba para Insaturaciones	Prueba de Baeyer

Tabla 10. Prácticas de laboratorio que fueron seleccionadas. (Continuación)

Laboratorio	Práctica	Experimento	Título
Química Orgánica II	6 Reacciones de Oxidación. Síntesis de Ciclohexanona y Acido Adípico a partir de Ciclohexanol. Síntesis del Nylon 6-6	7	Oxidación de Ciclohexanona hasta Acido Adípico con Permanganato de Potasio
	Análisis Orgánico de una Muestra Problema	Aplicación de las Pruebas de Clasificación	Prueba de Baeyer

En el análisis de la metodología seguida en cada uno de los 32 experimentos enumerados en la Tabla 10, se establecieron los procesos y las reacciones llevadas a cabo por los estudiantes en cada ensayo, (ver el enunciado de las prácticas en el anexo G). Con esta información se construyeron los esquemas de segregación mostrados a continuación en las figuras 24 a la 50. Estos esquemas fueron planteados de manera de que se mezclen lo menos posible los residuos provenientes de cada experiencia con miras a su reutilización, regeneración y reciclaje

Cada esquema de segregación contiene la identificación del laboratorio y del experimento, la reacción de síntesis en donde se puntualizaron las especies químicas presentes en cada residuo, su estado físico, cantidades estimadas por cada vez que se realiza el ensayo, el diagrama del procedimiento a seguir por el estudiante y por último se asignó un código para cada residuo.

El código de los residuos viene representado por R.i.j. y el de productos representados por P.i.j. La letra R significa residuo y la letra P es producto, el primer dígito (i) corresponde al número de la práctica y el segundo (j) al número del experimento. En el caso de las prácticas y experimentos únicos, se identificaron con las abreviaturas de los nombres de cada experiencia.

Con ello se conoció la cifra total de residuos que se generan por práctica y principalmente su composición química ya que ésta es la que determina el tipo de tratamiento y manipulación que se le debe dar.

A continuación se muestran los esquemas de separación de cada experimento:

Figura 24. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química

Práctica 3. Reacciones en medio Líquido

Experimento 1. Cambio de Color de las Soluciones por Efecto de Dilución

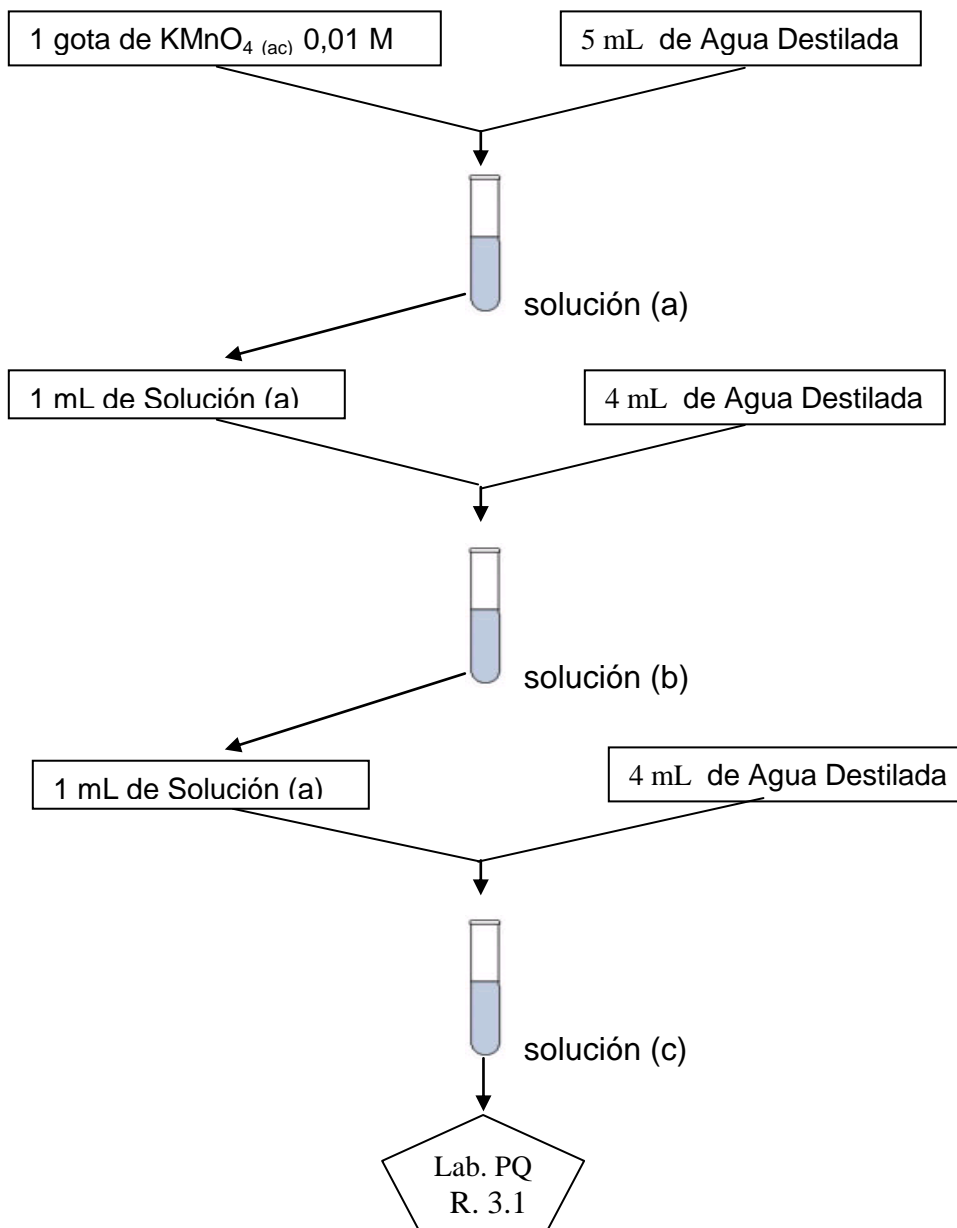
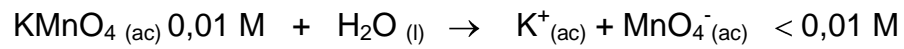


Figura 25. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química

Práctica 3. Reacciones en Medio Líquido

Experimento 2. Cambio de Color de las Soluciones por Efecto de Reacción

Parte A: Desaparición de un Color

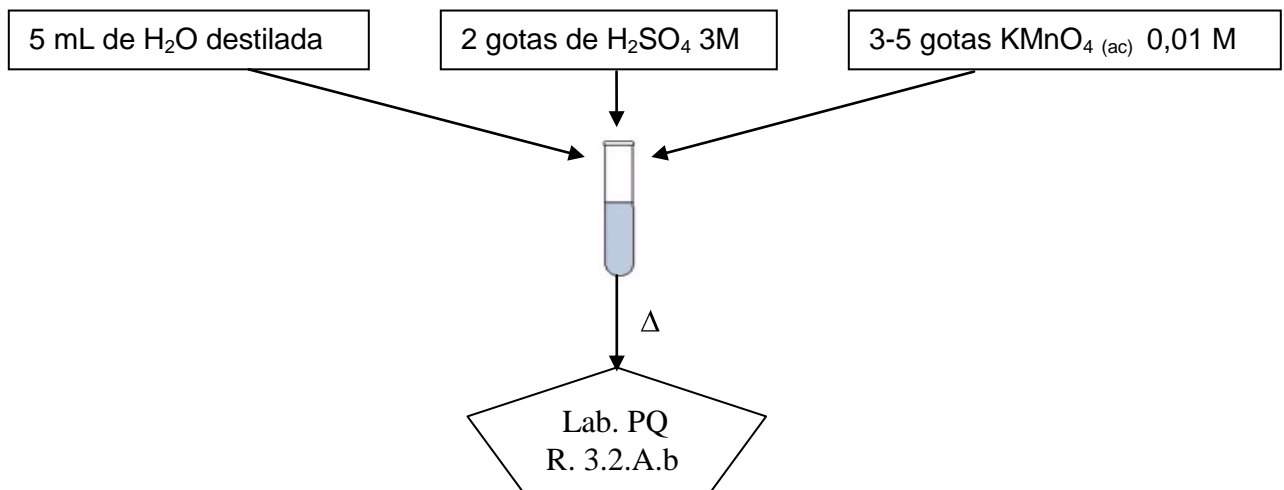
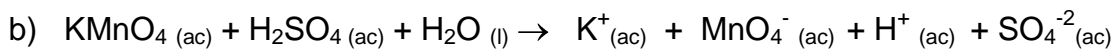
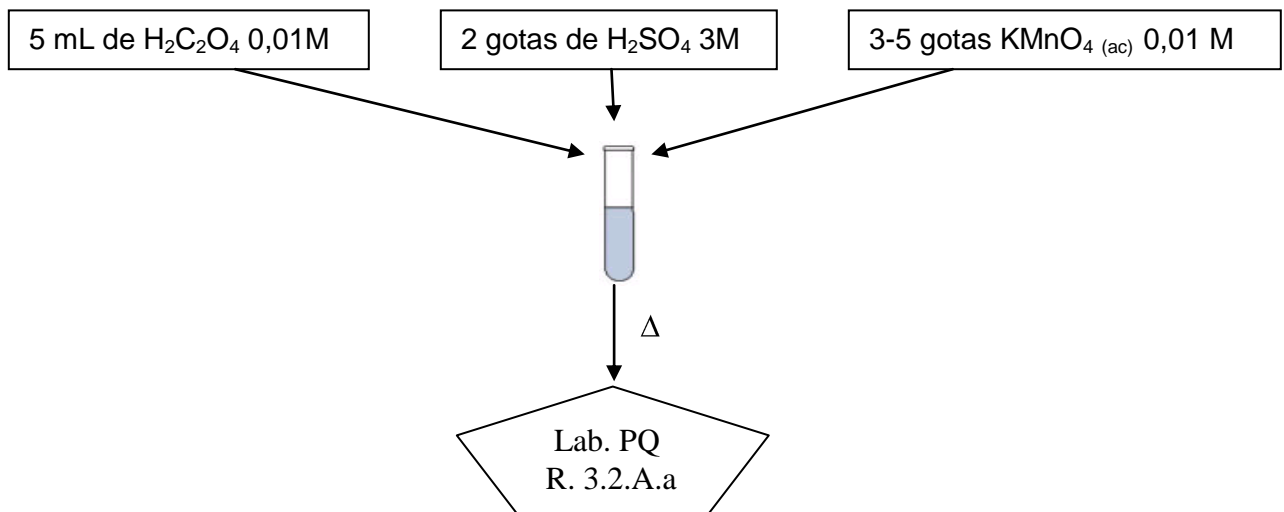
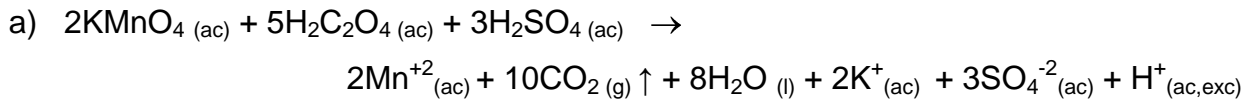


Figura 26. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química

Práctica 9. Titulaciones Redox

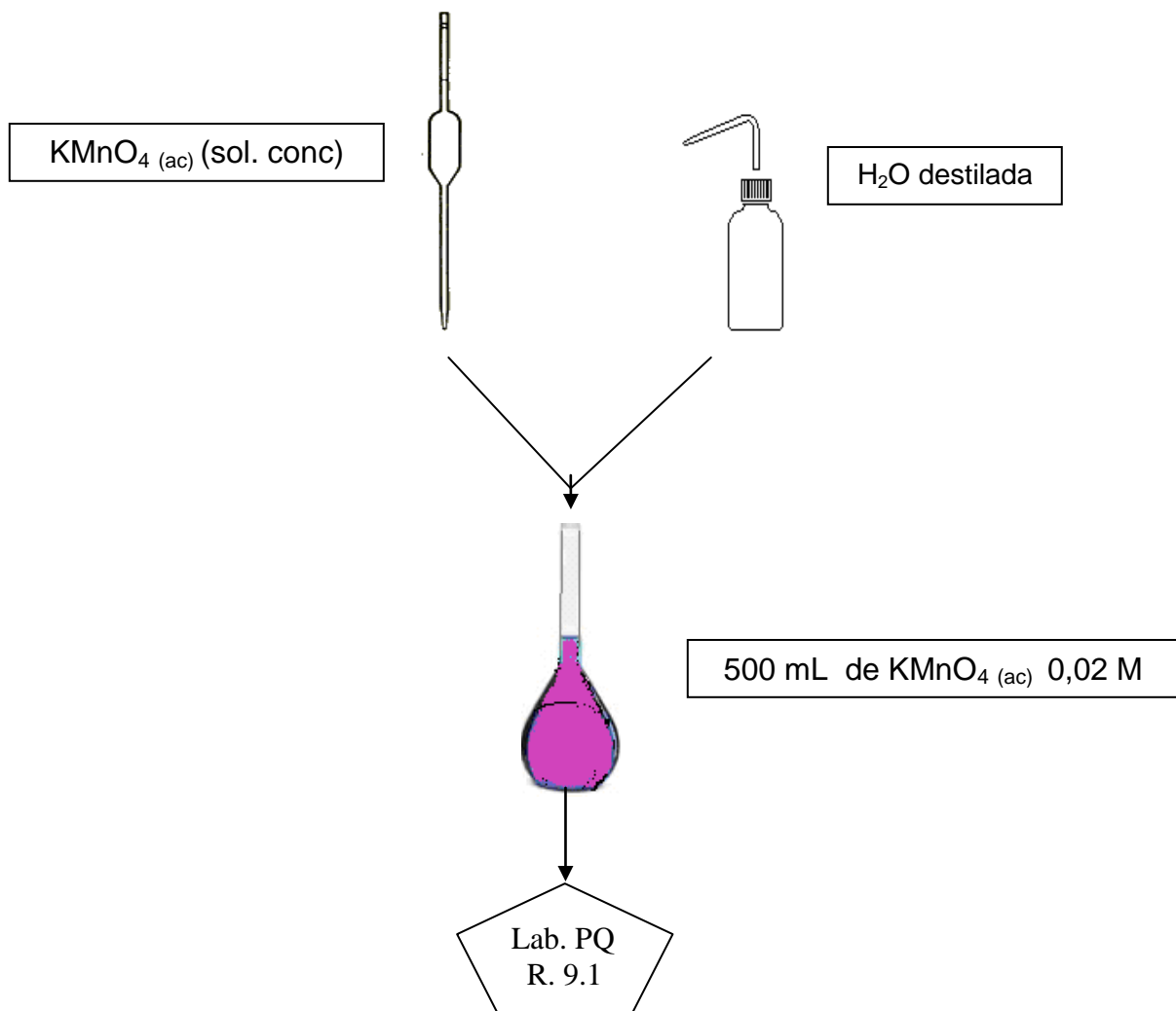
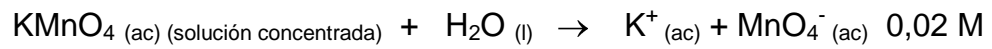
Experimento 1. Preparación de una Solución de KMnO_4 

Figura 27. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química

Práctica 9. Titulaciones Redox

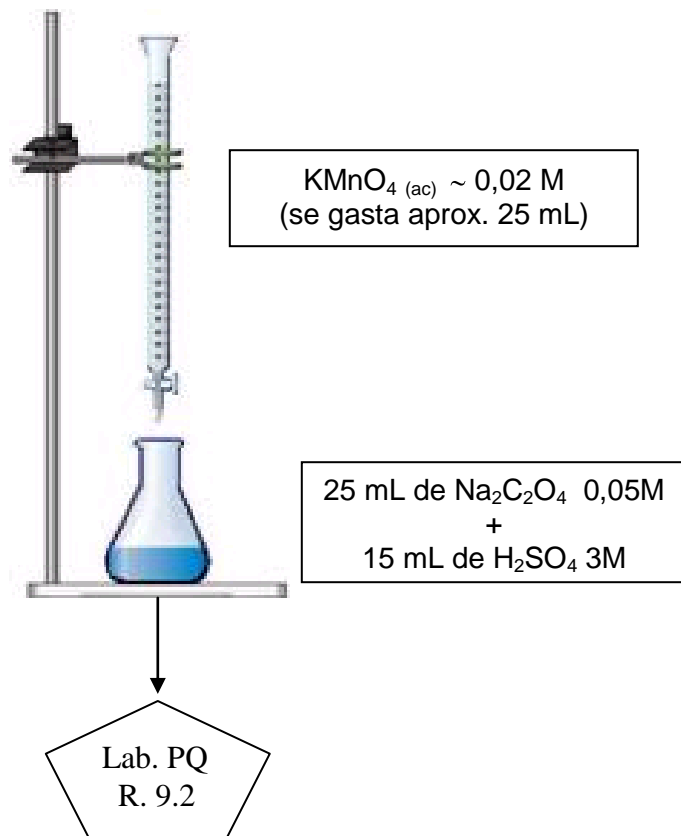
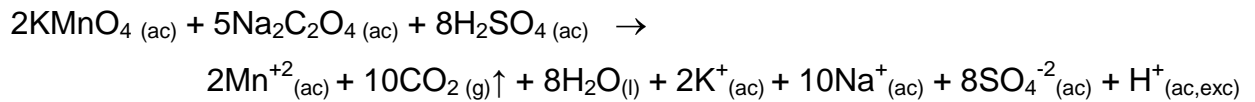
Experimento 2. Determinación de la Concentración de la Solución de KMnO_4 

Figura 28. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Principios de Química

Práctica 9. Titulaciones Redox

Experimento 3. Determinación de la Concentración de la Solución Problema de Fe (II)

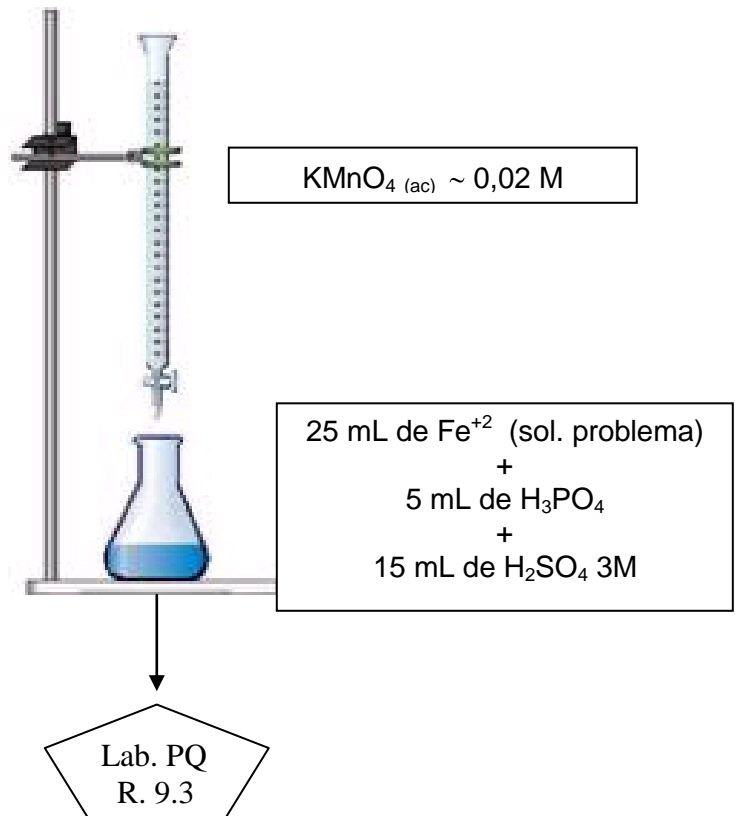
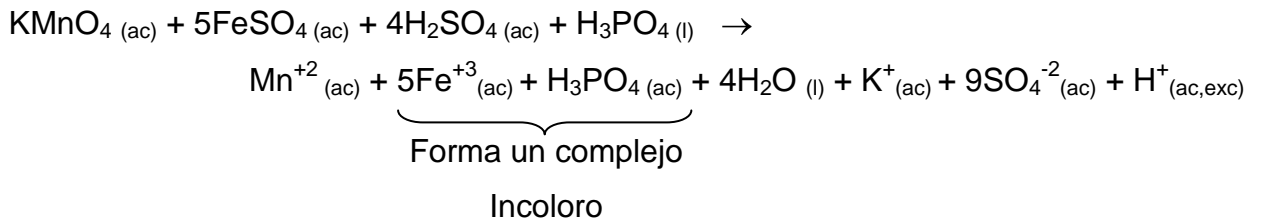


Figura 29. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I

Práctica 6. Preparación del Tricloruro de Antimonio

Experimento 5. Análisis del Producto de Hidrólisis de SbCl_3

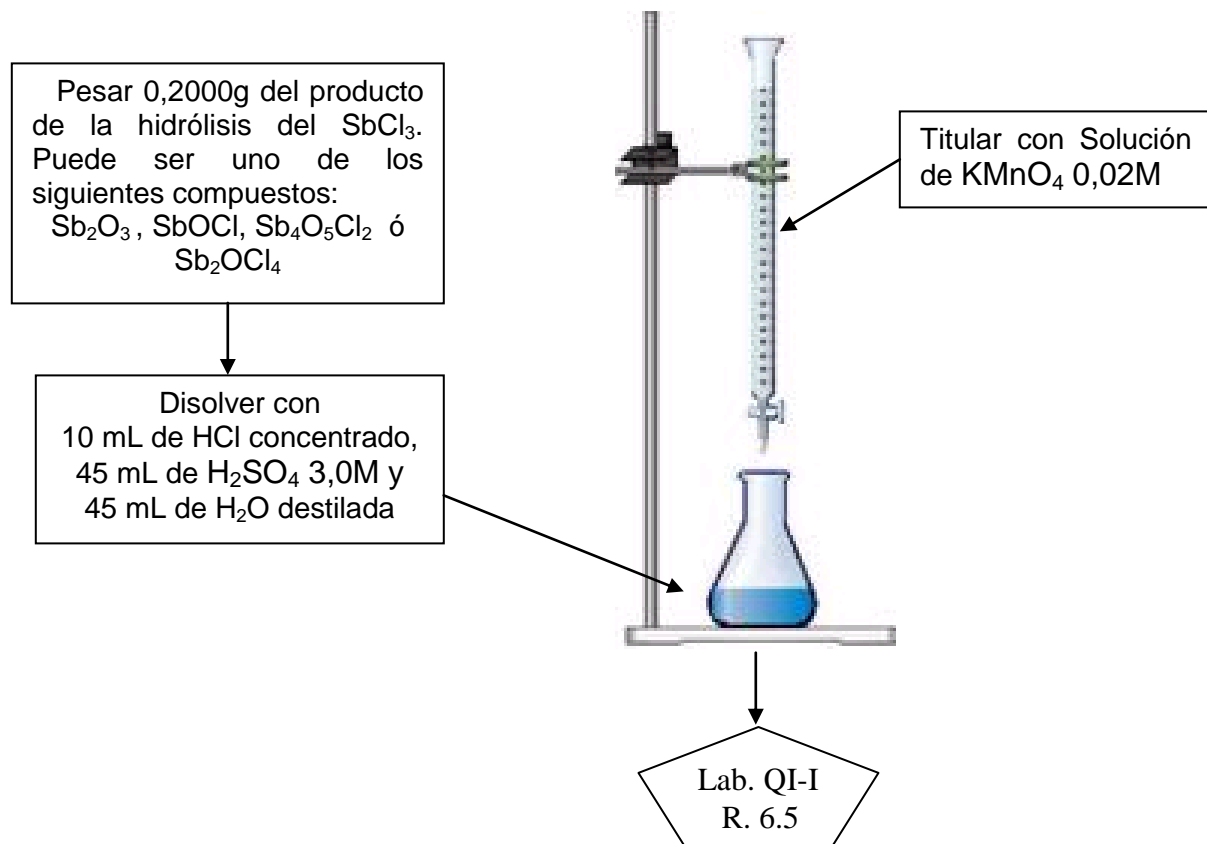
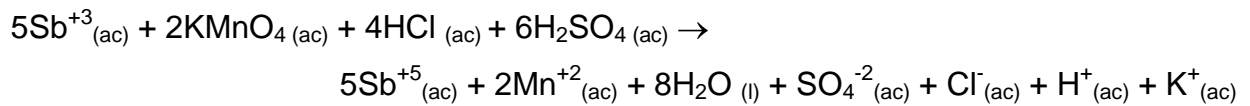
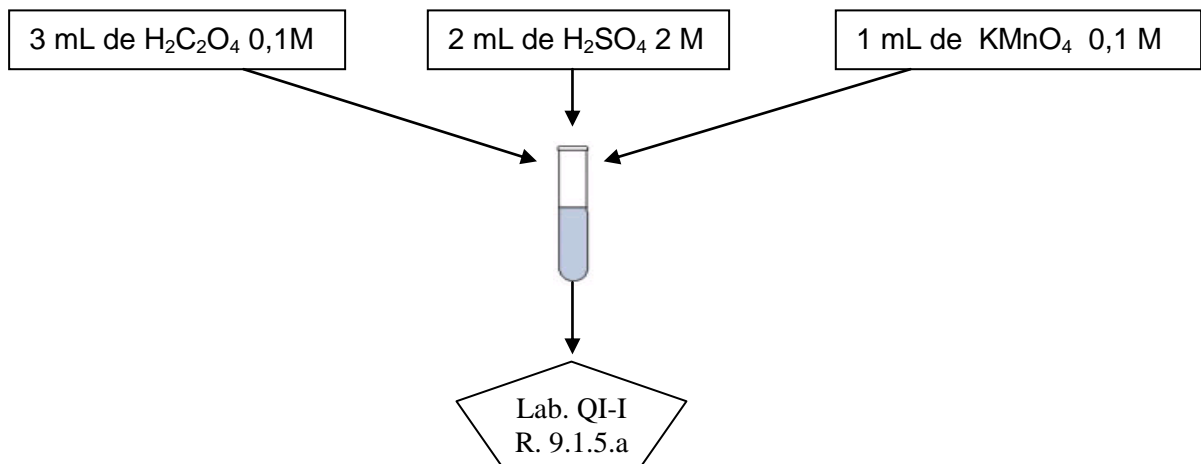
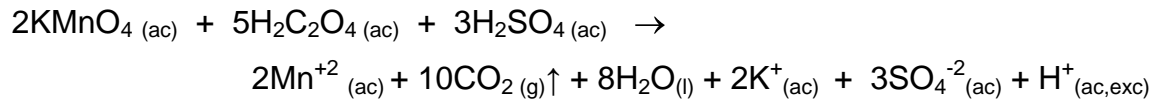


Figura 30. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I

Práctica 9. Preparación Electrolytica del Peroxidisulfato de Potasio

Experimento 1.5. Propiedades Oxidantes del Permanganato de Potasio

1.5.a) Medio ácido



1.5.b) Medio neutro o alcalino

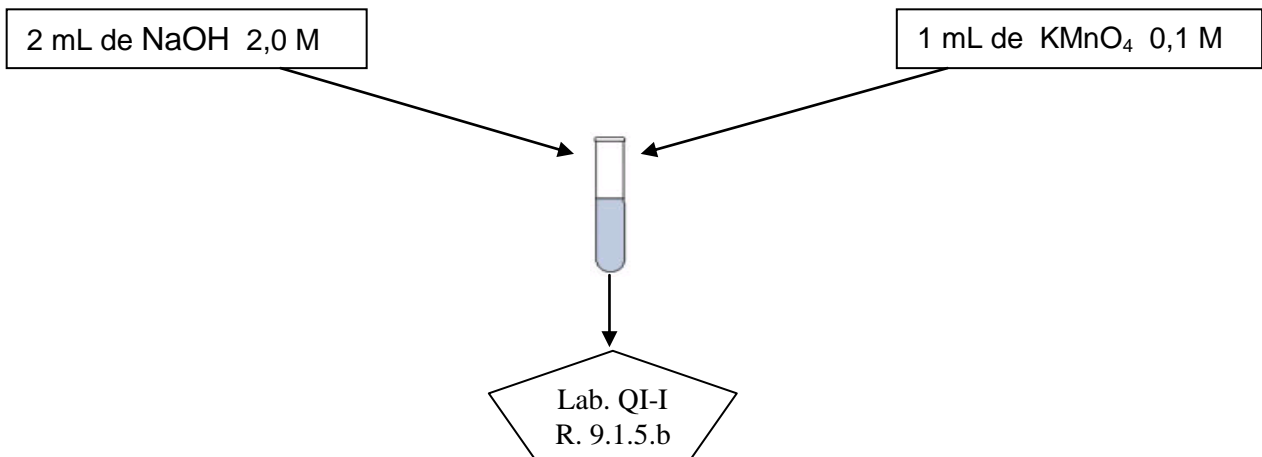
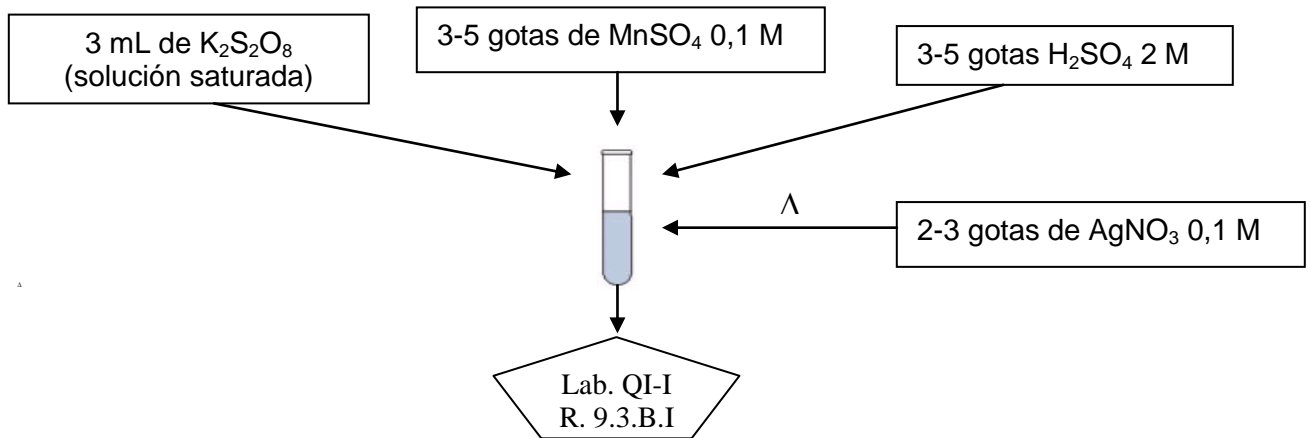
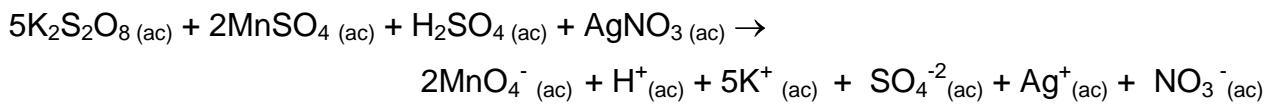


Figura 31. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I

Práctica 9. Preparación Electrolítica del Peroxisulfato de Potasio

Experimento 3. Estudio Comparativo del Peróxido de Hidrógeno y algunos Compuestos de Azufre que contienen al grupo Peroxo.

Ensayo 3.B.I)



Ensayo 3.B.II)

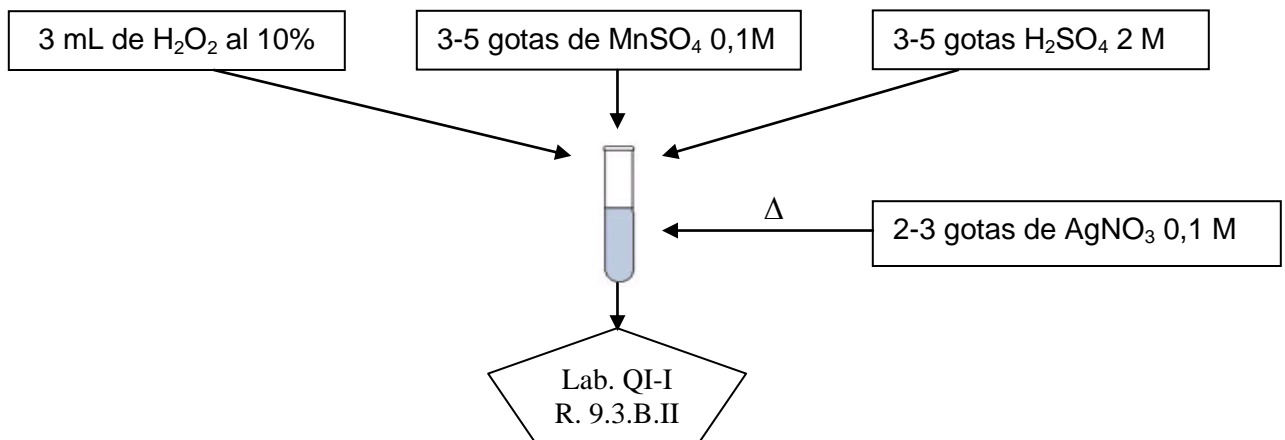
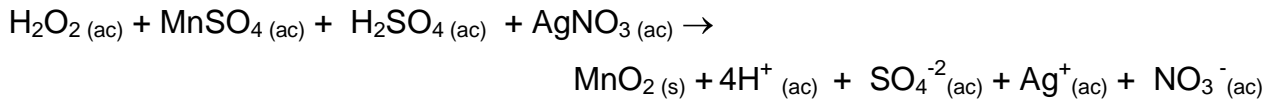
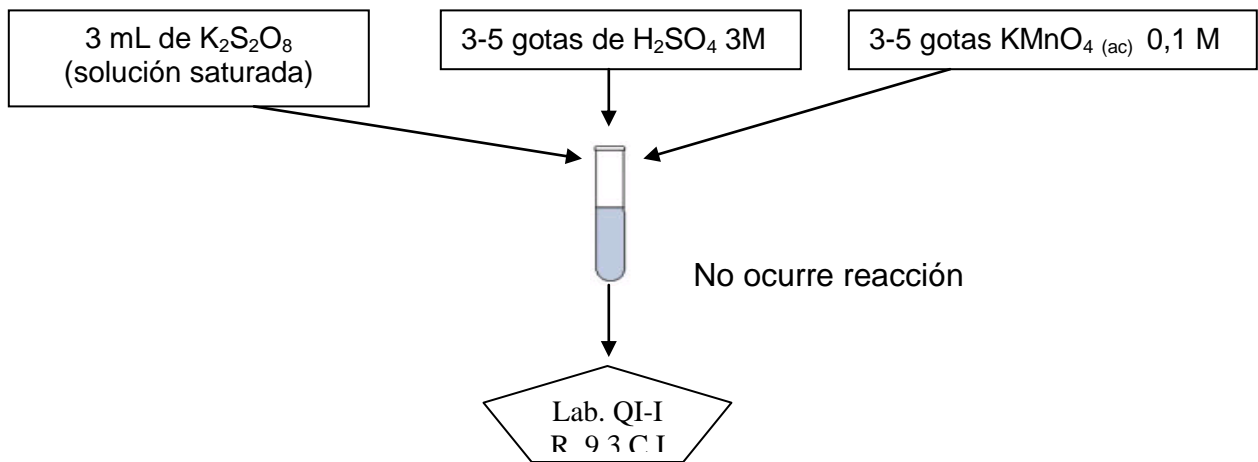


Figura 32. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I

Práctica 9. Preparación Electrolytica del Peroxidisulfato de Potasio

Experimento 3. Estudio Comparativo del Peróxido de Hidrógeno y algunos Compuestos de Azufre que contienen al grupo Peroxo.

Ensayo 3.C.I)



Ensayo 3.C.II)

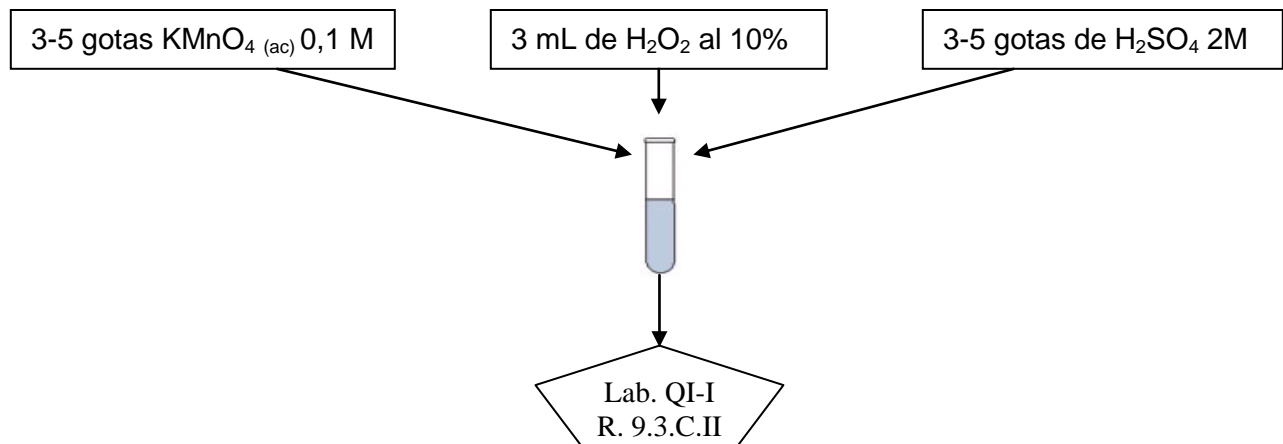
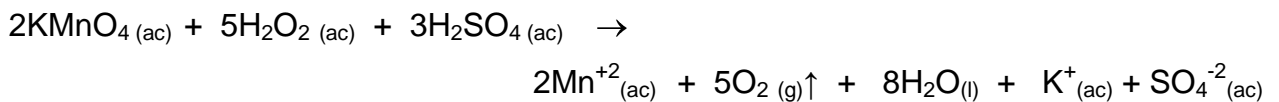
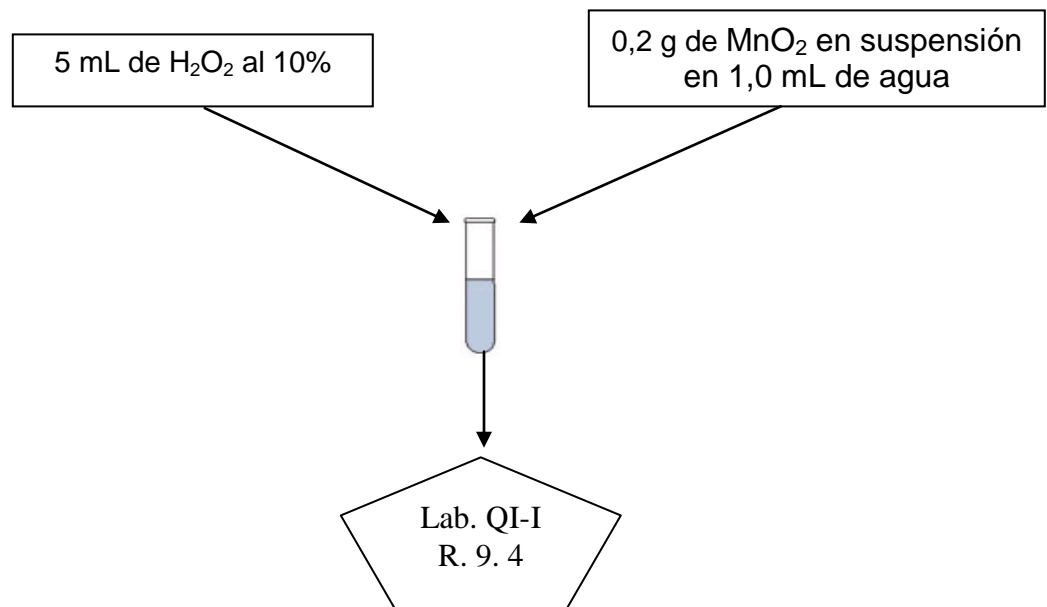
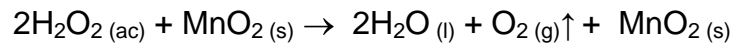


Figura 33. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I

Práctica 9. Preparación Electrolytica del Peroxidisulfato de Potasio

Experimento 4. Descomposición del Peróxido de Hidrógeno



Nota: el MnO₂ actúa como catalizador en la descomposición del H₂O₂ pero también hay que tomar en cuenta la siguiente reacción de óxido-reducción:

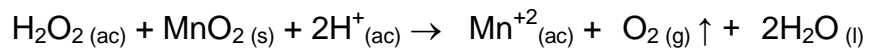


Figura 34. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Inorgánica I

Práctica 10. Preparación del Yodato de Potasio

Experimento 3. Método Alternativo para Preparar el Yodato de Potasio

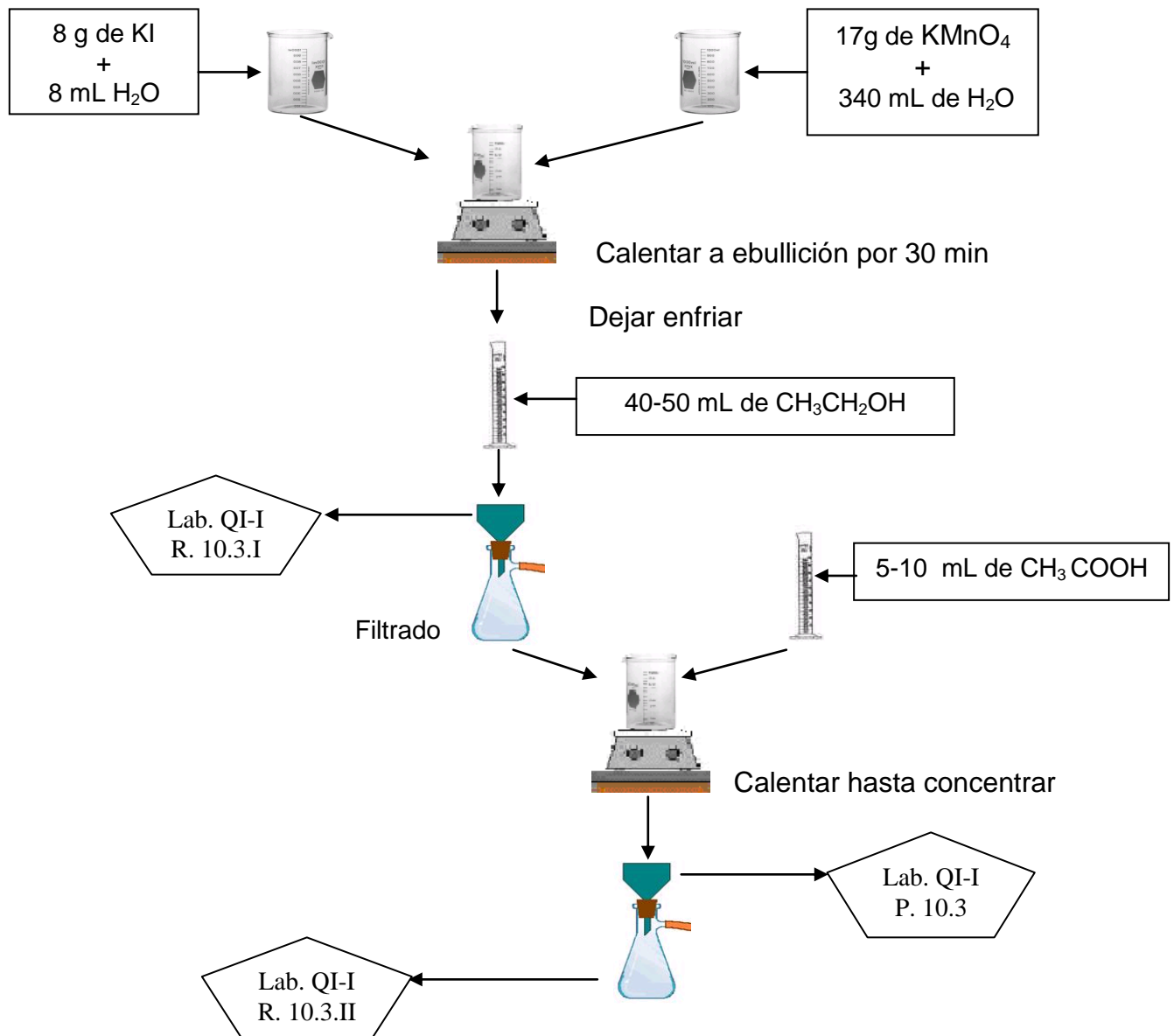
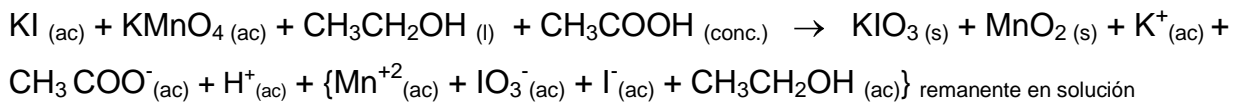


Figura 35. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Físicoquímica Integrado

Práctica de Cinética

Experimento. Oxidación del Alcohol Bencílico

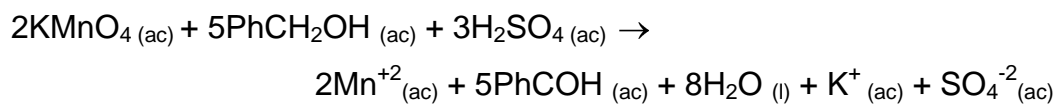



Tabla 11: Volúmenes empleados de los reactivos y su temperatura

Solución	Volumen KMnO ₄ 0,002M	Volumen  -CH ₂ OH 0,04 M	Volumen H ₂ SO ₄ 1,4 M	Volumen H ₂ O	Temperatura	Volumen Total
A	5 mL	10 mL	10 mL	--	25°C	25 mL
B	5 mL	10 mL	10 mL	--	40°C	25 mL
B'	5 mL	10 mL	10 mL	--	35°C	25 mL
B''	5 mL	10 mL	10 mL	--	10°C	25 mL
C	5 mL	5 mL	10 mL	5 mL	25°C	25 mL
D	5 mL	3 mL	10 mL	7 mL	25°C	25 mL
E	5 mL	10 mL	5 mL	5 mL	25°C	25 mL
F	5 mL	10 mL	7 mL	3 mL	25°C	25 mL

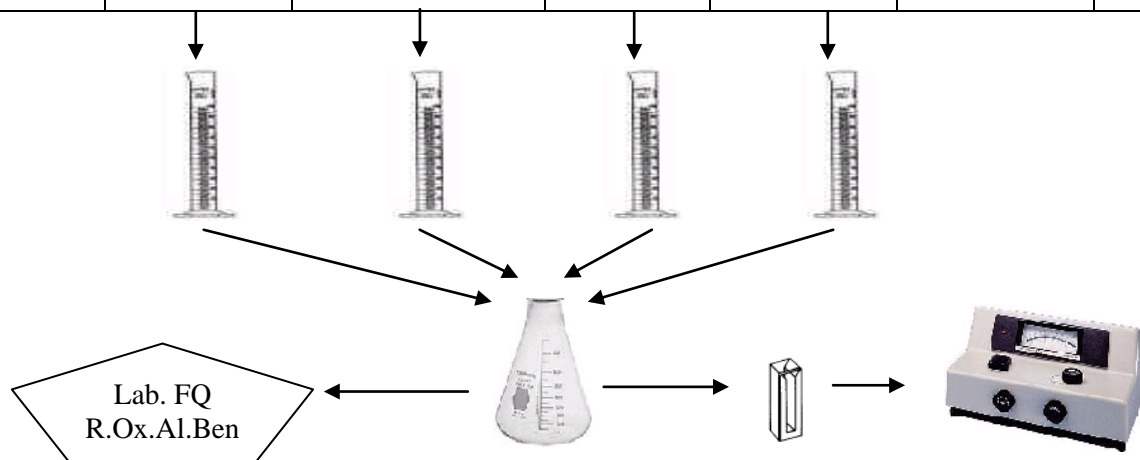


Figura 36. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Físicoquímica Integrado

Práctica de Catálisis Homogénea

Experimento de Cinética Enzimática. Descomposición del Agua Oxigenada por la Enzima Catalasa

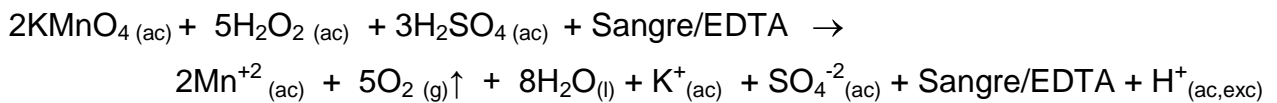


Tabla 12. Volúmenes empleados de los reactivos, su temperatura y pH

Serie	Volumen H ₂ O destilada	Volumen H ₂ O ₂ 0,89M	Volumen Sangre 1 mL/2 L	Volumen H ₂ SO ₄ 1,0 M	Volumen KMnO ₄ 0,10M	Temp.	pH de la reacción	Volumen Total
e1b	18 mL	5 mL	2 mL	25 mL	18 mL	Amb.	7	68 mL
e2b	15 mL	5 mL	5 mL	25 mL	18 mL	Amb.	7	68 mL
e3b	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	18 mL	Amb.	7	68 mL
e4b	8 mL	5 mL	12 mL	25 mL	18 mL	Amb.	7	68 mL
e5b	4 mL	5 mL	16 mL	25 mL	18 mL	Amb.	7	68 mL
e6b	0 mL	5 mL	20 mL	25 mL	18 mL	Amb.	7	68 mL
e1c	18 mL	5 mL	2 mL	25 mL	16 mL	Amb.	7	66 mL
e2c	15 mL	5 mL	5 mL	25 mL	13 mL	Amb.	7	63 mL
e3c	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	10 mL	Amb.	7	60 mL
e4c	8 mL	5 mL	12 mL	25 mL	6 mL	Amb.	7	56 mL
e5c	4 mL	5 mL	16 mL	25 mL	3 mL	Amb.	7	53 mL
e6c	0 mL	5 mL	20 mL	25 mL	1 mL	Amb.	7	51 mL
s1b	14 mL	3 mL	8 mL	25 mL	11 mL	Amb.	7	61 mL
s2b	13 mL	4 mL	8 mL	25 mL	14 mL	Amb.	7	64 mL
s3b	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	17 mL	Amb.	7	67 mL

Tabla 12: Volúmenes empleados de los reactivos, su temperatura y pH (Continuación)

Serie e	Volumen H ₂ O destilada	Volumen H ₂ O ₂ 0,89M	Volumen Sangre 1 mL/2 L	Volumen H ₂ SO ₄ 1,0 M	Volumen KMnO ₄ 0,10M	Temp.	pH de la reacción	Volumen Total
s4b	10 mL	7 mL	8 mL	25 mL	24 mL	Amb.	7	74 mL
s5b	7 mL	10 mL	8 mL	25 mL	36 mL	Amb.	7	86 mL
s6b	2 mL	15 mL	8 mL	25 mL	47 mL	Amb.	7	97 mL
s1c	14 mL	3 mL	8 mL	25 mL	3 mL	Amb.	7	53 mL
s2c	13 mL	4 mL	8 mL	25 mL	8 mL	Amb.	7	58 mL
s3c	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	10 mL	Amb.	7	60 mL
s4c	10 mL	7 mL	8 mL	25 mL	17 mL	Amb.	7	67 mL
s5c	7 mL	10 mL	8 mL	25 mL	29 mL	Amb.	7	79 mL
s6c	2 mL	15 mL	8 mL	25 mL	40 mL	Amb.	7	90 mL
t1	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	18 mL	0°C	7	68 mL
t2	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	14 mL	Amb.	7	64 mL
t3	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	13 mL	35°C	7	63 mL
t4	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	17 mL	45°C	7	67 mL
t5	12 mL	5 mL	8 mL	25 mL	18 mL	55°C	7	68 mL
h1	--	5 mL	8 mL	12 mL Buffer	18 mL	Amb.	2	43 mL
h2	--	5 mL	8 mL	12 mL Buffer	17 mL	Amb.	4	42 mL
h3	--	5 mL	8 mL	12 mL Buffer	16 mL	Amb.	6	41 mL
h4	--	5 mL	8 mL	12 mL Buffer	15 mL	Amb.	7	40 mL
h5	--	5 mL	8 mL	12 mL Buffer	17 mL	Amb.	10	42 mL

Tabla 13. Volúmenes totales empleados de los reactivos, su temperatura y pH

Serie	Volúmenes					Temp:	pH:	Volumen Total:
34 Series	198 mL de H ₂ O ₂ 0,89M	725 mL de H ₂ SO ₄ 1,0M y 60 mL de Buffer	302 mL de Sangre 1 mL/2 L	290 mL de H ₂ O destilada	576 mL de KMnO ₄ 0,10M	Ambiente	ácido	2 151 mL

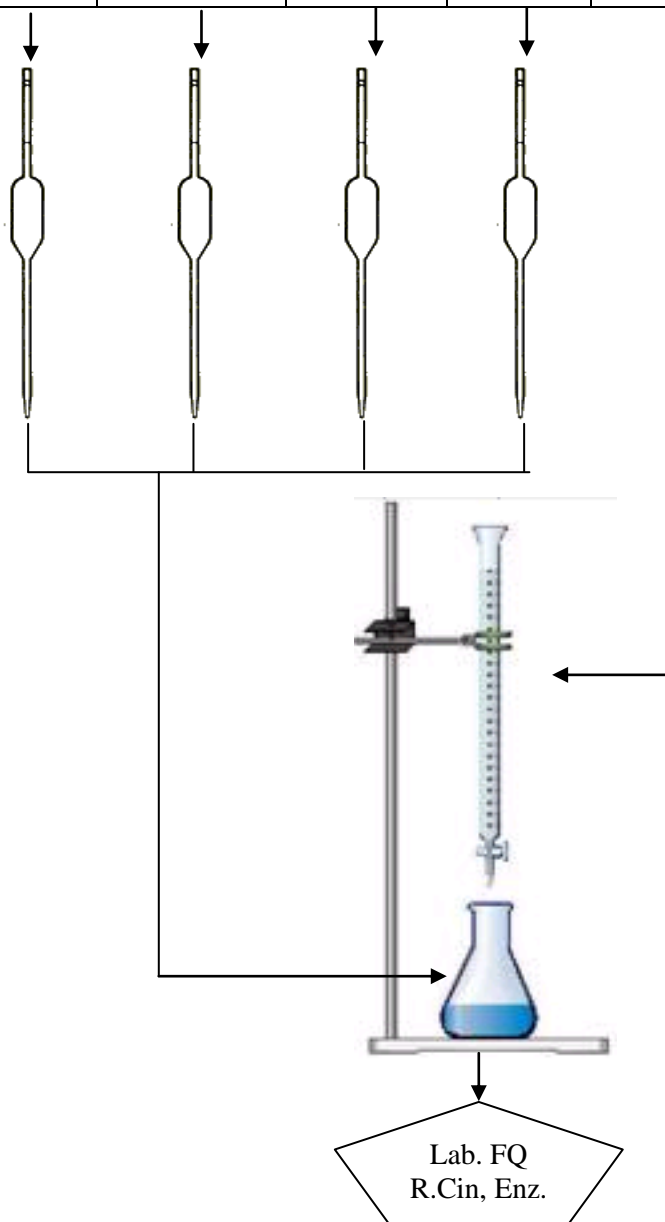


Figura 37. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica

Práctica: Análisis Cualitativo. Identificación de Cationes en Muestra Líquida

Experimento: Grupo No Anfotérico. Separación y Reconocimiento del Manganeso (II)

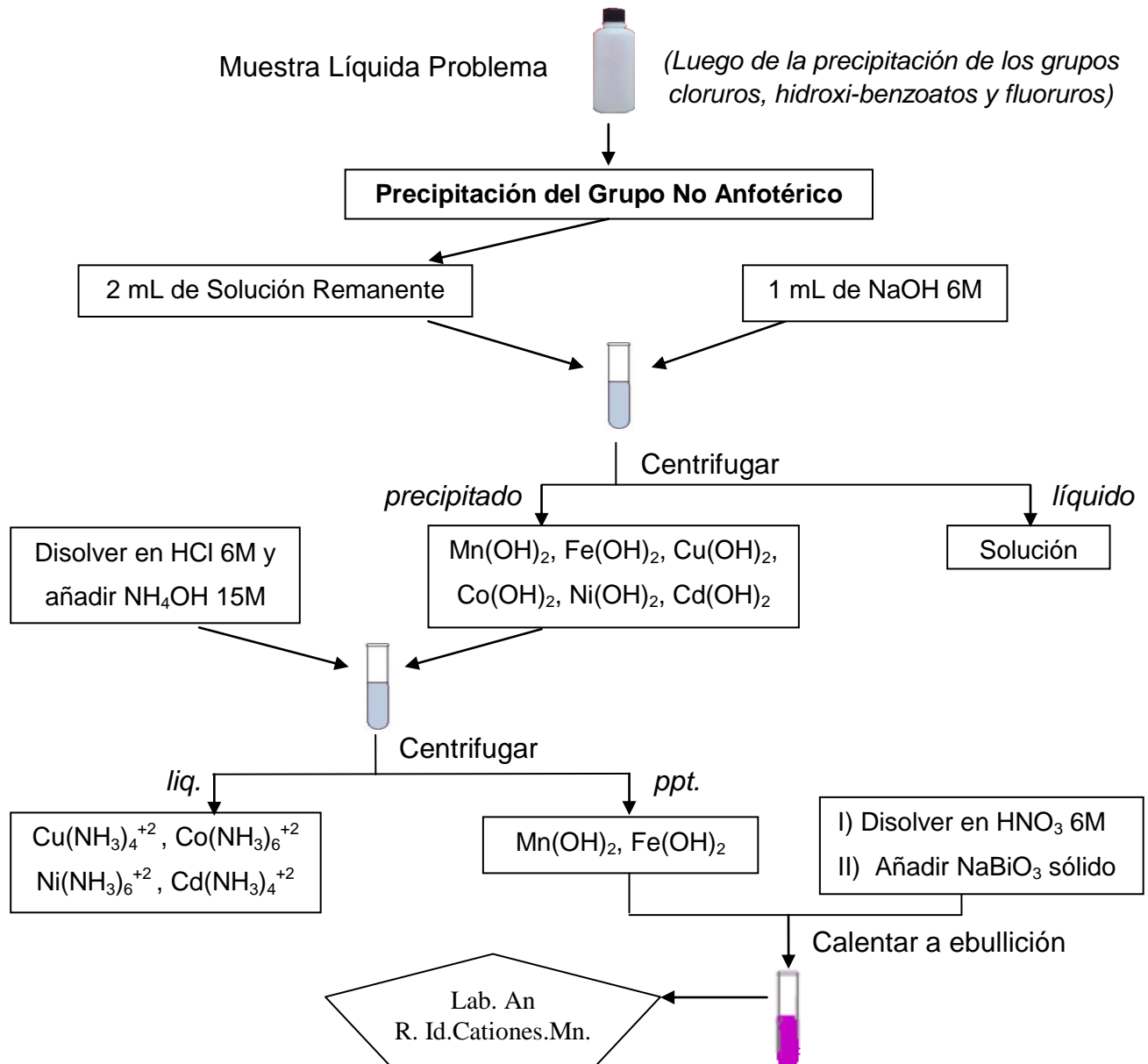
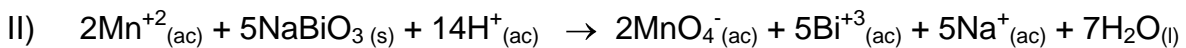
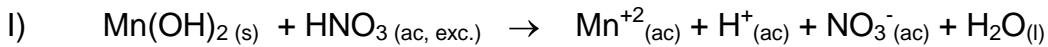


Figura 38. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica

Práctica: Análisis Cualitativo. Identificación de Aniones en Muestra Líquida

Experimento: Grupo III. Prueba para el Ión Permanganato.

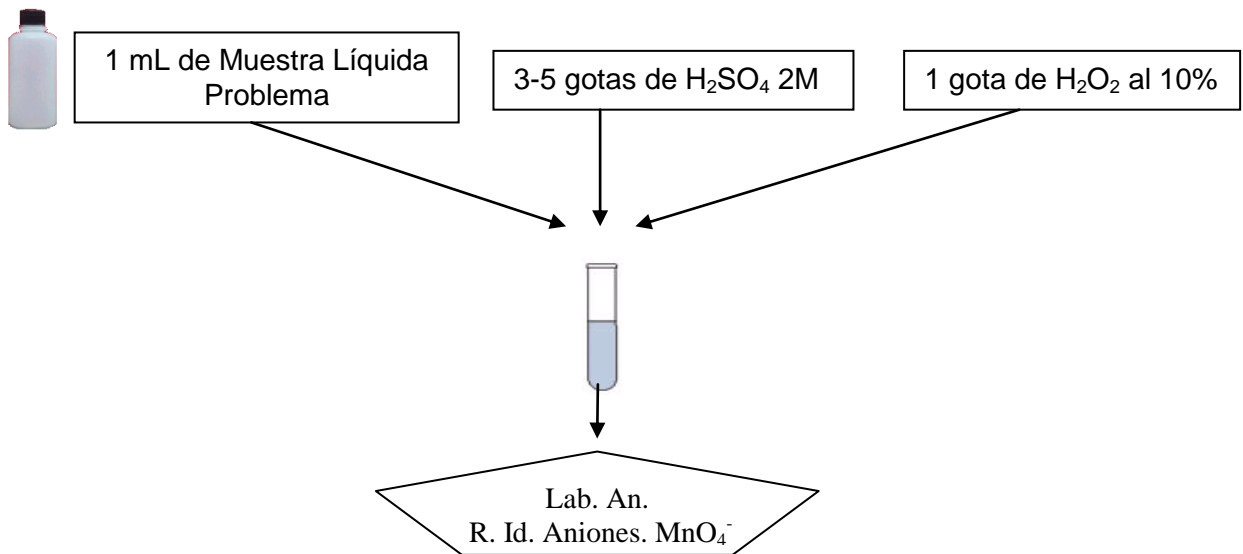
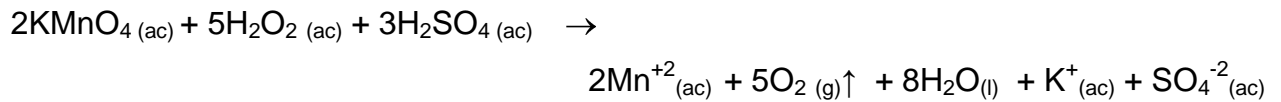


Figura 39. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica

Práctica: Análisis Cualitativo. Identificación de Aniones en Muestra Líquida

Experimento: Pruebas Preliminares. Prueba para Iones Reductores.

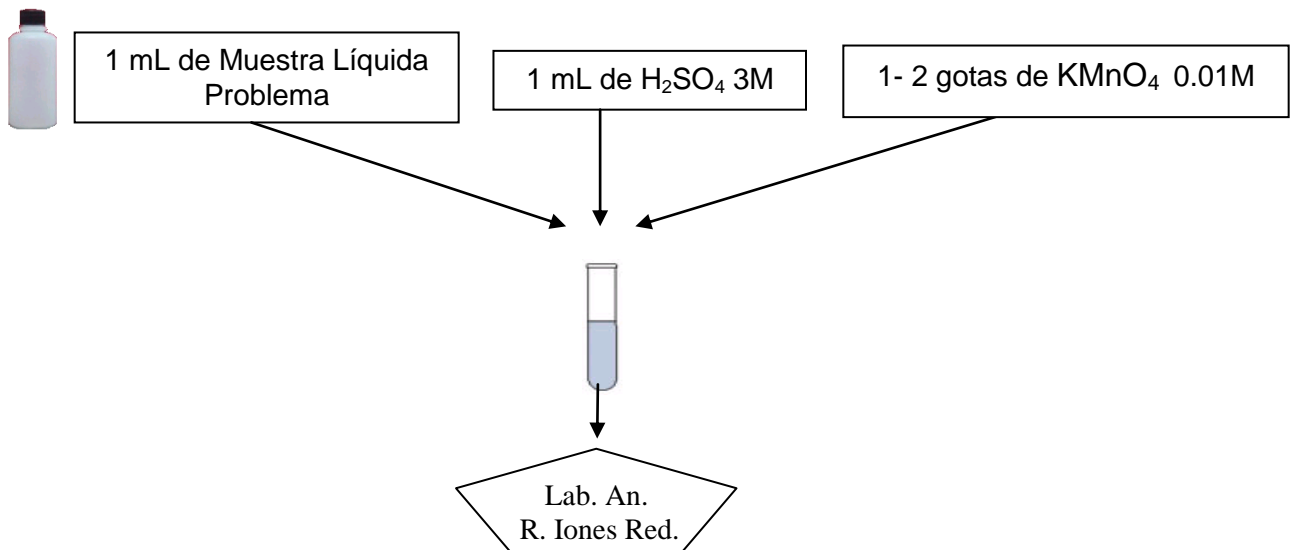
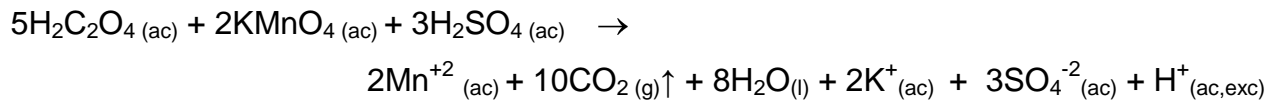


Figura 40. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Analítica

Práctica: Análisis Cualitativo. Identificación de Aniones en Muestra Líquida

Experimento: Pruebas Preliminares. Prueba para Compuestos Azufrados.

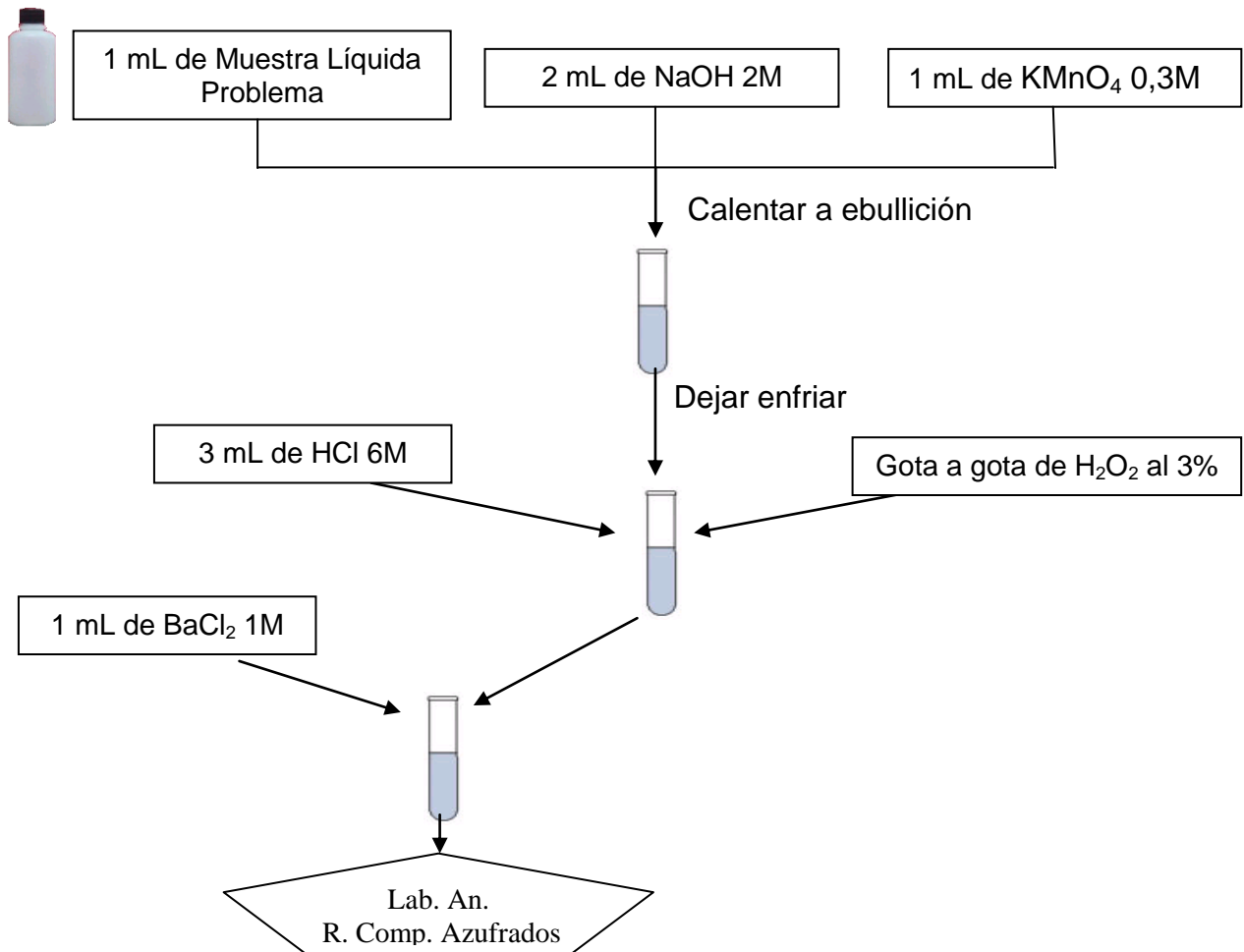
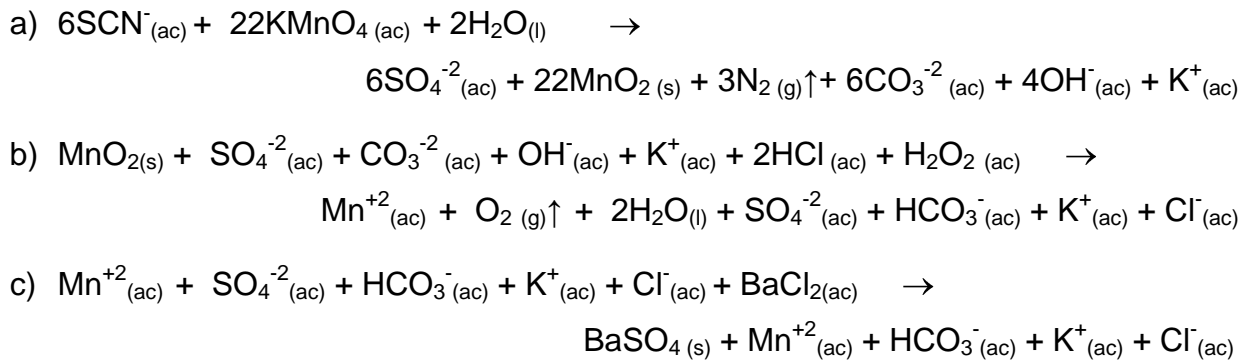


Figura 41. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Práctica de Métodos de Análisis por Fotocolorimetría

Experimento. Determinación de Manganeso como Permanganato

a) Preparación de los Patrones

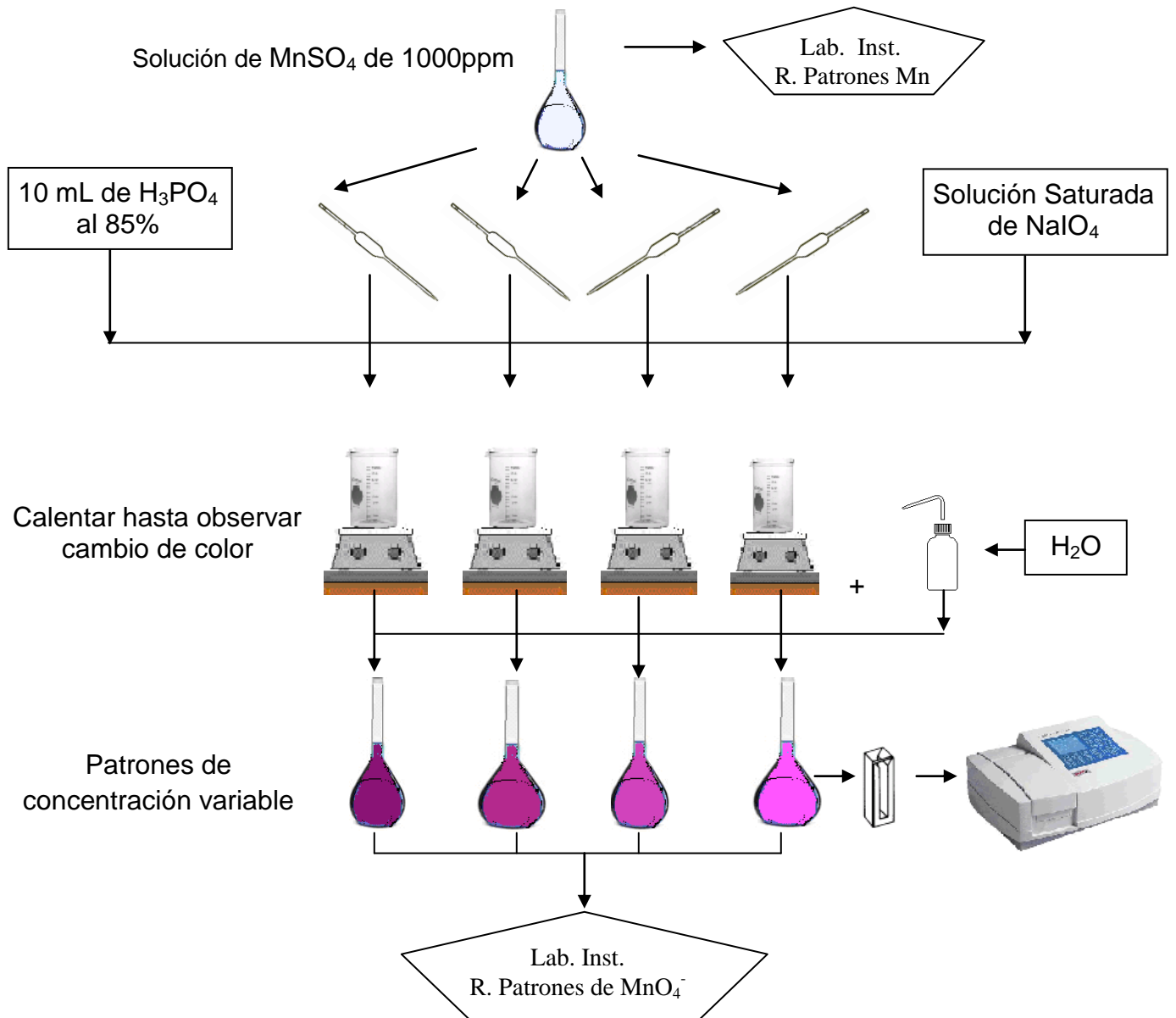
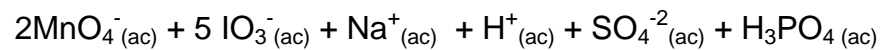
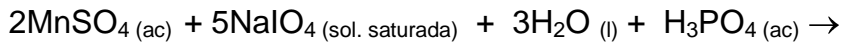


Figura 42. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Práctica de Métodos de Análisis por Fotocolorimetría

Experimento. Determinación de Manganeso como Permanganato

b) Tratamiento de la Muestra Sintética. Oxidación de la Solución

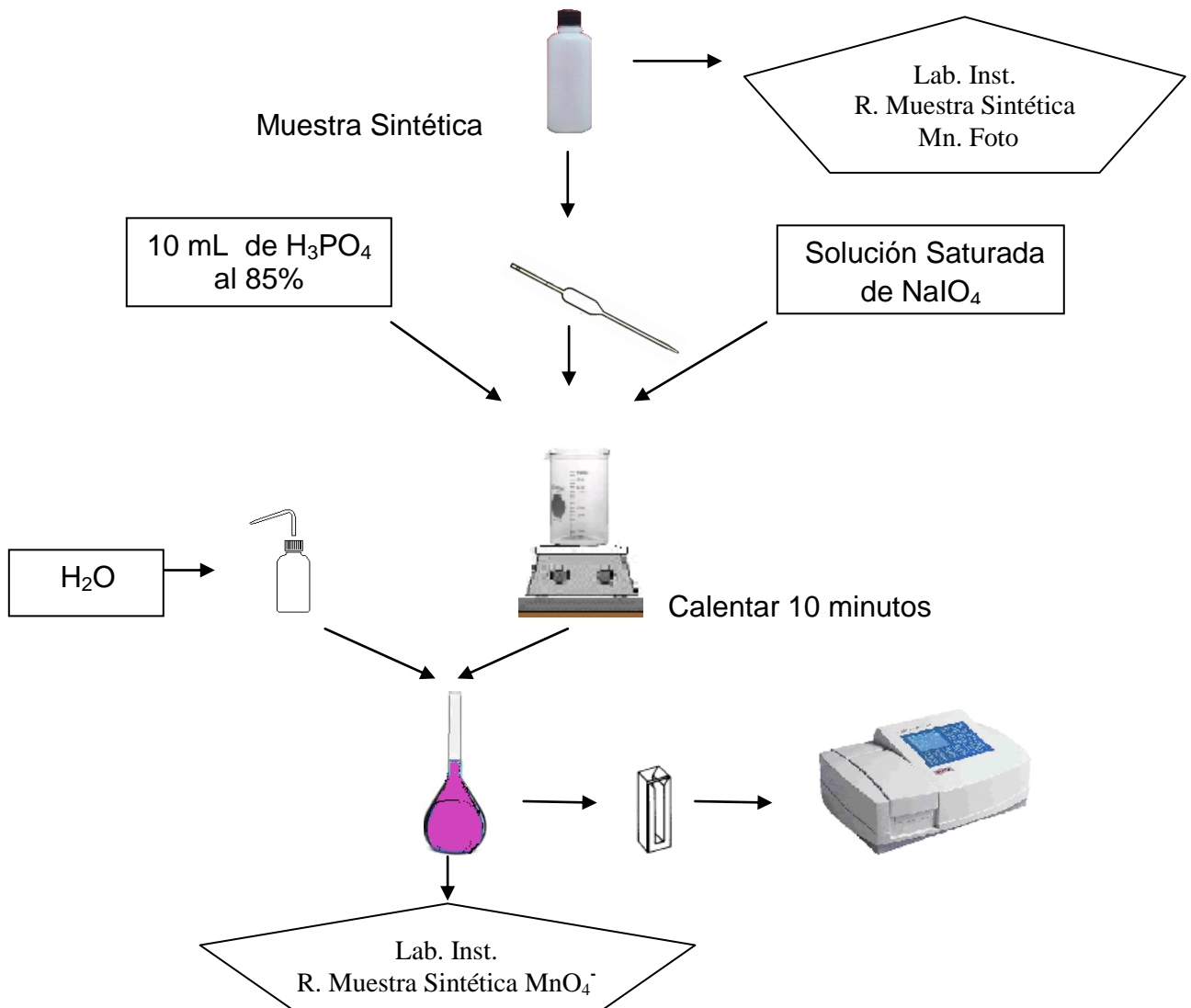
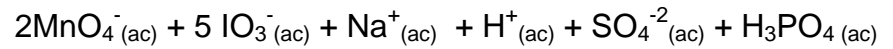
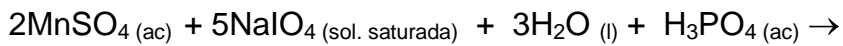


Figura 43. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Prácticas: Métodos de Análisis por Fotocolorimetría y por Absorción Atómica con Llama
 Experimentos: Determinación de Manganeso en una Muestra Real

c) Tratamiento de la Muestra Real de Acero. Disolución del Acero:

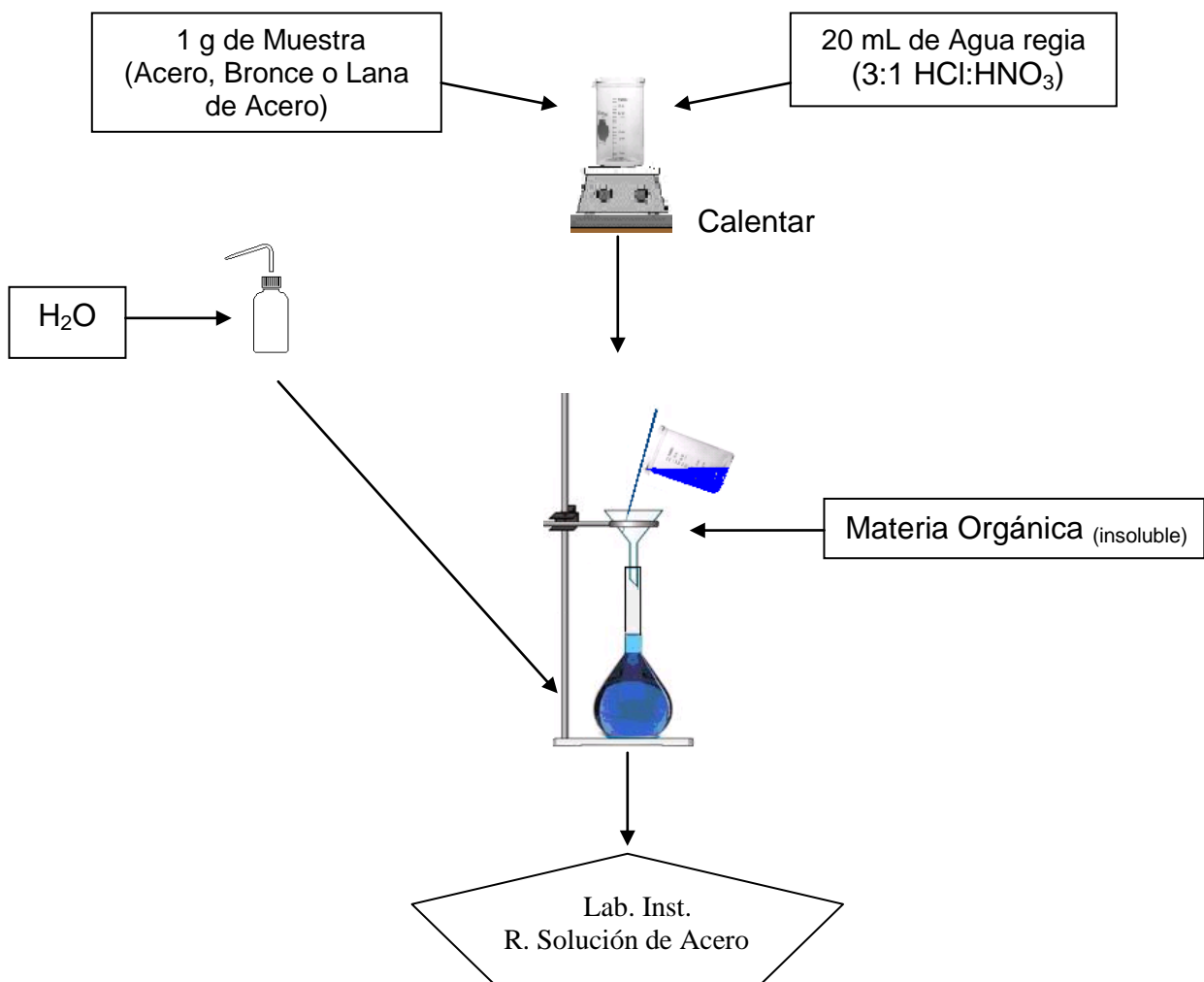
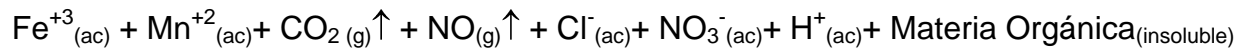
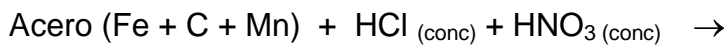


Figura 44. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Práctica de Métodos de Análisis por Fotocolorimetría

Experimento. Determinación de Manganeso como Permanganato

d) Tratamiento de la Muestra Real de Acero. Oxidación de la Solución.

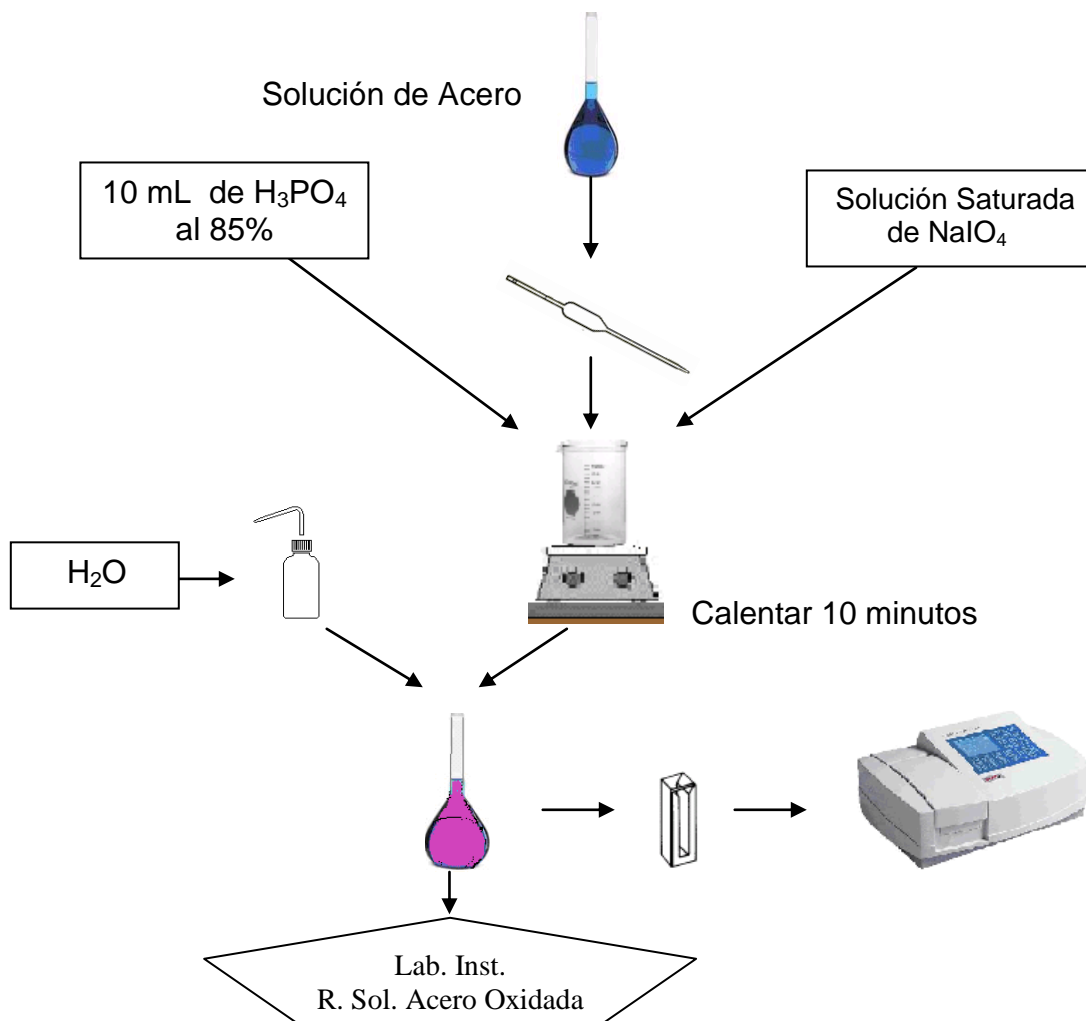
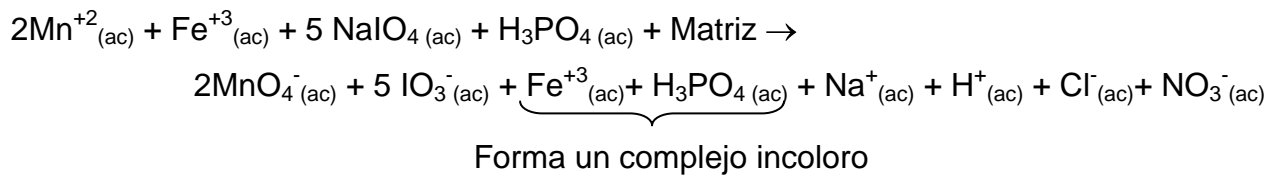


Figura 45. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Práctica de Métodos de Análisis por Absorción Atómica con Llama

Experimento. Determinación de Manganeso

a) Preparación de los Patrones de Manganeso para Curva de Calibración Externa

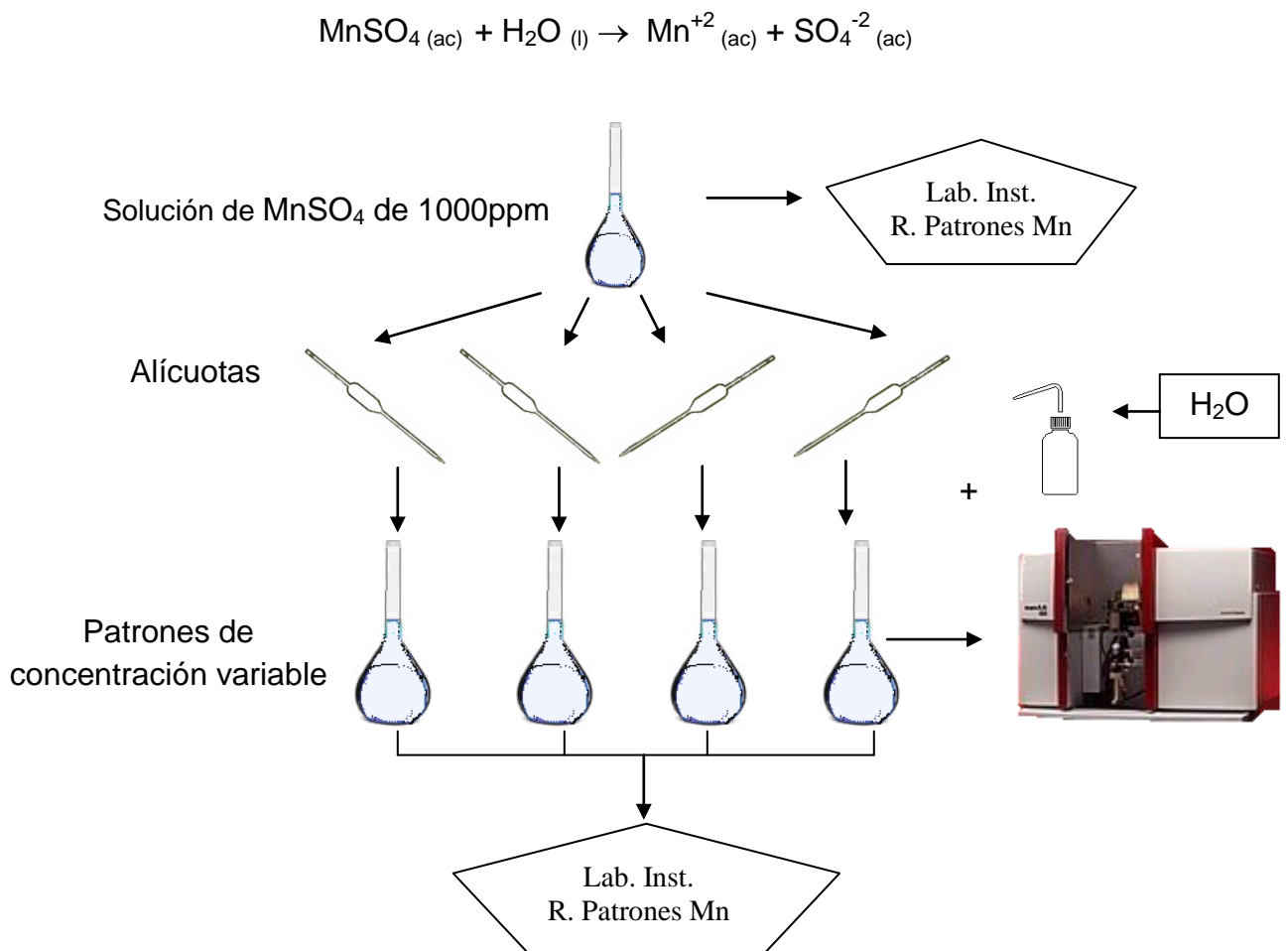
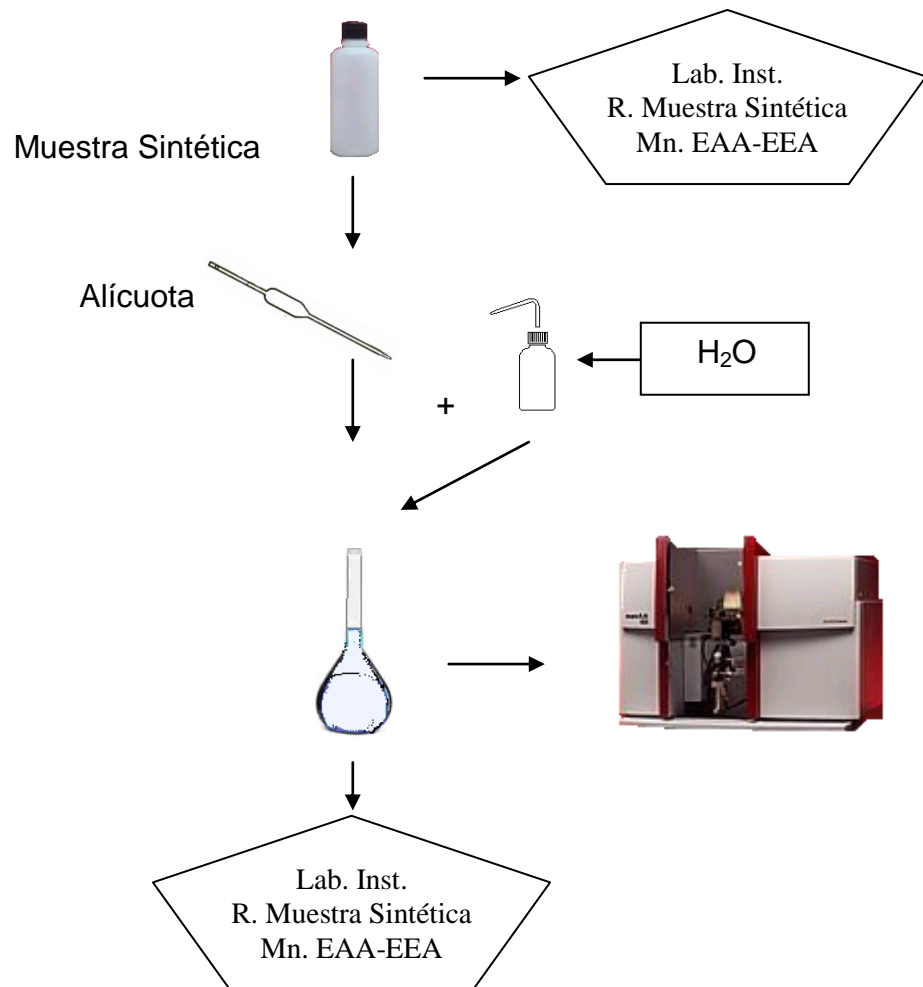
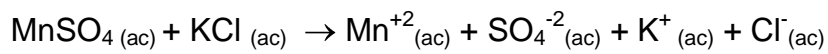


Figura 46. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Práctica de Métodos de Análisis por Absorción Atómica con Llama

Experimento. Determinación de Manganeso

b) Tratamiento de la Muestra Sintética. Diluciones



c) Tratamiento de la Muestra Real de Acero. Disolución del Acero: (Ver Figura 43)

Figura 47. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Instrumental Analítico

Prácticas: Métodos de Análisis por Absorción Atómica con Llama

Experimentos: Determinación de Manganeso en una Muestra Real

d) Preparación de Patrones de Manganeso para Curva de Adición Estándar

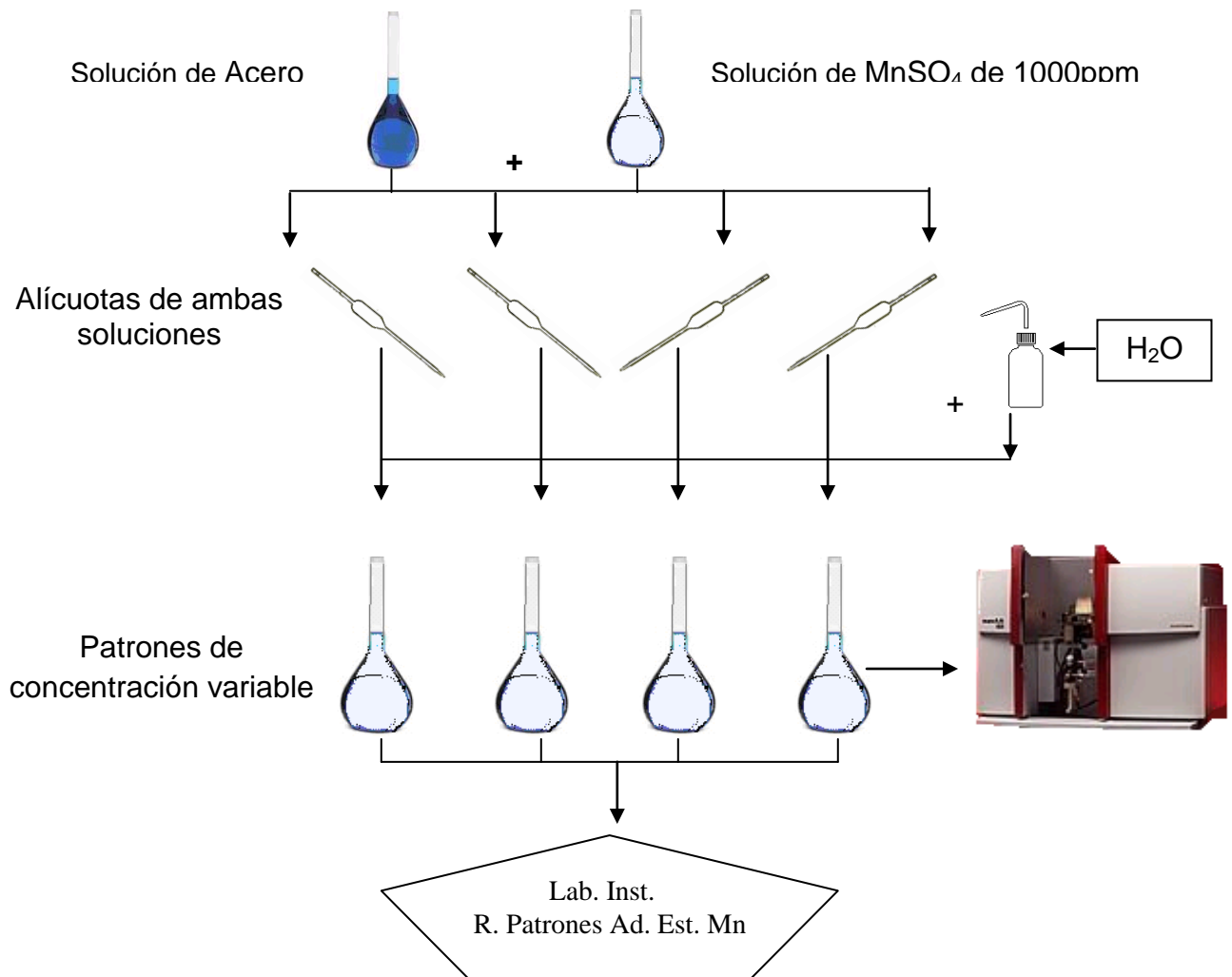
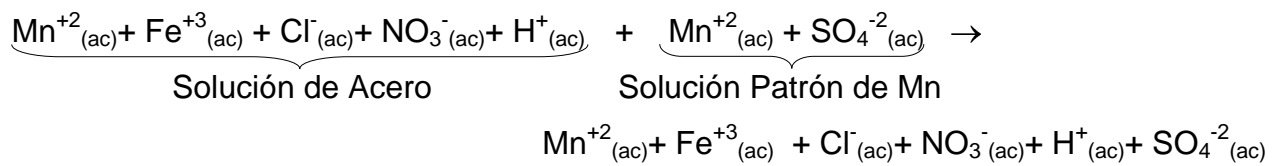


Figura 48. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Orgánica I

Práctica: Aplicación de las Pruebas de Clasificación.

Experimento: Prueba para Insaturaciones Etilénicas y Acetilénicas. Prueba de Baeyer

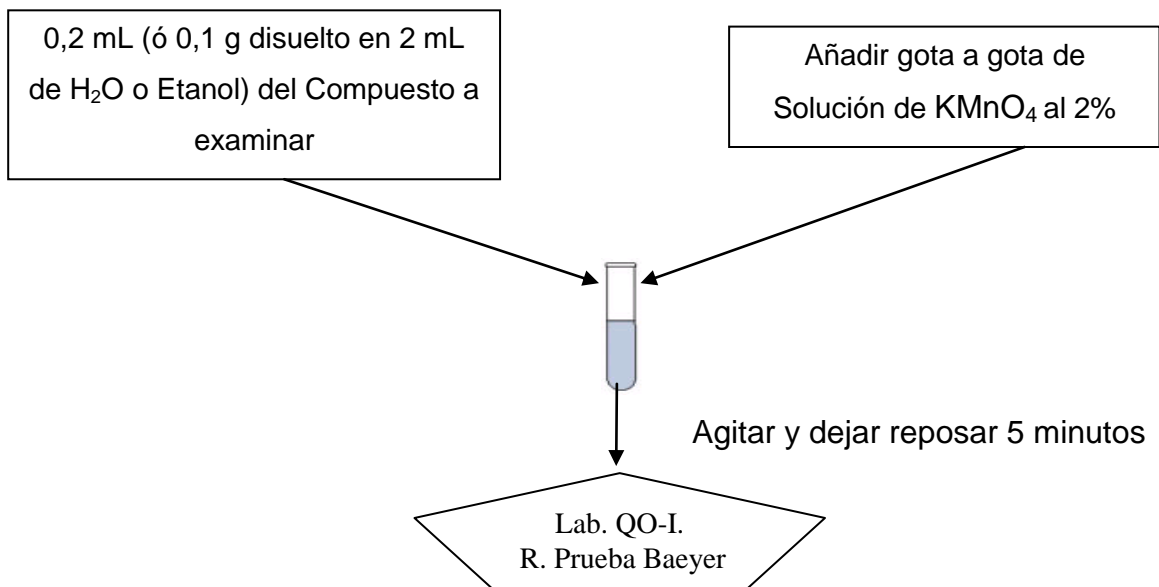
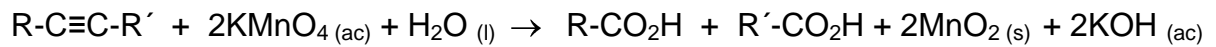
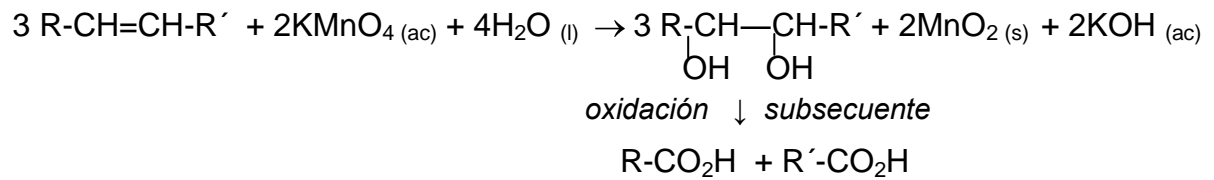


Figura 49. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Orgánica II

Práctica 6. Reacciones de Oxidación. Síntesis de Ciclohexanona y Acido Adípico a partir de Ciclohexanol. Síntesis del Nylon 6-6

Experimento 7. Oxidación de Ciclohexanona hasta Acido Adípico con Permanganato de Potasio

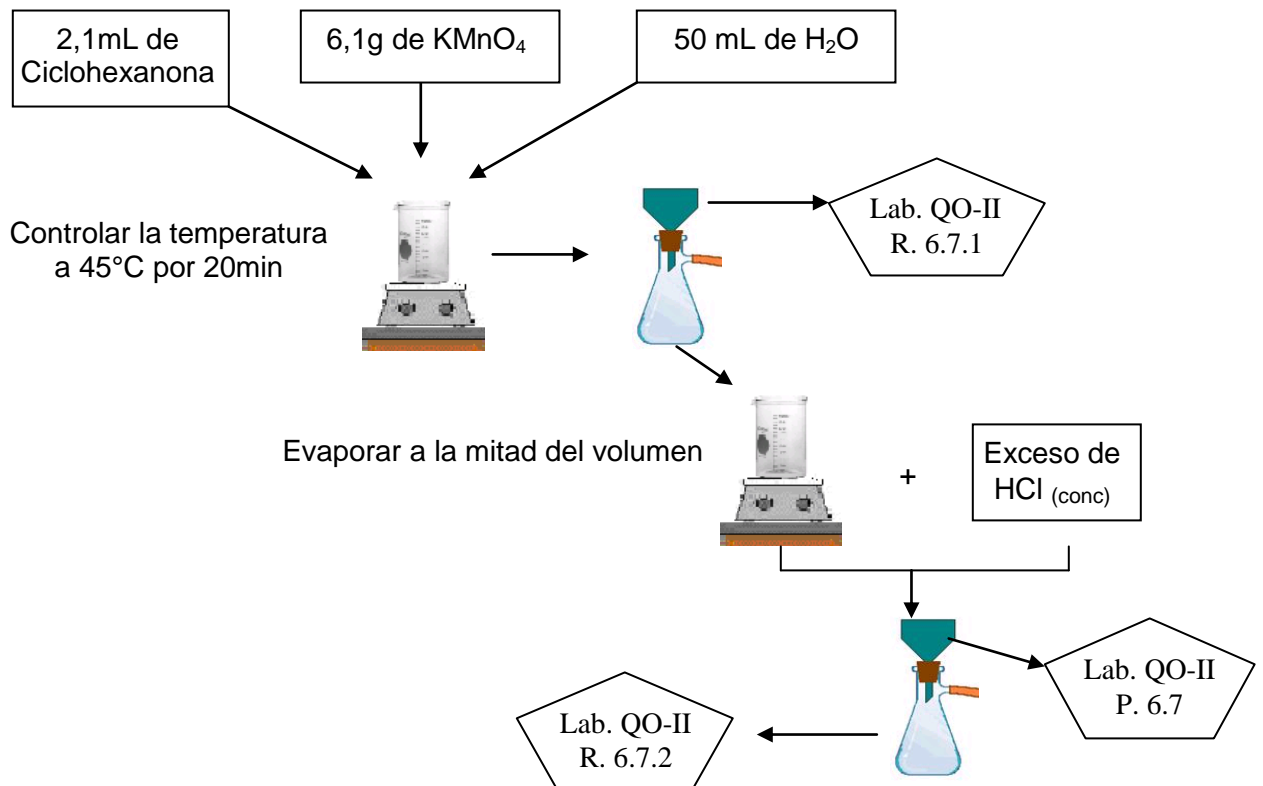
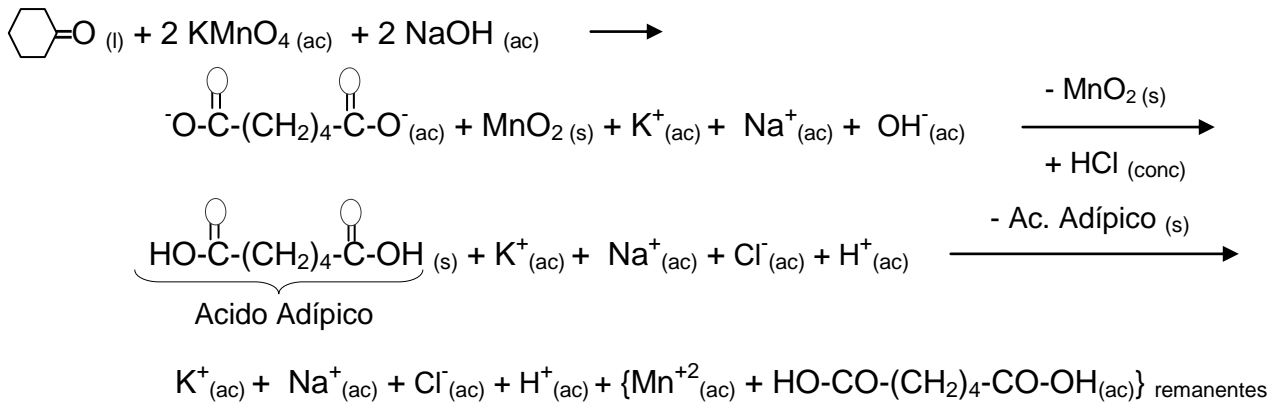
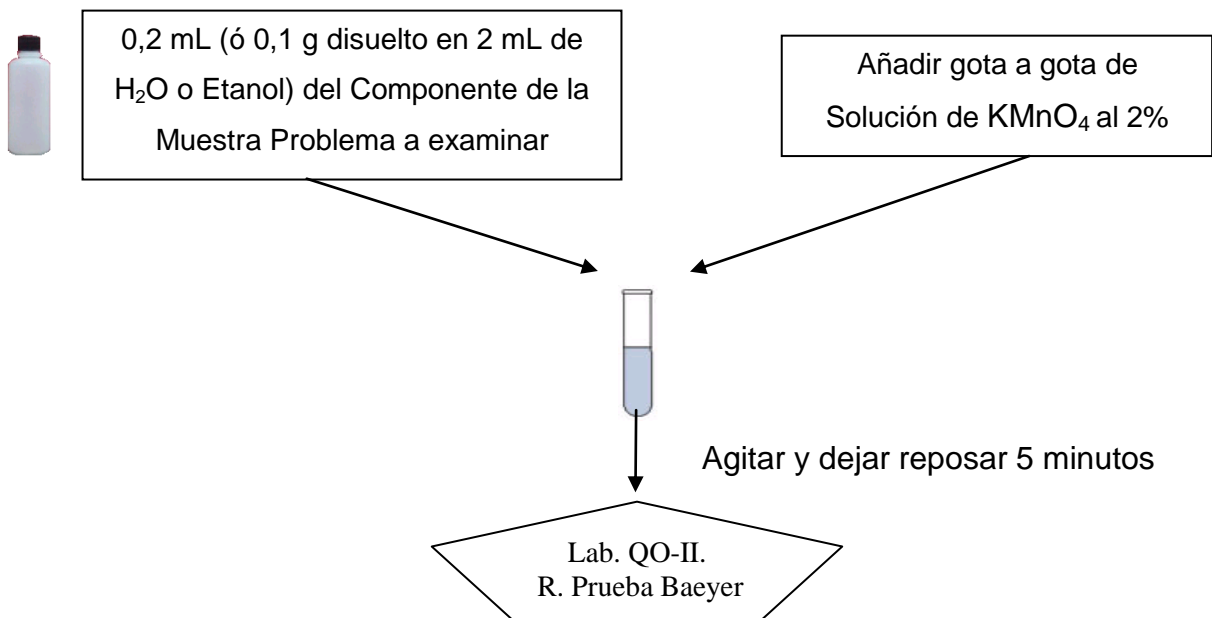
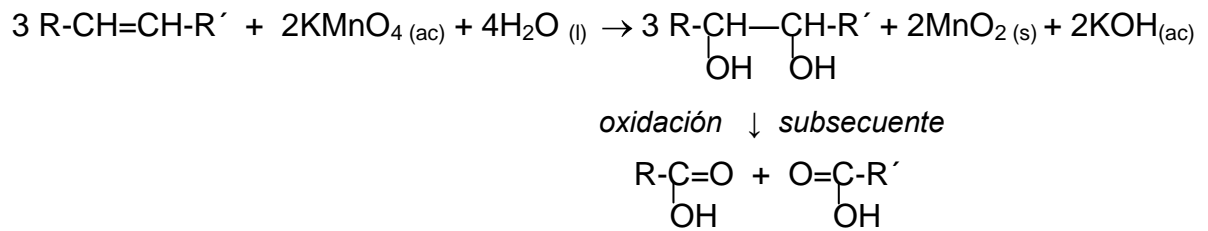


Figura 50. Esquema de las prácticas del Laboratorio de Química Orgánica II

Práctica: Análisis Orgánico de una Muestra Problema

Experimento: Aplicación de las Pruebas de Clasificación. Prueba de Baeyer.



5.2.2.- Recolección, Cuantificación y Clasificación de los residuos de Permanganato de Potasio:

Durante el proceso de recolección se cuantificaron los residuos generados por cada vez que se efectuó el experimento y se puntualizaron sus características físicas y químicas como aspecto, color y pH, que se encuentran expuestas en las Tablas 14 - 18.

En estas tablas también se muestra el estudio que se hizo a partir de los esquemas de segregación mostrados anteriormente, donde se estableció la identificación completa del residuo que se pudo hacer fácilmente en base a la reacción de síntesis y la metodología seguida a nivel experimental, así se obtuvieron la especies químicas presentes y se investigó su correspondiente clasificación de peligrosidad y toxicidad según el Artículo 6 del Decreto 2 635 (código y pictograma de la ONU) y según la Unión Europea como se explicó en la metodología experimental.

De los 32 experimentos fueron excluidos los cuatro considerados en el Laboratorio de Analítica y los dos provenientes de la Prueba de Baeyer realizada en los Laboratorios I y II de Química Orgánica, debido a que éstos provienen de muestras incógnitas o muestras problema (mezclas de compuestos) que se le suministran a los estudiantes para que les practiquen dichas pruebas y por tanto no se conoce con certeza cuales son los componentes y cantidades que conforman esos residuos. Además, estos seis residuos no fueron recolectados ya que no son recogidos dentro del propio laboratorio sino que son diluidos con agua y descartados por el desagüe por emplearse pequeñas cantidades de Permanganato de Potasio.

Las concentraciones teóricas de Manganeso en dos de los residuos del Laboratorio de Analítica correspondientes a las pruebas preliminares para iones reductores (código R. Iones Red.) y para compuestos azufrados (código R. Comp. Azufrados), así como para la Prueba de Baeyer ejecutada en los Laboratorios I y II de

Orgánica (códigos Lab. QO-II. R. Prueba Baeyer y Lab. QO-I. Prueba Baeyer) están por debajo de 300 ppm para los residuos sin diluir. (Ver cálculos en el anexo H).

Los otros dos residuos del Laboratorio de Analítica provenientes de la identificación de aniones y cationes solo se toman en cuenta si la muestra problema esta conformada por sales de Manganeso, y en ese caso no se poseen datos de las cantidades añadidas de estas sales, por lo que no se puede realizar el cálculo teórico.

La concentración de Mn debe estar por debajo de 10 ppm para ser descartadas por el desagüe, según el Decreto 883, por ello cualquiera de estos residuos debería ser diluido 30 veces su volumen como mínimo para el contaminante Manganeso. La dilución sí se lleva a cabo en la práctica y con mayor cantidad de agua de la necesaria. Sin embargo, existen ocasiones en que la prueba ejecutada con Permanganato de Potasio resulta negativa, por lo que éste permanece sin reaccionar y aunque la solución sea diluida no se elimina el carácter oxidante de la misma.

En ninguno de los casos se recomienda verter por el desagüe estos seis residuos, debido que el Manganeso no es el único contaminante presente, sino que en el caso del Laboratorio de Analítica, consiste de mezclas de varias especies en su mayoría de naturaleza inorgánica y en los Laboratorios de Orgánica, las mezclas son aún de mayor cuidado por tratarse de una amplia cantidad de sustancias orgánicas a las que se le practica la prueba.

Para estos residuos se recomienda que cada uno de estos tres laboratorios planteé una gestión interna en base a la composición de las muestras preparadas para trabajar. Algunos aspectos generales pueden ser: añadir un agente reductor en los casos que el KMnO_4 no haya reaccionado; en la Prueba de Baeyer se puede separar la fase orgánica de la inorgánica y tratarlas por separado, etc. Este trabajo puede servir de guía para el tratamiento de la especie Manganeso.

A continuación se presentan las tablas 14 -18 con la información citada anteriormente:

Tabla 14. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Principios de Química.
















Código del Residuo	Composición Química Aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. PQ R.3.1	MnO_4^- (ac), K^+ (ac)	21 mL	Violeta Homogéneo pH= 7	H5.1 Oxidante	1490 	 O  X _n  N	Vidrio color ámbar de 950 mL
Lab. PQ R.3.2.A.a	Mn^{+2} (ac), K^+ (ac) H^+ (ac), SO_4^{-2} (ac)	6 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H8 Corrosivo H9 Misceláneos	1830, 3077  	 X _n  N  C	Vidrio 950 mL
Lab. PQ R.3.2.A.b	MnO_4^- (ac), K^+ (ac), H^+ (ac), SO_4^{-2} (ac)	6 mL	Violeta Homogéneo pH= 1	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1490, 1830  	 O  X _n  N  C	Vidrio color ámbar de 950 mL

Tabla 14. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Principios de Química.
(Continuación)


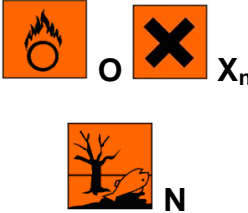

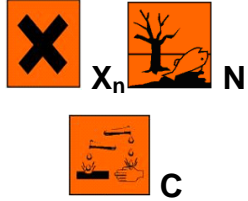

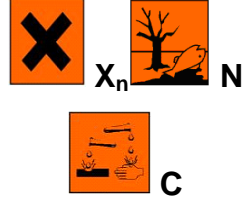
Código del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. PQ R.9.1	MnO_4^- (ac), K^+ (ac) 0,02M	100 mL	Violeta Homogéneo pH= 7	H5.1 Oxidante	1490 		Vidrio color ámbar de 950 mL
Lab. PQ R.9.2	Mn^{+2} (ac), K^+ (ac), Na^+ (ac) H^+ (ac), SO_4^{-2} (ac)	200 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H8 Corrosivo H9 Misceláneos	1830, 3077 		Vidrio 950 mL
Lab. PQ R.9.3	Mn^{+2} (ac), Fe^{+3} (ac) H_3PO_4 (ac), SO_4^{-2} (ac) H^+ (ac), K^+ (ac)	200 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H8 Corrosivo H9 Misceláneos	1805, 1830, 3077 		Vidrio 950 mL

Tabla 15. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Inorgánica I


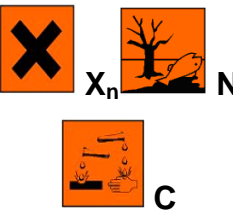

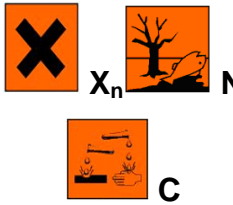

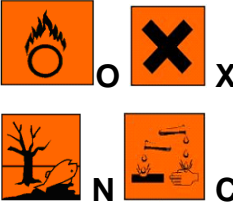
Código del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. QI-I R. 6.5	$Mn^{+2}_{(ac)}$, $Sb^{+5}_{(ac)}$, $SO_4^{-2}_{(ac)}$, $Cl^{-}_{(ac)}$, $H^{+}_{(ac)}$, $K^{+}_{(ac)}$	500 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H6.1 Veneno H8 Corrosivo H9 Misceláneos	3288,1730,1789, 1830, 3077 		Vidrio 950 mL
Lab. QI-I R. 9.1.5. a	$Mn^{+2}_{(ac)}$, $K^{+}_{(ac)}$ $H^{+}_{(ac)}$, $SO_4^{-2}_{(ac)}$	6 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H8 Corrosivo H9 Misceláneos	1830, 3077 		Vidrio 950 mL
Lab. QI-I R. 9.1.5. b	$MnO_4^{-2}_{(ac)}$, $K^{+}_{(ac)}$ $OH^{-}_{(ac)}$, $Na^{+}_{(ac)}$	3 mL	Violeta Homogéneo pH= 12	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1490, 1813 		Vidrio color ámbar de 950 mL

Tabla 15. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Inorgánica I (Continuación)

Código del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. QI-I R. 9.3.B. I	MnO_4^- (ac), H^+ (ac) K^+ (ac), SO_4^{2-} (ac) Ag^+ (ac), NO_3^- (ac)	4 mL	Violeta Homogéneo pH= 2	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1490,1493,1830 2031, 1486, 1482 		Vidrio color ámbar de 950 mL
Lab. QI-I R. 9.3.B. II	MnO_2 (s), H^+ (ac), SO_4^{2-} (ac) Ag^+ (ac), NO_3^- (ac)	4 mL	Solución Heterogénea; Liq. Incoloro Sólido marrón pH= 2	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1830,1493, 2031 		Vidrio 950 mL
Lab. QI-I R. 9.3.C. I	MnO_4^- (ac), K^+ (ac), H^+ (ac), $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ (ac), SO_4^{2-} (ac)	4 mL	Violeta Homogéneo pH= 1	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1490, 1830, 1492 		Vidrio color ámbar de 950 mL

Tabla 15. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Inorgánica I (Continuación)



Código Del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. QI-I R. 9.3.C. II	$Mn^{+2}_{(ac)}$, $K^{+}_{(ac)}$ $SO_4^{-2}_{(ac)}$	4 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H9 Misceláneos	3077 	 X _n  N	Vidrio 950 mL
Lab. QI-I R. 9. 4	$MnO_2(s)$, $Mn^{+2}_{(ac)}$	6 mL	Solución heterogénea; Liq. incoloro Sólido negro pH= 6	--	Sustancia no peligrosa	 X _n	Vidrio 950 mL
Lab. QI-I R. 10. 3. I	$MnO_2(s)$	12 g	Sólido marrón	--	Sustancia no peligrosa	 X _n	Vidrio 950 mL

Tabla 15. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Inorgánica I (Continuación)

Código Del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. QI-I R. 10. 3. II	Mn ⁺² _(ac) , IO ₃ ⁻ _(ac) , I ⁻ _(ac) , CH ₃ COO ⁻ _(ac) , K ⁺ _(ac) , H ⁺ _(ac)	220 mL	Incoloro Homogéneo Olor a vinagre pH= 5	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1479, 2789 		Vidrio 950 mL
Lab. QI-I P. 10. 3	KIO ₃ (s)	10 g	Sólido blanco	H5.1 Oxidante	1479 		Vidrio 120 mL

Tabla 16. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Fisicoquímica Integrado









Código del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. FQ R.Ox.Al.Ben	Mn ⁺² _(ac) , H ⁺ _(ac) PhCOH _(ac) , PhCH ₂ OH _(ac) SO ₄ ⁻² _(ac) , K ⁺ _(ac)	200 mL	Incoloro Homogéneo Olor: característico pH= 2	H9 Misceláneos	3077, 1990 	 X _n  N	Vidrio 950 mL
Lab. FQ R.Cin, Enz.	Mn ⁺² _(ac) , K ⁺ _(ac) , SO ₄ ⁻² _(ac) , H ⁺ _(ac) Sangre/EDTA	2 200 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H8 Corrosivo H9 Misceláneos	1830, 3077  	 C  X _n  N	Vidrio 2,5 L

Tabla 17. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Instrumental Analítico


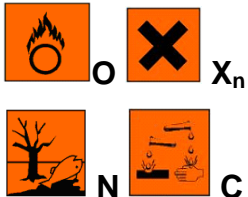

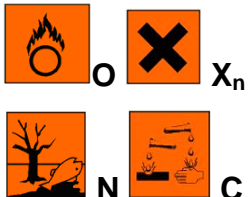

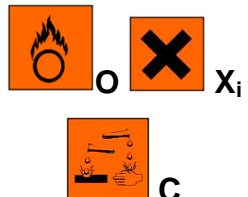
Código Del Residuo	Composición Química Aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. Inst. R. Patrones de MnO_4^- . Foto	MnO_4^- (ac), Na^+ (ac) H_3PO_4 (ac), H^+ (ac) IO_3^- (ac), SO_4^{2-} (ac)	400 mL	Violeta Homogéneo pH= 1	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1490,1479,1805 1830 		Vidrio color ámbar de 950 mL
Lab. Inst. R. Muestra Sintética MnO_4^- . Foto	MnO_4^- (ac), Na^+ (ac) H_3PO_4 (ac), H^+ (ac), IO_3^- (ac), SO_4^{2-} (ac)	300 mL	Violeta Homogéneo pH= 1	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1479, 2789 		Vidrio color ámbar de 950 mL
Lab. Inst. R. Solución de Acero. Foto y EAA	Fe^{+3} (ac), Mn^{+2} (ac), Cl^- (ac), NO_3^- (ac), H^+ (ac)	300 mL	Amarilla Homogéneo pH= 1	H5.1 Oxidante H6.1 Veneno H8 Corrosivo	2031, 2724, 1466, 3288, 3260,1789 		Vidrio 950 mL

Tabla 17. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Instrumental Analítico.
(Continuación)


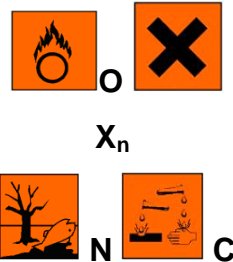




Código Del Residuo	Composición Química Aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. Inst. R. Sol. Acero Oxidada. Foto	MnO_4^- (ac), IO_3^- (ac), Fe^{+3} (ac) H_3PO_4 (ac), Na^+ (ac), Cl^- (ac) NO_3^- (ac), H^+ (ac)	300 mL	Violeta Homogéneo pH= 1	H5.1 Oxidante H8 Corrosivo	1490,1479,1805 	 O X _n N C	Vidrio color ámbar de 950 mL
Lab. Inst. R. Patrones de Mn. Foto y EAA	Mn^{+2} (ac) SO_4^{-2} (ac)	1 L	Incoloro Homogéneo pH= 7	H9 Misceláneos	3077 	 X _n N	Vidrio 950 mL
Lab. Inst. R. Muestra Sintética Mn. Foto	Mn^{+2} (ac), SO_4^{-2} (ac)	100 mL	Incoloro Homogéneo pH= 7	H9 Misceláneos	3077 	 X _n N	Vidrio 950 mL

Tabla 17. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Instrumental Analítico.
(Continuación)




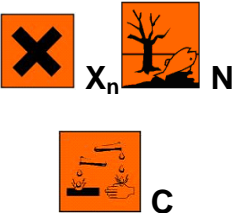







Código Del Residuo	Composición Química Aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. Inst. R. Muestra Sintética Mn. EAA-EEA	$Mn^{+2}_{(ac)}$, $SO_4^{-2}_{(ac)}$, $K^{+}_{(ac)}$, $Cl^{-}_{(ac)}$	300 mL	Incoloro Homogéneo pH= 7	H6.1 Veneno H9 Misceláneos	3288, 3077 		Vidrio 950 mL
Lab. Inst. R. Patrones Ad. Est. Mn EAA	$Mn^{+2}_{(ac)}$, $Fe^{+3}_{(ac)}$, $Cl^{-}_{(ac)}$, $NO_3^{-}_{(ac)}$, $H^{+}_{(ac)}$, $SO_4^{-2}_{(ac)}$	400 mL	Incoloro Homogéneo pH= 4	H8 Corrosivo H9 Misceláneos	1830, 1789, 3077 		Vidrio 950 mL

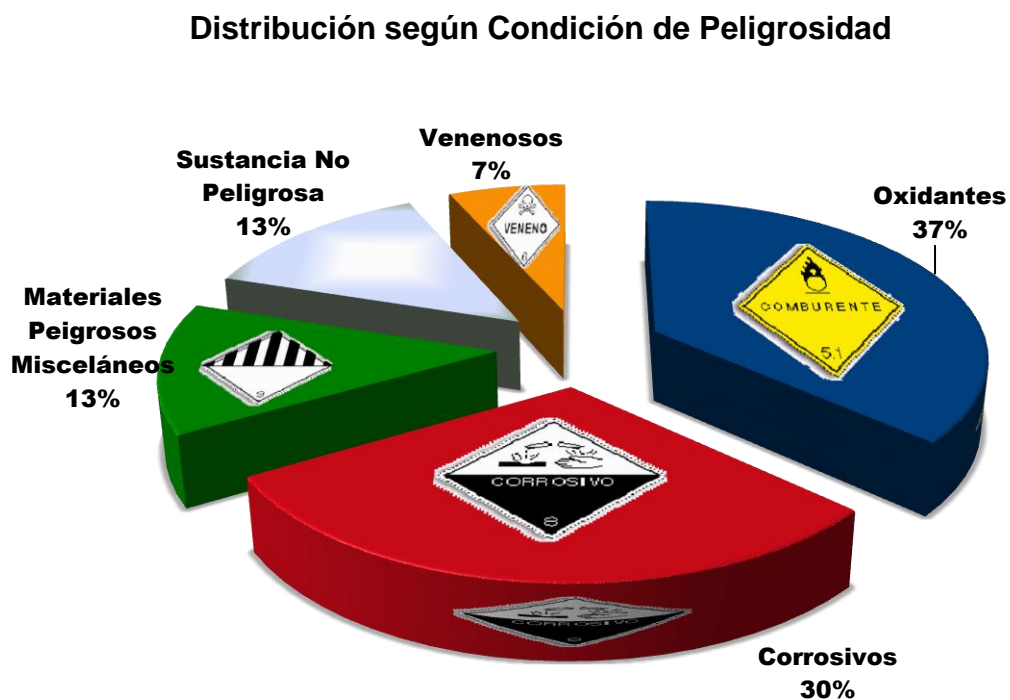
Tabla 18. Información asociada a los residuos generados en el Laboratorio de Química Orgánica II

Código del Residuo	Composición Química aproximada	Cantidad aproximada por experimento	Características: Color, Aspecto y pH	Clasificación de Peligrosidad según:			Contenedor: Material Y Capacidad
				Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea	
				Código	Pictograma de la ONU		
Lab. QO-II R. 6.7.1	MnO ₂ (s)	6 g	Sólido marrón	--	Sustancia no peligrosa	 X _n	Vidrio 950 mL
Lab. QO-II P.6.7	$\begin{array}{c} \text{CO}_2\text{H} \\ \\ (\text{CH}_2)_4 \\ \\ \text{CO}_2\text{H}_{(s)} \end{array}$ <i>Ácido Adípico</i>	2,52 g	Sólido blanco	--	Sustancia no peligrosa	 X _i	Vidrio 120 mL
Lab. QO-II R.6.7.2	K ⁺ _(ac) , Na ⁺ _(ac) , Cl ⁻ _(ac) , H ⁺ _(ac) , {Mn ⁺² _(ac) , Ácido Adípico _(ac) } _{remanente}	49 mL	Incoloro Homogéneo pH= 1	H8 Corrosivo H6.1 Veneno	1789, 3288  	  X _n  X _i	Vidrio 950 mL

De las tablas anteriores se puede resaltar, con respecto a la clasificación de peligrosidad conforme lo establece el Artículo 6 del Decreto 2.635 ^[15], que de un total de 30 residuos, 11 son oxidantes, 9 son corrosivos, 2 son venenosos, 4 son materiales peligrosos misceláneos y 4 son sustancias consideradas no peligrosas, tomando la clasificación de mayor jerarquía en cada residuo.

En la gráfica inferior se aprecia la distribución porcentual de los residuos en cada clasificación, donde se visualiza rápidamente que la mayoría está representada por un 37% de residuos oxidantes y 30% de residuos corrosivos.

Figura 51. Distribución de los residuos según su grado de peligrosidad.



5.2.3.- Etiquetado de los residuos de Permanganato de Potasio:

En las tablas anteriores se dispone de la identificación completa de cada residuo, toda esta información se empleó para efectuar el etiquetado en el que se incluyeron los aspectos mencionados en la metodología experimental. Las etiquetas empleadas en los residuos de este trabajo se encuentran en el anexo I.

5.3.- Propuesta de recuperación y tratamiento de los residuos generados:

Al observar los esquemas de segregación se encuentran que existen ensayos que se repiten para diferentes experiencias y en diferentes laboratorios, el caso más notable es la neutralización de Permanganato de Potasio con Peróxido de Hidrógeno o con Ácido Oxálico, que es realizado en titulaciones y en estudios comparativos de propiedades oxidantes, entre otras. Por ello se consideró hacer una agrupación de los residuos. Así se determinó que algunos de los residuos podían ser mezclados por estar constituidos por las mismas especies químicas.

Al realizar esta agrupación se evitó tener mezclas de residuos incompatibles, es decir, que reaccionen violentamente o exotérmicamente, que generen subproductos indeseables, que aumenten el grado de peligrosidad del residuo y mezclas que pudieran reducir el potencial de reciclaje y reutilización. Básicamente se mezclaron residuos con la misma composición química. También se decidió hacer una mezcla de todos estos residuos para estudiar el caso en que no sean recolectados de manera segregada.

A continuación en la tabla 19 se muestran los códigos de los residuos agrupados y la composición química de la mezcla

Tabla 19. Agrupaciones de los residuos

Número del Residuo	Código del Residuo	Composición Química del Residuo
1	Lab PQ R 3.1 Lab PQ R 3.2.A.b Lab PQ R 9.1	$\text{MnO}_4^-_{(ac)} + \text{SO}_4^{2-}_{(ac)} + \text{H}^+_{(ac)} + \text{K}^+_{(ac)}$
2	Lab. PQ R.3.2.A.a Lab. QI-I R. 9.1.5.a Lab. QI-I R. 9.3.C.II Lab. QI-I R.9.4 (fase líquida) Lab. Inst. R. Patrones Mn Lab. Inst. R. Muestra Sintética Mn	$\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + \text{SO}_4^{2-}_{(ac)} + \text{H}^+_{(ac)} + \text{K}^+_{(ac)}$
3	Lab. PQ R. 9.2 Lab. FQ R.Cin, Enz.	$\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + \text{SO}_4^{2-}_{(ac)} + \text{H}^+_{(ac)} + \text{K}^+_{(ac)} + \text{Na}^+_{(ac)} + \text{Sangre/EDTA}$
4	Lab. QI-I R. 9.1.5.b	$\text{MnO}_4^{2-}_{(ac)} + \text{K}^+_{(ac)} + \text{Na}^+_{(ac)} + \text{OH}^-_{(ac)}$
5	Lab. QI-I R. 9. 3. C. I	$\text{MnO}_4^-_{(ac)} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-}_{(ac)} + \text{K}^+_{(ac)} + \text{H}^+_{(ac)} + \text{SO}_4^{2-}_{(ac)}$
6	Lab. FQ R.Ox.Al.Ben	$\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + \text{PhCOH}_{(ac)} + \text{PhCOH}_2_{(ac)} + \text{H}^+_{(ac)} + \text{K}^+_{(ac)} + \text{SO}_4^{2-}_{(ac)}$
7	Lab. QO-II R. 6.7.2	$\{\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + \text{HO}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}_2\text{H}_{(ac)}\}_{\text{remanentes}} + \text{K}^+_{(ac)} + \text{Na}^+_{(ac)} + \text{Cl}^-_{(ac)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

Tabla 19. Resumen de los residuos (Continuación)

Número del Residuo	Código del Residuo	Composición Química del Residuo
8	Lab. QI-I R. 10. 3. II	$\{Mn^{+2}_{(ac)} + IO_3^{-}_{(ac)} + I^{-}_{(ac)} + CH_3CH_2OH_{(ac)}\}_{remanentes} + K^{+}_{(ac)} + CH_3COO^{-}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)}$
9	Lab. QI-I R. 9. 3. B. I Lab. QI-IR. 9.3.B.II (fase líquida)	$Mn^{-2}_{(ac)} + H^{+}_{(l)} + K^{+}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + Ag^{+}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)}$
10	Lab. QI-I R. 6.5	$Mn^{+2}_{(ac)} + Sb^{+5}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)}$
11	Lab. PQ R. 9.3 Lab. Inst. R. Solución de Acero Lab. Inst. R. Patrones Ad. Est. Mn	$Mn^{+2}_{(ac)} + Fe^{+3}_{(ac)} + H_3PO_4_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)}$
12	Lab. Inst. R. Patrones MnO_4^{-} Lab. Inst. R. Muestra Sintética MnO_4^{-} Lab. Inst. R. Sol. Acero Oxidada	$MnO_4^{-}_{(ac)} + IO_3^{-}_{(ac)} + Fe^{+3}_{(ac)} + H_3PO_4_{(ac)} + K^{+}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)} + Na^{+}_{(ac)}$
13	Mezcla de todos los residuos	$Mn^{+2}_{(ac)} + Fe^{+3}_{(ac)} + Sb^{+5}_{(ac)} + IO_3^{-}_{(ac)} + Ag^{+}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + PO_4^{-3}_{(ac)} + Na^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)} + CH_3CO_2H_{(ac)} + PhCOH_{(ac)} + PhCO_2H_{(ac)} + Sangre/EDTA + HO-CO-(CH_2)_4-CO_2H_{(ac)}$

Tabla 19. Resumen de los residuos (Continuación)

Número del Residuo	Código del Residuo	Composición Química del Residuo
14	Lab. QI-I R. 9.3.B.II (fase sólida) Lab. QI-I R. 9. 4 (fase sólida) Lab. QI-I R. 10. 3. I Lab. QO-II R. 6.7.1	MnO ₂ (sólido)

A partir de esta agrupación se estableció una nueva nomenclatura para los residuos a tratar, que consta del número de residuo asignado por la primera columna de la tabla anterior

A estos 14 residuos se les determinaron las especies químicas y parámetros que son regulados por el Decreto 883 en su sección V sobre vertidos líquidos a ser descargados a redes cloacales, estos fueron: Manganeseo, Hierro, Antimonio, Plata, Yodatos, Sulfatos, Fosfatos, Nitratos, Benzaldehído y pH. La determinación se realizó por medio de las técnicas de Espectroscopia de Absorción Atómica y Molecular, ésta última en el UV-Vis, Cromatografía de Intercambio Iónico y por titulación.

En la metodología experimental se encuentran los métodos químicos y fotolíticos de eliminación del Manganeseo que fueron preseleccionados, así como los métodos elegidos para el tratamiento del resto de las especies contaminantes sometidas a regulación. A continuación se realiza un análisis sobre estos tratamientos:

5.3.1.- Análisis de los procedimientos seleccionados para el tratamiento de los contaminantes en los 14 residuos:

Tratamiento de eliminación de Manganeso:

Varios procesos químicos se reportaron para el tratamiento de residuos de Manganeso (ver páginas 33-35), específicamente de oxido-reducción donde se mencionaron varios agentes reductores, oxidantes y precipitantes capaces de transformar a este elemento. En las tablas encontradas en la metodología experimental se presentaron los procedimientos experimentales para cada uno de estos tratamientos.

Considerando que los tratamientos de estos residuos serán planteados como una marcha analítica de varias especies contaminantes presentes en una misma solución, se debe tener en cuenta que para seleccionar un reactivo como agente oxidante, reductor o precipitante, éste debe reaccionar cuantitativamente con el analito, no debe introducir nuevas especies contaminantes a la solución y el exceso de reactivo debe poderse eliminar fácilmente puesto que, en general, el exceso de un reactivo en un paso previo causa interferencia en los siguientes.

Por lo anterior, los agentes reductores preseleccionados fueron el Oxalato de Sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) y el Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) ya que el exceso de estos reactivos se eliminan fácilmente por calentamiento (ver tablas 2 y 3). De estos dos agentes se descartó al Oxalato de Sodio porque presenta las desventajas de reaccionar lentamente a temperatura ambiente y generar Dióxido de Carbono como gas de descomposición, el cual es uno de los gases invernaderos por lo cual es no deseado. En cambio el Peróxido de Hidrógeno, aunque es un agente reductor débil, reacciona rápidamente a temperatura ambiente y produce Oxígeno como gas de

descomposición que es más bien beneficioso, aunque éste sea inflamable pero sólo a altas concentraciones.

En la lista de tratamientos oxidantes se encuentran cuatro agentes: Dióxido de Cloro, el Permanganato de Potasio, el Ozono y Peróxido de Hidrógeno, que son los que transforman al Manganeseo en Dióxido de Manganeseo MnO_2 . El Peróxido de Hidrógeno repite en esta lista por su carácter dual pero actuando bajo condiciones diferentes.

De los cuatro tratamientos de precipitación (ver página 35) ninguno llega al producto interés que es el MnO_2 , sin embargo, se seleccionó uno, el Hidróxido de Sodio o Potasio ya que con él se obtiene al Hidróxido de Manganeseo $Mn(OH)_2$ que se oxida a MnO_2 por simple acción del aire o por calentamiento, por lo que se consideró para estudios comparativos, además que es un reactivo sencillo y accesible. También al adicionarlo al residuo solo inserta cationes Na o K y aumenta el pH; estos cationes no son especies peligrosas ni están reguladas para el vertido de desechos en las redes cloacales.

De los métodos fotolíticos empleados ampliamente para degradar un gran número de residuos peligrosos (ver páginas 21-23), se preseleccionaron dos como tratamiento alternativos por considerarse convenientes y sencillos, la Fotocatálisis Heterogénea con TiO_2 y el Foto-Fenton

A continuación se presenta un estudio comparativo de las ventajas y desventajas de los tratamientos oxidantes y reductores preseleccionados:

Tabla 20. Ventajas y desventajas de los tratamientos oxidantes y reductores preseleccionados

Nombre del Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Dióxido de Cloro	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor poder de oxidación, lo que contribuye a la remoción de olor, color y mal sabor del agua. • No produce trihalometanos (THM) • No se ve afectado por las variaciones de pH • Mejora la remoción del hierro y manganeso • Efectivo contra muchos microorganismos y más potente que el cloro en un tiempo de contacto corto. 	<ul style="list-style-type: none"> • El gas es de olor desagradable, tóxico y puede explotar en determinadas condiciones • Es sensible a la luz ultravioleta • Produce subproductos en forma de cloritos y cloratos. Los cloritos y cloratos oxidan la hemoglobina y el clorito es un agente hemolítico. En la legislación venezolana no están reglamentados sus niveles de descarga. El máximo nivel propuesto de contaminante en los Estados Unidos para el clorito es 1,0 mg/l, mientras que el ión clorato no está reglamentado. • Debe producirse en el lugar donde se va a utilizar <i>in situ</i> debido a su inestabilidad • Difícil de analizar en laboratorio

Tabla 20. Ventajas y desventajas de los tratamientos oxidantes y reductores preseleccionados. (Continuación)

Nombre del Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Permanganato de Potasio	<ul style="list-style-type: none"> • No introduce especies nuevas a las ya existentes en el residuo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtendría mayor cantidad de producto (MnO_2) que la esperada con la cantidad de Manganeseo presente en el residuo
Peróxido de Hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • No introduce especies nuevas en el residuo • Sus productos de reacción generalmente son agua y oxígeno • El exceso de este reactivo se elimina fácilmente por calentamiento • Se puede usar como agente oxidante o reductor 	<ul style="list-style-type: none"> • Este reactivo es explosivo a altas concentraciones

Tabla 20. Ventajas y desventajas de los tratamientos oxidantes y reductores preseleccionados. (Continuación)

Nombre del Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Ozono	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oxida hierro y manganeso ▪ Es uno de los químicos desinfectantes más eficientes ▪ Requiere un tiempo de contacto relativamente corto ▪ No genera trihalometanos ▪ No produce subproductos halogenados, excepto en agua con alta concentración de bromo ▪ No existe riesgo de sobre dosificación ▪ No requiere de manejo de productos químicos ▪ Bajo costo de operación ▪ Haciendo funcionar la celda bajo presión pueden producirse concentraciones de ozono relativamente altas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El ozono es altamente corrosivo y tóxico, como oxidante fuerte reacciona con el tejido humano en particular en los pulmones lo que produce dificultades para respirar ▪ La generación de ozono requiere de una alta cantidad de energía y debe ser generado en el lugar donde se va a aplicar ▪ La cantidad de ozono disminuye rápidamente con pH alto y a altas temperaturas ▪ Olor en el área de trabajo ▪ Los subproductos que forma son principalmente bromatos, aldehídos y cetonas ▪ Se requiere instrumentación y adiestramiento especial

Tabla 20. Ventajas y desventajas de los tratamientos oxidantes y reductores preseleccionados. (Continuación)

Nombre del Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Fotocatálisis con TiO₂	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Emplea energía solar, es decir, no implica costos energéticos ▪ Doble acción, puede oxidar y reducir al mismo tiempo ▪ Elimina efectos sobre la salud de desinfectantes residuales ▪ No forman subproductos peligrosos ▪ No suelen generar barros ▪ No requieren equipamientos o elementos tecnológicos sofisticados o caros ▪ Es posible inmovilizar el fotocatalizador usando diversos soportes ▪ El material es barato y no-tóxico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es necesario un proceso adicional para separar el fotocatalizador si éste no se inmoviliza. ▪ Ciclos diurnos y anuales y variaciones temporales de la radiación solar. ▪ La cinética es lenta y el rendimiento fotónico es bajo ▪ Posibilidad de desactivación del fotocatalizador ▪ Posibilidad de formación de productos de oxidación parcial ▪ Dificultad para el desarrollo de fotocatalizadores soportados que resulten eficientes y duraderos
Foto-Fenton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnica poco específica ▪ Emplea energía solar ▪ Posibilidad de degradación de gran variedad de contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevado consumo de peróxido de hidrógeno ▪ El Hierro añadido tiene que ser eliminado lo que requiere un proceso y reactivos adicionales

En una primera revisión de las ventajas y desventajas de cada tratamiento quedó descartado el empleo de Ozono a pesar de su gran cantidad de ventajas, esto es debido a que existe una gran limitante como lo es la falta de instrumentación en los Laboratorios de Docencia, sin el equipo no es posible generar y utilizar Ozono.

Tratamiento de eliminación de las otras especies contaminantes:

Los otros contaminantes que acompañan al Manganeseo en los diferentes residuos son especies inorgánicas y orgánicas como el Hierro, Antimonio, Plata, Sulfatos, Fosfatos, Nitratos, Yodato, Alcohol Bencílico, Benzaldehído, Ciclohexanona y Ácido Adípico.

Estas especies están reguladas por el Decreto 883, a continuación se muestra un resumen de los principales efectos negativos que causan estos contaminantes y los procesos de eliminación conocidos.

Hierro ^[66]:

- *Efectos del hierro en las aguas:* La presencia de elevadas concentraciones de Hierro en el agua ocasiona corrosión y obstrucción de las tuberías, le da color y sabor metálico al agua y a los alimentos, causa precipitaciones indeseadas, inconvenientes en el lavado de la ropa, entre otras.
- *Eliminación del Hierro:* El tratamiento de eliminación es análogo al del Manganeseo, involucra la oxidación/filtración, tratamientos biológicos, intercambio iónico, filtración a través de medios especiales como arenas verdes y adsorción en carbón activado. La oxidación seguida de filtración es un proceso relativamente simple. Algunos procesos oxidantes usados son la ozonización,

desinfección con Cloro y aeración. También se suele precipitar a pH básico obteniendo Hidróxido de Hierro.

Antimonio ^[67]:

- *Efectos del Antimonio en el agua:* Su consumo produce irritaciones estomacales, úlceras, vómitos, diarreas y se estima que podría producir cáncer.
- *Eliminación de Antimonio:* Pueden contemplarse varias opciones para su eliminación: una de las más eficaces es la ósmosis inversa, el intercambio iónico y la filtración con material absorbente.

Para la eliminación del Hierro y el Antimonio se propuso otro método, debido a que ambas especies precipitan a pH básico, lo cual representa un inconveniente ya que para llevar a cabo el tratamiento del Manganeseo y obtener como producto al Dióxido de Manganeseo se requiere un medio fuertemente básico. Por ello se necesitó separar el Hierro y Antimonio de la solución previo al tratamiento del Manganeseo. Esta separación específica se lleva a cabo empleando un pH controlado entre 3-4 con ayuda del buffer Ácido Benzoico - Benzoato de Sodio, en este intervalo se asegura que no precipite el Hidróxido de Manganeseo el cual empieza a partir de pH 8.

Plata ^[68]:

- *Efecto de la Plata en el agua:* La plata no es un requerimiento dietético para los organismos, incluso puede ser letal para las bacterias, hongos e inhibe su reproducción. La plata es un bactericida. Los iones de plata tienen una alta afinidad por los grupos de azufre y aminoácidos, por lo tanto forma complejos con aminoácidos, ácidos nucleicos y otros compuestos que se producen en el cuerpo. El óxido de plata es perjudicial al tragar, porque irrita los ojos, las vías respiratorias y la piel. El nitrato de plata es mucho más dañino, porque es un

oxidante fuerte. Este último causa la corrosión y en la absorción oral conduce a los vómitos, mareos y diarrea.

- *Eliminación de la Plata:* La plata iónica puede ser removida del agua por intercambio iónico y por precipitación del Cloruro de Plata que es insoluble en medio acuoso. Algunos compuestos de plata pueden precipitar por coagulación, dos métodos eficaces incluyen la filtración por carbón activado y la filtración de arena.

Sulfatos ^[69]:

- *Efectos del sulfato en el agua:* El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia. Una alta concentración de sulfato en agua potable tiene un efecto laxativo cuando se combina con calcio y magnesio, los dos componentes más comunes de la dureza del agua. Las bacterias, que atacan y reducen los sulfatos, hacen que se forme Sulfuro de Hidrógeno gaseoso (H_2S) que es un gas de olor desagradable (característico a huevos podridos), tóxico y corrosivo. Las personas que no están acostumbradas a beber agua con niveles elevados de sulfato pueden experimentar diarrea y deshidratación.
- *Eliminación del sulfato:* Tres tipos de tratamiento pueden eliminar el sulfato del agua potable: ósmosis inversa, destilación o intercambio iónico. Un método para la determinación de sulfatos es precipitándolo cuantitativamente como Sulfato de Bario ($BaSO_4$) y éste puede ser aprovechado para eliminar bajas concentraciones de sulfatos en efluentes residuales, por lo que fue electo éste tratamiento, además de que el producto no es tóxico.

Al realizar esta precipitación se introduce en la solución una especie nueva y tóxica como lo es el Bario, el cual está regulado en el Decreto 883. Es por ello que la adición del agente precipitante, como lo podrían ser el Cloruro o el Hidróxido de Bario,

se debe hacer de manera controlada. Para ello se puede realizar una prueba control, tomando una muestra de la solución luego de cada adición del agente precipitante y aparte adicionarle gota a gota más del agente y verificar si se sigue formando precipitado, de esta simple manera se puede conocer si ya se ha agregado suficiente agente precipitante.

Fosfatos ^[70]:

- *Efectos del fosfato en las aguas superficiales:* Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua puede producirse la eutrofización. Tan solo 1 g de Fósforo-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150g.
- *Eliminación del fosfato:* Existen dos modos de reducir la concentración de fosfatos en el agua residual, por eliminación biológica del fósforo y la precipitación química del fosfato. De ellas se seleccionó la última, los compuestos de ortofosfato son precipitados como fosfatos de metales difícilmente solubles empleando como agentes precipitantes sales de hierro, aluminio y de calcio. Se seleccionó la precipitación con cal ya que el $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ es un producto inerte y tiene un producto de solubilidad bien favorable ($2,07 \times 10^{-33}$) como para realizar una precipitación cuantitativa.

Nitratos ^[71]:

- *Efectos del nitrato en aguas:* La contaminación del agua por nitratos radica en el efecto que puede tener sobre la salud humana al ser ingeridos disueltos en agua o a través de los alimentos. El consumo de agua con altas concentraciones en

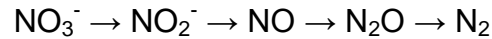
nitratos supone un riesgo para la salud, especialmente en los niños, provocando metahemoglobinemia, enfermedad caracterizada por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre. Asimismo, los nitratos pueden formar nitrosaminas y nitrosamidas, compuestos potencialmente cancerígenos.

- *Eliminación del nitrato:* Existen varios métodos que permiten la eliminación de nitratos pero ninguno de ellos resuelve por si solo el problema, ya que dependiendo de las necesidades, características y circunstancias del mismo será más acertado emplear uno u otro. El nitrato es un anión estable y altamente soluble en agua con un bajo potencial para la co-precipitación o adsorción, lo que conduce a que tratamientos convencionales de aguas como la filtración o el ablandamiento no sean adecuados para su eliminación.

En general, los métodos físico-químicos permiten una eliminación efectiva de los nitratos en aguas contaminadas. Entre estos métodos están el intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, desnitrificación biológica y desnitrificación catalítica. Se prefieren los tratamientos biológicos por su sencillez, selectividad y bajo coste ante los físico-químicos, más caros y con mayor generación de residuos tóxicos.

La desnitrificación catalítica es un método efectivo para la eliminación de nitratos por reducción catalítica. Tanto los nitratos como los nitritos se pueden eliminar del agua empleando un agente reductor como hidrógeno, ácido fórmico, etc. y un catalizador. El proceso de reducción de nitratos hasta nitrógeno gas ocurre en etapas seriales, apareciendo como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso:

Etapas de la reducción de Nitratos:



De todos los métodos de eliminación anteriores, el más apropiado y accesible para ejecutar en este trabajo sería la desnitrificación catalítica. Sin embargo, el inconveniente estriba en que no se dispone del catalizador para llevar a cabo este tratamiento. El catalizador recomendado generalmente es de Platino. En vista de ello, no se pudo realizar el tratamiento de eliminación de Nitratos presente en cuatro de los residuos.

Yodato:

- *Efectos del Yodato en el agua:* El Yodo es un requerimiento dietético para los organismos vivos, sin embargo, la especie Yodato es tóxica porque posee la propiedad de ser oxidante e irritante y es por ello que no pueden excluirse efectos tóxicos sobre organismos acuáticos por manipulación o eliminación inadecuada de residuos que lo contengan.
- *Eliminación de Yodato:* Para la mayoría de los agentes oxidantes se recomienda tratamiento neutralizante con un agente reductor. En el caso del Yodato, los productos de su reducción pueden ser Yodo molecular (I_2) o Yoduro (I^-) dependiendo de la fuerza del agente reductor empleado.

Para este trabajo se estimó conveniente obtener como producto al Yodo ya que es fácilmente extraíble en solución acuosa por tener baja solubilidad y puede ser recuperado y purificado por sublimación, también el Yodo como reactivo es muy útil ya que tiene muchas aplicaciones. Se eligió como agente reductor al Peróxido de Hidrógeno ya que como reductor posee una fuerza intermedia evitando obtener Yoduro.

Especies orgánicas:

- *Efectos de las especies orgánicas en el agua:* La materia orgánica presente en el agua sufre procesos de oxidación-descomposición que dan como resultado una alta demanda de oxígeno.
- *Eliminación de las especies orgánicas:* Para la eliminación de la materia orgánica generalmente se emplean procesos de oxidación empleando agentes oxidantes fuertes que permitan la descomposición hasta CO_2 y H_2O o mineralización.

5.3.2.- Presentación de los tratamientos propuestos y análisis de su aplicación.

En resumen, se tienen siete tratamientos para la eliminación de Manganese y uno para el resto de cada contaminante, sus procedimientos quedaron expuestos en la metodología experimental, en la siguiente tabla se puntualizan su ubicación dentro de este trabajo:

Tabla 21. Listado de los tratamientos a considerar y la página donde se encuentra su metodología experimental.

Tratamiento	Nombre	Tabla	Página
A	Peróxido de Hidrógeno, H₂O₂ como reductor	2	58
B	Peróxido de Hidrógeno, H₂O₂ como oxidante	2	58
D	Dióxido de Cloro, ClO₂	4	60
E	Permanganato de Potasio, KMnO₄	4	61
G	Fotocatálisis Heterogénea con TiO₂	5	62
H	Foto-Fenton, H₂O₂ / Fe⁺² / UV	5	62
I	Hidróxido de Potasio. KOH como precipitante	6	63
J	Eliminación de Hierro, Búfer PhCO₂K	7	64
K	Eliminación de Antimonio, KOH / Cl⁻	7	64
L	Eliminación de Plata, KCl	7	64
M	Obtención de Fosfato de Calcio, Ca(OH)₂	7	64
N	Obtención de Sulfato de Bario, Ba(OH)₂	7	65
P y Q	Obtención de Yodo, H₂O₂	7	66

Debido que para la eliminación de Manganeso, como especie Mn(II), se cuentan con cinco tratamientos oxidantes (B, D, E, G y H) que se deberán probar sobre los nueve residuos que contienen a esta especie (2; 3; 6; 7; 8; 9; 10; 11 y 13), se buscó simplificar el trabajo haciendo un estudio comparativo previo para seleccionar los dos mejores tratamientos en efectividad, rapidez y sencillez.

Para realizar este estudio, se hicieron ensayos cualitativos con los cinco tratamientos, aplicándolos como indica la metodología, en 50 mL de una solución de 400 ppm de Mn(II) preparada a partir de una sal pura de MnSO₄.

Tabla 22. Características observadas al hacer reaccionar la solución con los cinco tratamientos

Tratamiento	Observaciones
B. Solución de H ₂ O ₂	Formación de precipitado marrón, la reacción fue inmediata, con efervescencia, la solución quedó incolora después de filtrar.
D. Solución de ClO ₂	Formación de precipitado marrón, la reacción fue inmediata, la solución quedó incolora después de filtrar.
E. Solución de KMnO ₄	Formación de precipitado marrón abundante, la reacción fue inmediata. El exceso de reactivo se eliminó con unas gotas de etanol. La solución fue incolora después de filtrar.
G. Fotocatálisis con TiO ₂ no soportado / UV / sin oxidante añadido (O ₂ aire)	Luego de 7 horas de exposición solar (de 8am a 3pm) no se observó ningún cambio en la solución.

Tabla 22. Características observadas al hacer reaccionar la solución con los cinco tratamientos. (Continuación)

Tratamiento	Observaciones
H. Foto-Fenton $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{+2} / \text{UV}$	La reacción se dio inmediatamente al añadir el H_2O_2 , formación de precipitado marrón, luego de 7 horas de exposición solar (8am a 3pm) no se observó cambio aparente, la solución adquirió un tono amarillento

Según las observaciones hechas, no se obtuvieron resultados satisfactorios en los dos tratamientos fotoquímicos:

1.-En la fotocatalisis heterogénea no se observó ningún cambio. En las variables que afectan este resultados se encuentra la incidencia de la Luz UV y el oxidante.

La incidencia de la radiación fue optimizada colocando los recipientes de vidrio (beakers) sobre una superficie aluminizada reflectante en forma de parábola, que permitió que la luz incidiera de una manera satisfactoria sobre cada recipiente.

El oxidante fue el oxígeno del aire pero a veces se usa la adición de otros oxidantes más fuertes como H_2O_2 ó O_3 para favorecer la captura de electrones y la eficiencia del proceso, así que se decidió repetir el ensayo añadiendo unas gotas de H_2O_2 . El resultado fue una mezcla de dos sólidos, el catalizador TiO_2 de color blanco junto con el MnO_2 marrón, que luego de filtrar no se pudieron separar.

Emplear el TiO_2 en suspensión para tratamientos de agua es muy común ya que proporciona un buen contacto catalizador-contaminante y por tanto buenas eficiencias, sin embargo, para este caso en particular, se debe soportar el TiO_2 sobre una superficie

transparente en el UV. El método para soportar el catalizador es toda un área en desarrollo, hay que considerar muchas variables que se deben optimizar, como lo son: el grosor de la película de TiO_2 , su área superficial, la fase cristalina del catalizador (80% Anatasa y 20% Rutilo) y su adherencia al soporte. El desarrollo de esta técnica no se encuentra dentro de los alcances de los objetivos de este trabajo

2.-En la reacción de Foto-Fenton la oxidación del Manganese se dio inmediatamente al agregar el H_2O_2 a la solución, tal como se observó en el tratamiento B, y no se obtuvo cambio alguno al exponerlo a la luz con la sal de Fe(II) . Esto es debido a que el propio H_2O_2 tiene la fuerza necesaria para oxidar al Mn(II) a Mn(IV) , de hecho esta reacción es muy espontánea en medio básico. También se obtuvo una solución coloreada de amarillo por la presencia de la especie Fe(III) que debe de ser eliminada de la solución en un paso posterior.

En el tratamiento D, solución de ClO_2 , también se obtuvieron buenos resultados, el inconveniente con este tratamiento estriba en la preparación de la solución, hubo que generar el gas al momento de utilizarlo debido a que sus soluciones son inestables y ello exige de un sistema de generación a escala de laboratorio y experiencia para manipularlo (ver tabla 4 en la página 60). Adicionalmente este tratamiento introduce especies nuevas al residuo como lo son los cloruros y sub-productos de la reacción como los cloritos y cloratos.

Para este caso en particular, con el tratamiento con H_2O_2 en medio básico se logra el mismo resultado y éste ofrece rapidez, sencillez, sin necesidad de aplicar un procedimiento adicional de generación ni de eliminación posterior, a parte del proceso de filtración para separar el producto. Así como tampoco introduce especies nuevas en el residuo. Lo anterior aplica igualmente para el tratamiento E con KMnO_4 por lo cual fueron seleccionados estos dos.

A continuación se presentan las propuestas de tratamiento para cada uno de los catorce residuos, los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. Primero se hizo la identificación completa del residuo donde se especifica su procedencia, la composición química, los parámetros que son regulados por el Decreto 883, sus características y las concentraciones iniciales de los contaminantes presentes.

Luego se realizó la selección de un conjunto de tratamientos individuales para los contaminantes de cada residuo, cada conjunto conforma un método. Se describen las reacciones químicas involucradas, los reactivos y cantidades empleadas, también el diagrama ecológico por cada método aplicado.

Por último, se especifican las concentraciones de los contaminantes después de ser tratados, los análisis adicionales realizados tales como las propiedades físicas y químicas de los productos y sub-residuos obtenidos (punto 4.4 de la metodología experimental), su discusión y evaluación de los resultados (punto 4.5 de la metodología experimental).

RESIDUO 1

Procedencia:

El Residuo 1 proviene del Laboratorio de Principios de Química, es una mezcla de tres residuos de los ensayos realizados con soluciones de KMnO_4 , donde no ocurre cambio químico de esta especie, solo sufre dilución y acidificación del medio. Estos tres residuos fueron identificados con los siguientes códigos: Lab PQ R 3.1, Lab PQ R 3.2.A.b y Lab PQ R 9.1 (según figuras 24, 25 y 26)

Composición:

Permanganato de Potasio (KMnO_4) y Acido Sulfúrico (H_2SO_4) en medio acuoso.

- Especies en solución: MnO_4^- (ac) + SO_4^{2-} (ac) + H^+ (ac) + K^+ (ac)
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, sulfatos y pH

Características:

Solución acuosa de color violeta, oxidante, de aspecto homogéneo y pH 6

Cantidad del residuo:

Se preparó 1 litro de muestra tomando partes iguales de cada uno de los 3 residuos anteriores y se almacenó en un envase de vidrio color ámbar hasta su posterior tratamiento

En la tabla 20 se muestra las concentraciones de las especies encontradas en el Residuo 1 que son objeto de regulación en el Art 15 del Decreto 883, determinadas por FAAS e IEC.

Tabla 23. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 1

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Experimental	317	120	6
Permitida por la Ley	10	400	6-9

La concentración experimental de sulfatos se encuentra por debajo de lo que estipula la normativa ambiental venezolana, sin embargo se decidió realizar el tratamiento para disminuir su concentración ya que el objetivo es establecer una metodología para poder descargar a las redes cloacales dicho compuesto

Tratamientos aplicados:

Debido a que este residuo es sencillamente una solución de KMnO_4 en medio ácido, se consideró emplearlo como reactivo en tratamientos de oxidación química de otros residuos que así lo requieran.

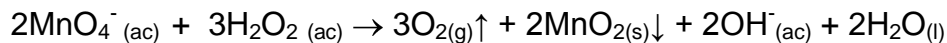
Igualmente, se propusieron tres métodos para disminuir la concentración de Manganeseo y sulfato en solución. El primero consistió en reducir la especie Permanganato MnO_4^- a Mn(IV) en medio básico empleando H_2O_2 (tratamiento A) donde se obtiene el Dióxido de Manganeseo MnO_2 que es insoluble en medio acuoso y se separa de la solución por filtración empleando papel de filtro Whatman N°43. La concentración de sulfatos se disminuyó precipitando la sal Sulfato de Bario BaSO_4 por la adición de Hidróxido de Bario $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (tratamiento N) de manera controlada, empleando para ello la prueba control del exceso de Bario descrita en el tratamiento O, esto se hace debido a que la concentración de Bario también se encuentra regulada por el Art 15 del Decreto 883. Para separar el BaSO_4 que es un sólido muy fino se centrifugó la solución, también se puede decantar. Por ultimo se neutralizó el pH de la solución remanente añadiendo HCl.

En el segundo método, al igual que el primero, se obtuvo MnO_2 aplicando el tratamiento A. Después de filtrar, a la solución se le neutralizó el pH con H_2SO_4 y se calentó hasta eliminar el agua para así recuperar la sal Sulfato de Potasio K_2SO_4 formada por las especies que quedaron en la solución.

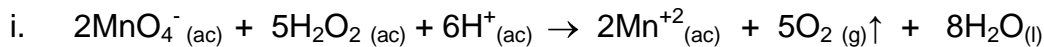
En el tercer método, se propone reducir el MnO_4^- a Mn(II) con H_2O_2 pero en medio ácido y luego precipitarlo con Hidróxido de Potasio obteniendo el Hidróxido de Manganeso Mn(OH)_2 (tratamiento I) que posteriormente será transformado a MnO_2 por oxidación al aire y calentamiento. Aquí también se recuperó la sal K_2SO_4 .

Reacciones involucradas

- Tratamiento A, medio básico:



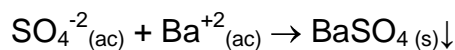
- Tratamiento A, medio ácido:



- Tratamiento I:



- Tratamientos N :



A continuación se presenta una tabla resumen de los reactivos empleados en cada tratamiento, las cantidades empleadas y los productos obtenidos, partiendo de 50 mL de Residuo 1.

Tabla 24: Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 50 mL de Residuo 1

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución de KOH al 10%	1 mL	llegar a pH 8-9
A	Solución al 30% de H ₂ O ₂	1 mL	MnO ₂
N	Solución al 10% de Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	2 mL	BaSO ₄
Ajuste de pH	Solución de HCl al 10%	1 mL	Solución R. 1.1
Ajuste de pH	Solución de H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	llegar a pH 7
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2 h	K ₂ SO ₄
I	Solución saturada de KOH	2 mL	Mn(OH) ₂

En las figuras 52, 53 y 54 se muestran los diagramas ecológicos de los tres métodos, donde se representan todas las especies químicas presentes en cada paso.

Figura 52. Diagrama ecológico del Residuo 1. Primer método.

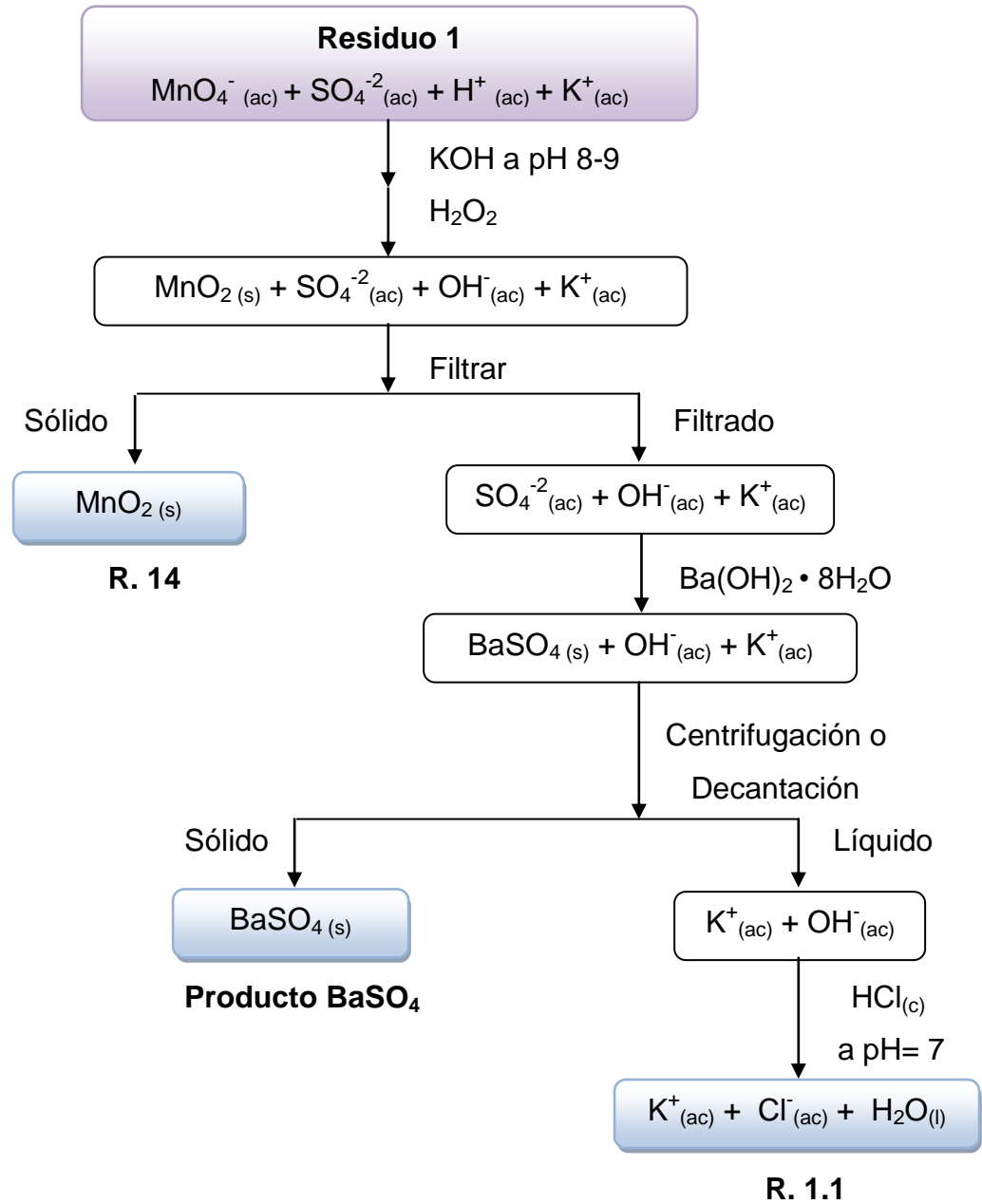


Figura 53. Diagrama ecológico del Residuo 1. Segundo método.

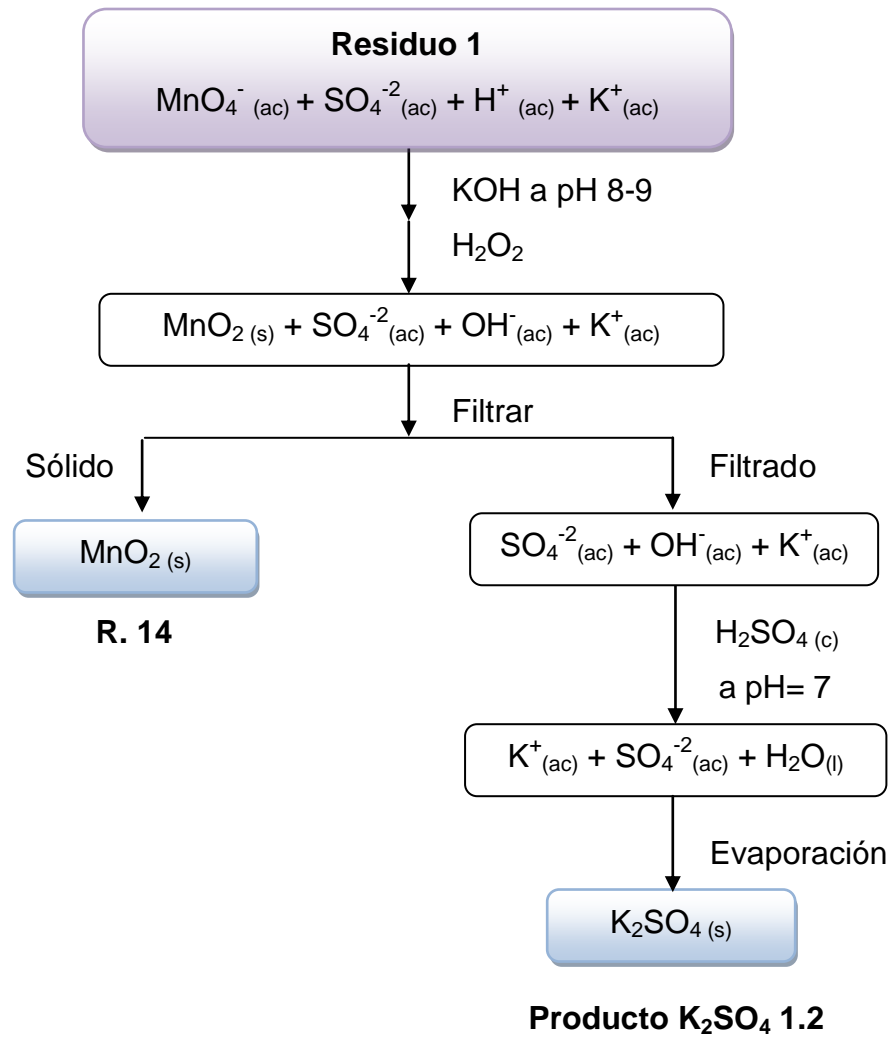
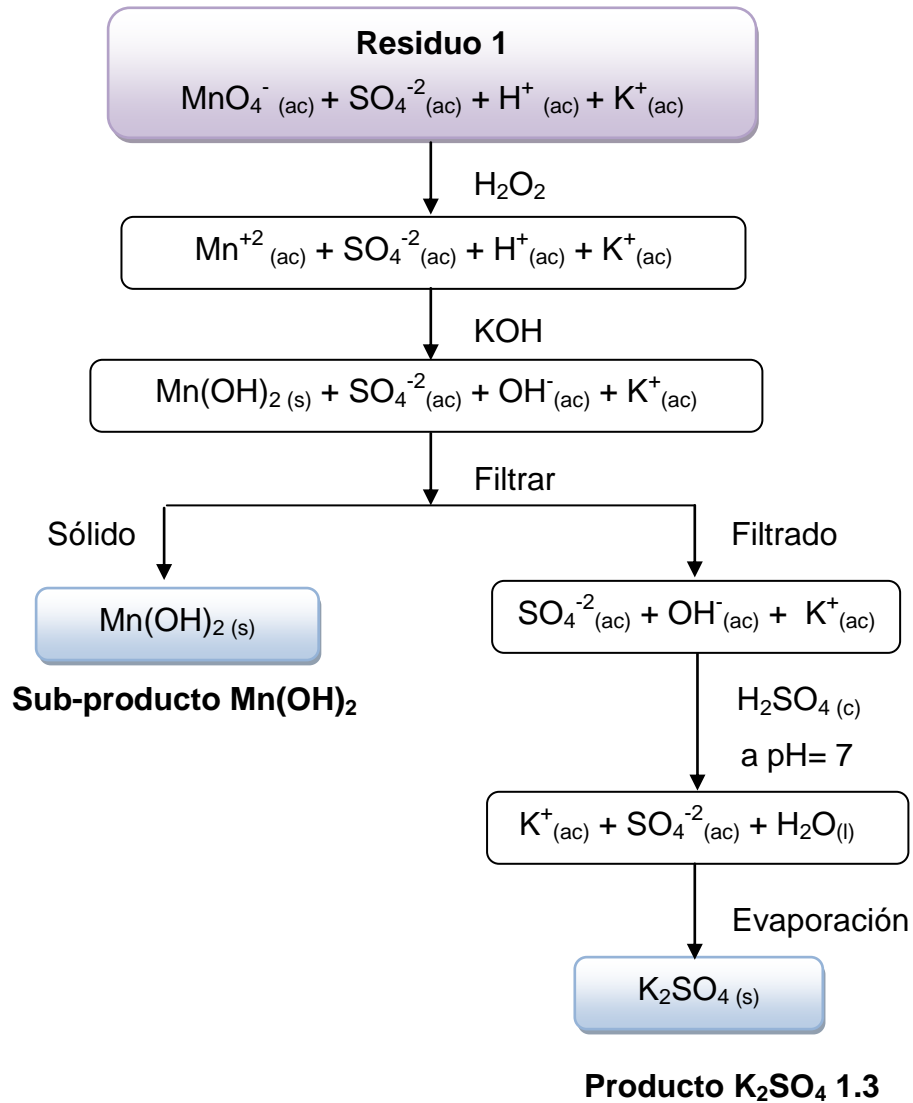


Figura 54. Diagrama ecológico del Residuo 1. Tercer método.



Para verificar la efectividad de los tratamientos se midieron nuevamente las concentraciones de los contaminantes y además, para el primer método, se incluyó el análisis de la concentración de Bario debido a que esta especie fue introducida a la solución y también es objeto de regulación. Para ello se tomó la solución remanente del primer método denominada R.1.1 y para los otros dos se preparó una solución de

10 000 ppm de cada sal de K_2SO_4 , ya que estas sales conservan todas las especies que quedaron en solución luego de la eliminación de Manganeseo.

El MnO_2 y $Mn(OH)_2$ obtenidos fueron reservados como Residuo 14 y Sub-producto respectivamente, el K_2SO_4 como producto final, para ser tratado y caracterizado posteriormente y el $BaSO_4$ se recolectó como sub-residuo.

Tabla 25. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Ba ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
R.1.1	No detectado	No detectado	< 100	7
Solución K_2SO_4 1.2	No detectado	--	--	7
Solución K_2SO_4 1.3	No detectado	--	--	7

En todas las soluciones no se detectó Manganeseo, por lo que se concluye que los tres tratamientos, tanto de reducción como de precipitación, fueron muy eficientes en la eliminación completa de este contaminante. Sin embargo, en el tratamiento de precipitación no se obtiene al MnO_2 directamente. El $Mn(OH)_2$ se oxidó rápidamente al contacto con el aire pero no de manera completa, obteniéndose un sólido de color heterogéneo marrón claro, por ello se procedió a calentar en la estufa a $100^\circ C$ por tres horas.

El proceso de envejecimiento y secado del hidróxido no fueron suficientes para lograr la transformación completa, lo que coincide con los resultados del trabajo de Ramos ^[72], quién tuvo que emplear la calcinación del hidróxido a $950^\circ C$ para transformarlo a una sola especie, obteniendo Mn_3O_4 o Hausmanita. Con estos resultados se decidió descartar la eliminación de Manganeseo por precipitación (tratamiento I).

Adicionalmente, en el primer método se logró reducir la concentración de sulfatos sin introducir una cantidad significativa de Bario a la solución, esto indica que el ensayo de control de precipitación de sulfatos es confiable (procedimiento O). Por lo anterior, la solución R.1.1 es segura para ser descartada por el desagüe ya que cumple con todos los parámetros exigidos por la Ley.

En el segundo método se consiguió recuperar el K_2SO_4 , con ello se evitó el uso de la solución de Bario y no se generaron sub-residuos. Sin embargo, hubo mayor consumo de energía eléctrica, comparado con el primer método, ocasionado por el proceso de secado que requirió de horas de calentamiento en la plancha y la estufa para completar el proceso de evaporación, lo cual se puede corregir dejando que el agua de la solución se evapore a temperatura ambiente si se dispone del tiempo necesario. Este segundo método es el elegido para tratar al Residuo 1.

RESIDUO 2

Procedencia:

El Residuo 2 proviene de los laboratorios de Principios de Química, Inorgánica I e Instrumental Analítico. Es una mezcla de seis residuos de soluciones de Mn(II) y Sulfato, producto de la neutralización no estequiométrica del $KMnO_4$ con Ácido Oxálico ($H_2C_2O_4$) y Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) en medio ácido, aunado a los residuos de soluciones de Sulfato de Manganeso. Estos seis residuos fueron identificados con los siguientes códigos: Lab. PQ. R.3.2.A.a, Lab. QI-I R.9.1.5.a, Lab. QI-I R.9.3.C.II, Lab. QI-I R.9.4 (fase líquida), Lab. Inst. R.Patrones Mn, Lab. Inst. R.Muestra Sintética Mn (según figuras 25, 30, 32, 33, 41, 42 y 45)

Composición:

- Especies en solución: $Mn^{+2}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)}$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, sulfatos y pH

Características:

Solución acuosa incolora, de aspecto homogéneo y pH 2. Presenta efervescencia por exceso de H_2O_2

Cantidad del residuo:

Se preparó 1 litro de muestra tomando partes iguales de cada uno de los 6 residuos anteriores y se almacenó en un envase de vidrio transparente.

En la tabla 26 se muestra las concentraciones de las especies encontradas en el Residuo 2 que son objeto de regulación en el Art 15 del Decreto 883, determinadas por FAAS e IEC.

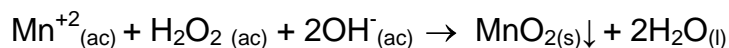
Tabla 26. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 2

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Experimental	459	73 705	2
Permitida por la Ley	10	400	6-9

Tratamientos aplicados:

Debido a la característica de efervescencia de este residuo se le hizo una prueba preliminar para comprobar que ello se debía al exceso del reactivo H_2O_2 empleado en los ensayos, ésta consistió simplemente en añadirle KOH para aumentar su pH

observando que inmediatamente precipitaba un sólido marrón correspondiente al MnO_2 según la siguiente reacción:



En el tratamiento de este residuo se aprovechó su naturaleza oxidante a pH básico, por lo que se propuso añadir KOH hasta pH 8, ya que a pH superior empezaría la precipitación del $\text{Mn}(\text{OH})_2$. Una vez que reaccionó todo el H_2O_2 presente en el residuo, se agregaron unas gotas de este reactivo para corroborar que todo el Mn(II) haya sido oxidado a Mn(IV), según la reacción anterior.

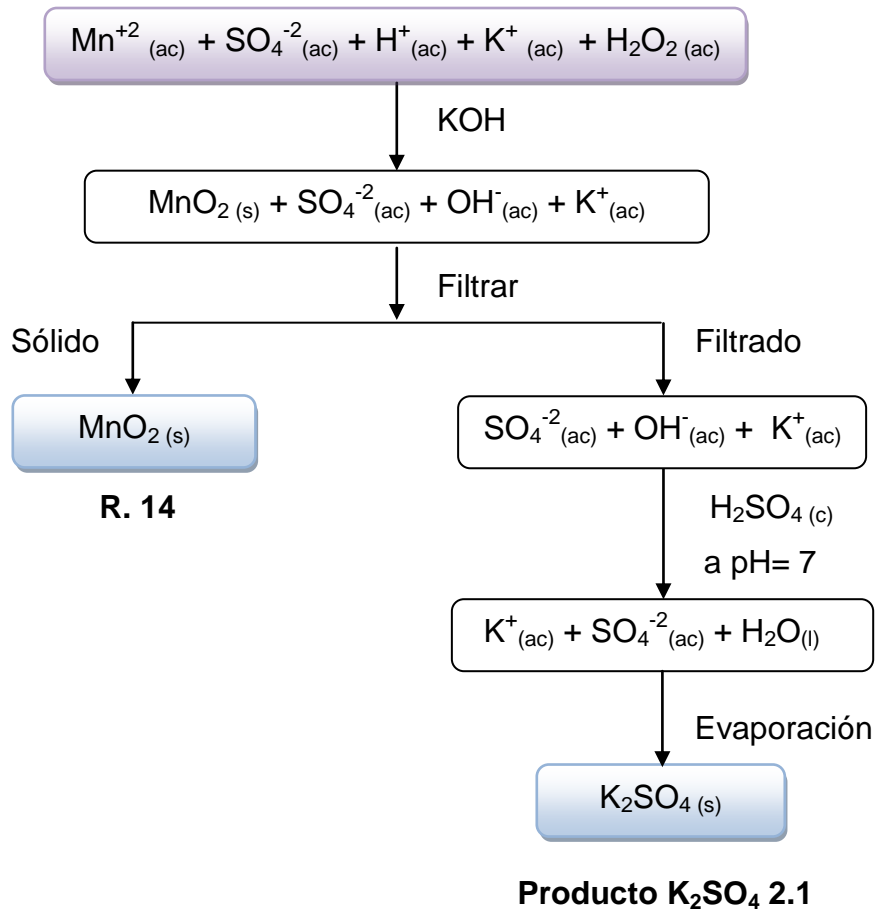
Luego de separar el MnO_2 por filtración, a la solución remanente se le puede aplicar el tratamiento de precipitación de sulfatos con la solución de Bario o se puede evaporar el solvente para recuperar la sal K_2SO_4 . Según los resultados obtenidos en el Residuo 1, se va a proceder a recuperar el K_2SO_4 gracias a que el Residuo 2 también posee una matriz sencilla y que los reactivos empleados en la eliminación de Manganeso no introducen nuevas especies a la solución y el exceso es eliminado fácilmente por calentamiento.

Tabla 27. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 50 mL de Residuo 2

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución de KOH al 10%	3 mL	llegar a pH 8-9
A	Solución al 30% de H_2O_2	3 gotas	MnO_2
Ajuste de pH	Solución de H_2SO_4 al 10%	1 mL	llegar a pH 7
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2h	K_2SO_4

En la figura 55 se muestra el diagrama ecológico del método aplicado.

Figura 55. Diagrama ecológico del Residuo 2.



Se midieron nuevamente las concentraciones de los contaminantes en una solución de 10 000 ppm de la sal K_2SO_4 recuperada reservada como producto.

Tabla 28. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,6\%$)ppm	pH
Solución K ₂ SO ₄ 2.1	No detectado	--	7

En la solución no se detectó Manganeseo lo que indica que por el método de oxidación con H₂O₂ (tratamiento B) se eliminó eficientemente este contaminante y además se obtuvieron dos productos: el MnO₂ y el K₂SO₄. Con este método se logró eliminar el residuo lo que contribuiría a solventar el problema de almacenamiento de la institución.

RESIDUO 3

Procedencia:

El Residuo 3 proviene de los laboratorios de Principios de Química y Fisicoquímica, es una mezcla de dos residuos de soluciones de Mn(II) y Sulfato, que a diferencia del Residuo 2, es producto de la neutralización estequiométrica del KMnO₄ en titulaciones con Na₂C₂O₄ y H₂O₂ en medio ácido, además posee una pequeña porción de componentes orgánicos y Hierro debido a que se trabajó con Sangre/EDTA. Estos dos residuos fueron identificados con los siguientes códigos: Lab. PQ R.9.2 y Lab. FQ R.Cin, Enz. (según figuras 20 y 29). Nota: estos residuos no se agruparon en el Residuo 2 por considerar que reducían el potencial de reciclaje y reutilización de éste.

Composición:

- Especies en solución: $Mn^{+2}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)} + Na^{+}_{(ac)} + (Fe^{+3}_{(ac)} + \text{materia orgánica})_{\text{trazas}}$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, Hierro, Sulfatos y pH

Características:

Solución acuosa incolora, de aspecto homogéneo y pH 1.

Cantidad del residuo:

Se preparó 1 litro de muestra tomando partes iguales de cada uno de estos residuos y se almacenó en un envase de vidrio transparente.

En la tabla 29 se muestra las concentraciones de las especies encontradas en el Residuo 3 que son objeto de regulación en el Art 15 del Decreto 883, determinadas por FAAS e IEC.

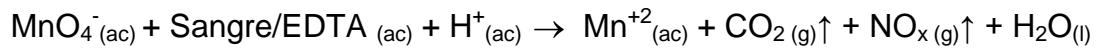
Tabla 29. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 3

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Fe ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Experimental	1 210	No detectado	26 692	1
Permitida por la Ley	10	25	400	6-9

Tratamientos aplicados:

Debido a que este residuo está conformado por la titulación en la que se trabaja con sangre, puede ser considerado como un residuo biológico. Sin embargo, esto no es así ya que a la solución que contiene sangre se le añade H_2O_2 y luego $KMnO_4$ en medio

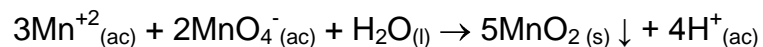
fuertemente ácido, y es bien conocido el efecto desinfectante y antiséptico de ambos reactivos ^[73], además que el KMnO₄ oxida toda materia orgánica tal como se muestra en la siguiente reacción general.



Por lo anterior, se considera que todo agente patógeno que pudiese estar presente en la sangre utilizada fue destruido, al igual que el resto de la materia orgánica.

Se propusieron dos métodos donde no se consideró la eliminación de Fe debido a que su concentración en el residuo no fue detectada. La eliminación del Mn se hizo por oxidación en medio básico, empleando como agentes oxidantes al H₂O₂ en el primer método (tratamiento B) y en el segundo al KMnO₄ (tratamiento E)

Reacción del tratamiento E:



Para este residuo se va aplicar el tratamiento de precipitación de sulfatos en el primer método, ya que la matriz de la solución no permite recuperar sales puras al evaporar el solvente. No obstante, para el segundo método, se propone como alternativa emplear este último proceso y obtener una mezcla de K₂SO₄ y Na₂SO₄.

Tabla 30. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para de 50 mL de Residuo 3.

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución de KOH al 10%	3 mL	llegar a pH 8-9
A	Solución al 30% de H ₂ O ₂	2 mL	MnO ₂
E	Solución 0,3 M de KMnO ₄	4 mL	MnO ₂
N	Solución al 10% de Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	10 mL	BaSO ₄
Ajuste de pH	Solución de HCl al 10%	2 mL	Solución R. 3.1
Ajuste de pH	Solución de H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	llegar a pH 7
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2 h	K ₂ SO ₄ + KCl

En las figuras 56 y 57 se muestran los diagramas ecológicos de los dos métodos aplicados.

Figura 56. Diagrama ecológico del Residuo 3. Primer método.

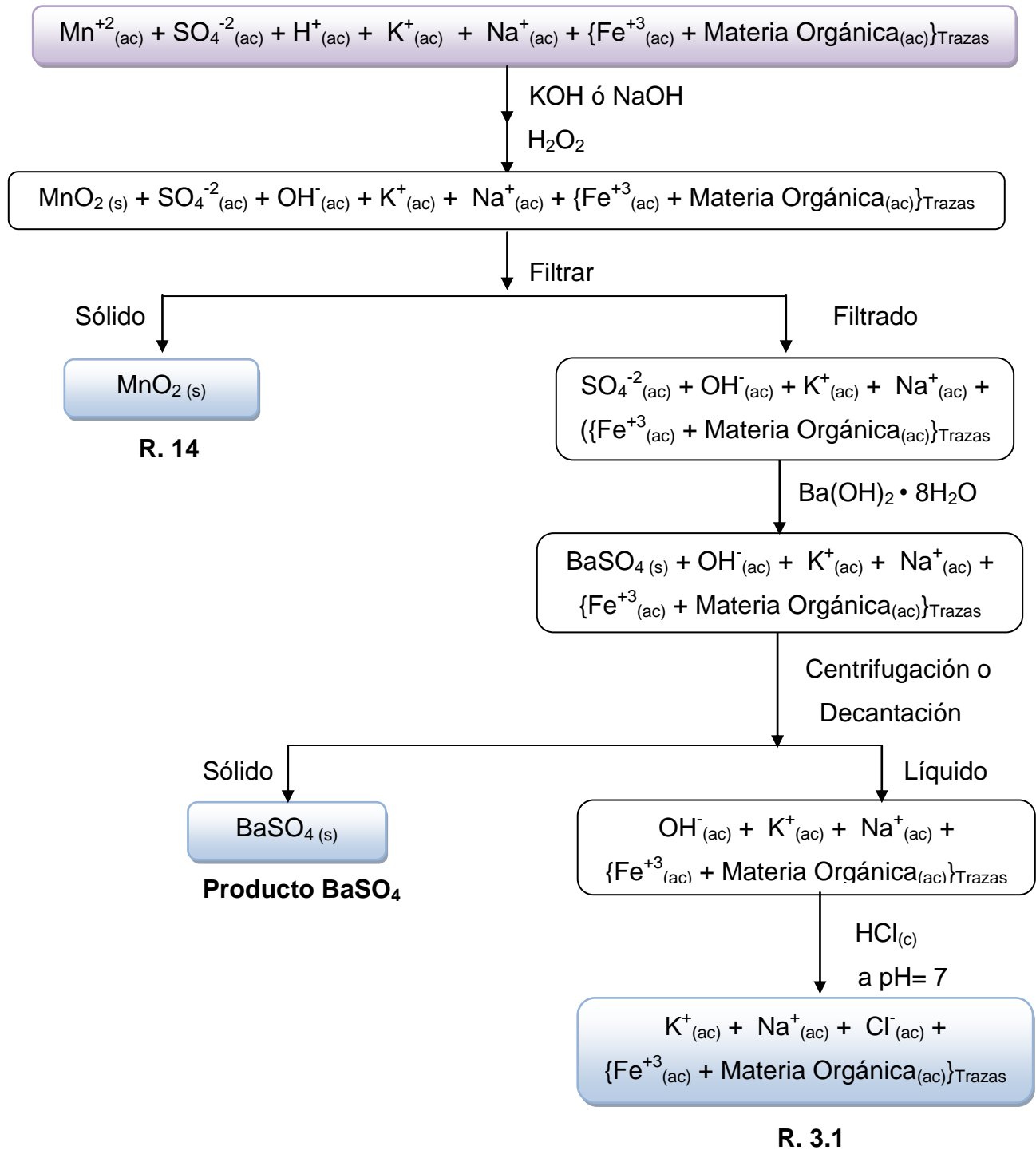
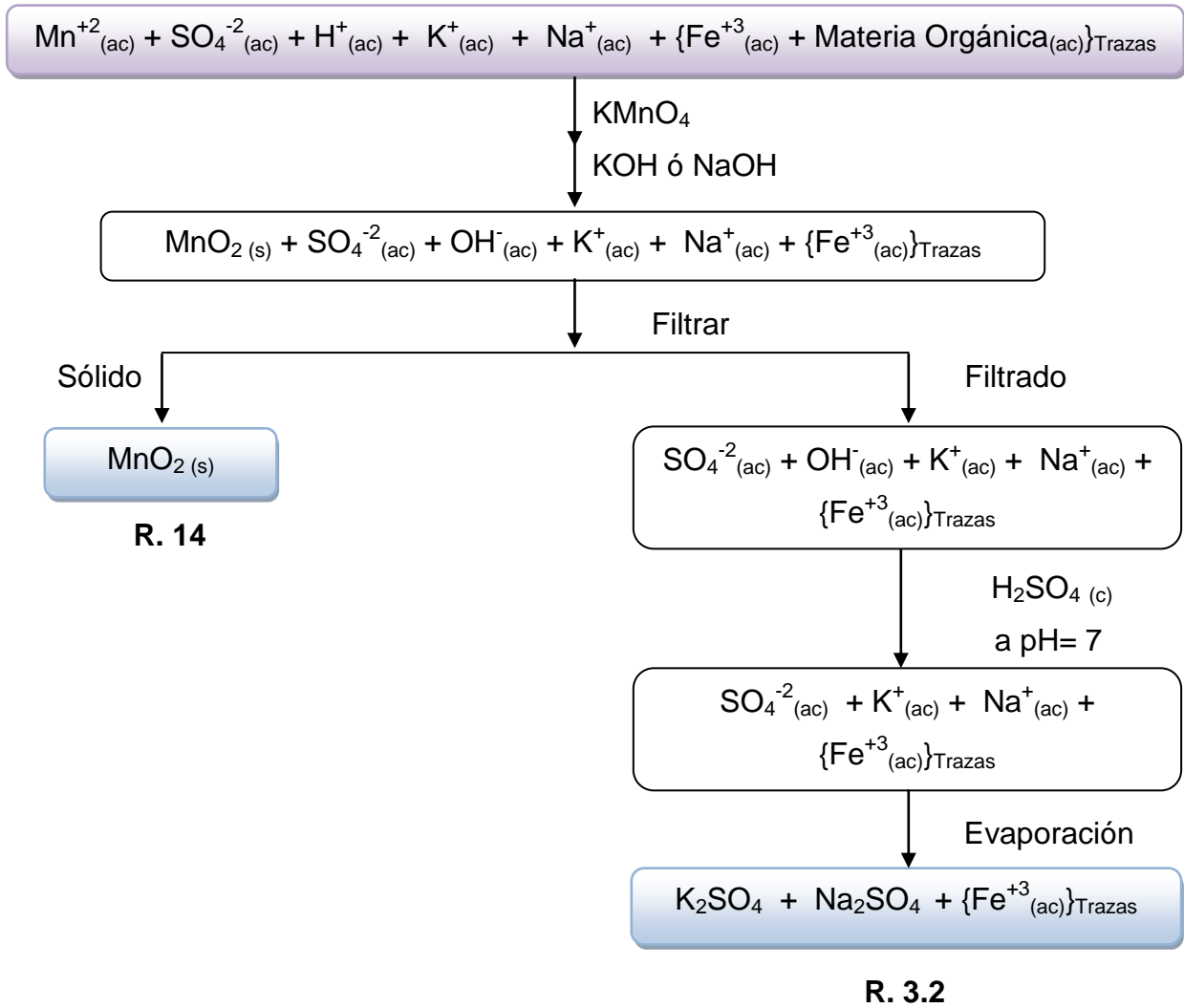


Figura 57. Diagrama ecológico del Residuo 3. Segundo método.



Para medir la concentraciones finales de los contaminantes se tomó la solución denominada R.3.1 y se preparó una solución de 10 000 ppm con la mezclas de sales R.3.2.

Tabla 31. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Ba ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,6\%$)ppm	pH
R. 3.1	No detectado	0,71	< 200	7
R. 3.2	No detectado	--	--	7

En las soluciones no se detectó Manganeseo, la concentración de Bario y Sulfato se mantuvieron por debajo de los límites de descarga. La solución R. 3.1 puede ser descartada por el desagüe.

Los dos tratamientos de oxidación con H_2O_2 y $KMnO_4$ son igualmente efectivos para eliminar el Mn y ninguno de los dos introduce especies nuevas y contaminantes al residuo. La diferencia estriba en que al oxidar con $KMnO_4$ se va a obtener mayor cantidad de producto MnO_2 .

Para tratar este residuo se va a seleccionar el segundo método porque el $KMnO_4$ tiene la ventaja de que asegura la mineralización de la materia orgánica que contiene la solución ya que su poder oxidante es superior al de H_2O_2 . Además la mezcla de sales obtenida tiene un potencial uso en la práctica de Purificación del Cloruro de Sodio del Laboratorio I de Química Inorgánica, en la cual se puede incluir como impureza de la sal de NaCl.

De esta manera se logra eliminar otro residuo de los Laboratorios de Docencia.

RESIDUO 4

Procedencia:

El Residuo 4 proviene del Laboratorio de Principios de Química, es producto de un ensayo sobre las propiedades oxidantes del KMnO_4 , que sólo consta de éste reactivo en medio fuertemente básico, donde se forma la especie Manganato MnO_4^{-2} , Este residuo fue identificado con el código: Lab. QI-I R. 9.1.5.b (según figura 30)

Composición:

Manganato de Potasio (K_2MnO_4) e Hidróxido de Sodio (NaOH).

- Especies en solución: $\text{MnO}_4^{-2}(\text{ac}) + \text{K}^+(\text{ac}) + \text{Na}^+(\text{ac}) + \text{OH}^-(\text{ac})$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso y pH

Características:

Solución acuosa de color verde, oxidante, de aspecto homogéneo y pH 12

Cantidad del residuo:

Se preparó 50 mL de este residuo y se envasó en un recipiente de vidrio color ámbar.

Tabla 32. Concentración de Manganeso presente en el Residuo 4 determinada por FAAS.

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	pH
Experimental	356	12
Permitida por la Ley	10	6-9

Tratamientos aplicados:

Debido a que este residuo es sencillamente una solución de K_2MnO_4 en medio básico, se consideró emplearlo como reactivo en tratamientos de oxidación química de otros residuos, al igual que el Residuo 1.

Sin embargo, se propuso un tratamiento muy sencillo para disminuir la concentración de Manganeseo, que consistió en la adición de H_2O_2 para reducir la especie Manganato MnO_4^{-2} a $Mn(IV)$. A la solución resultante se le ajustó el pH a 7 añadiendo HCl concentrado.

Reacción de oxido-reducción:

- Tratamientos A:

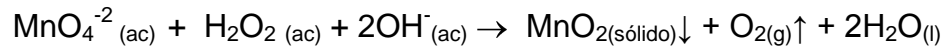


Tabla 33. Reactivos y productos empleados en el tratamiento de 50 mL de Residuo 4

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
A	Solución al 30% de H_2O_2	1 mL	MnO_2
Ajuste de pH	Solución HCl al 10%	3 mL	Solución R. 4.1

En la figura 58 se muestra el diagrama ecológico del tratamiento, donde se representan todas las especies químicas presentes en cada paso del proceso.

Figura 58. Diagrama ecológico del Residuo 4.

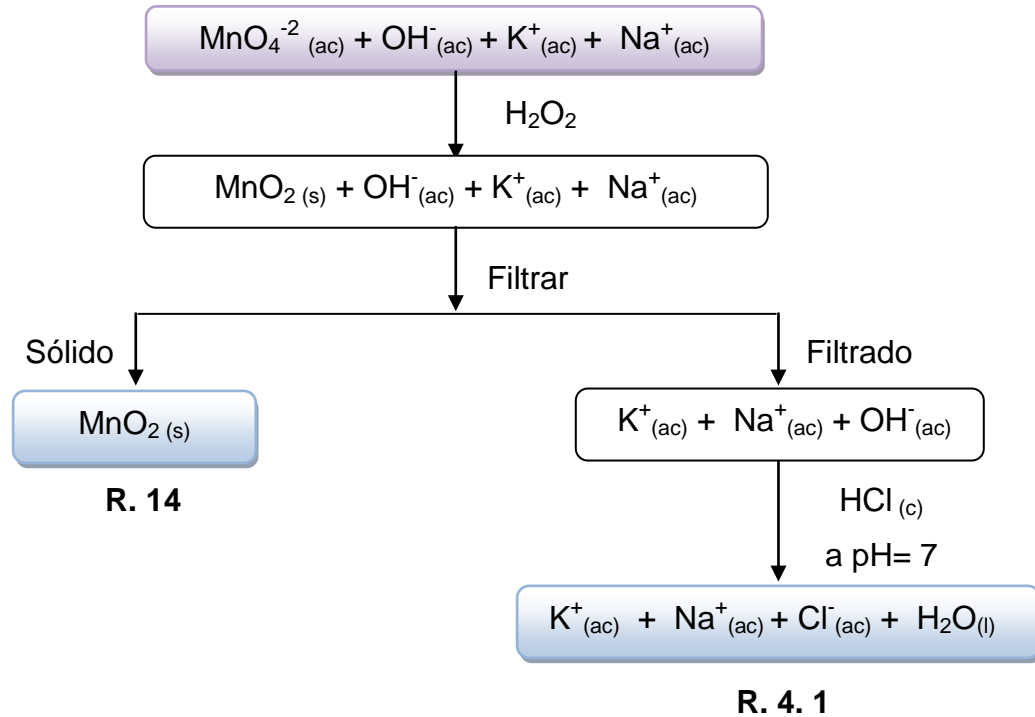


Tabla 34. Concentraciones de Manganeso después del tratamiento:

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	pH
R.4.1	No detectado	7

De este resultado se concluye que la solución R.4.1 es segura para ser descartada por el desagüe ya que cumple con todos los parámetros exigidos por la Ley. El MnO_2 obtenido fue reservado como Residuo 14.

RESIDUO 5

Procedencia:

El Residuo 5 proviene del Laboratorio I de Química Inorgánica, es una mezcla de dos sustancias fuertemente oxidantes como lo son el KMnO_4 y el Peroxisulfato de Potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) en medio ácido, donde no ocurre reacción. Este residuo posee el siguiente código: Lab. QI-I R.9.3.C.I (según figura 32)

Composición:

- Especies en solución: $\text{MnO}_4^-_{(\text{ac})} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-}_{(\text{ac})} + \text{K}^+_{(\text{ac})} + \text{H}^+_{(\text{ac})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{ac})}$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, sulfatos y pH

Características:

Solución acuosa de color violeta, fuertemente oxidante, de aspecto homogéneo y pH 1

Cantidad del residuo:

Se preparó 50 mL del residuo y se dispuso en un recipiente de vidrio color ámbar.

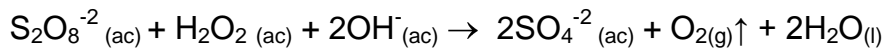
Tabla 35. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 5, determinadas por FAAS e IEC

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Experimental	302	23 131	1
Permitida por la Ley	10	400	6-9

Tratamientos aplicados:

Como este residuo es sencillamente una solución de KMnO_4 y $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ en medio ácido, se decidió emplearlo como reactivo en tratamientos de oxidación química de otros residuos, al igual que el Residuo 1 y 4.

Análogamente al Residuo 4, se planteó eliminar el carácter oxidante del residuo neutralizándolo con H_2O_2 como agente reductor y cambiando el pH a básico. Con esto se logra disminuir la concentración de Manganeso en solución reduciéndolo hasta el MnO_2 , al mismo tiempo que se reduce el Peroxidisulfato a Sulfato como se observa en la siguiente reacción:



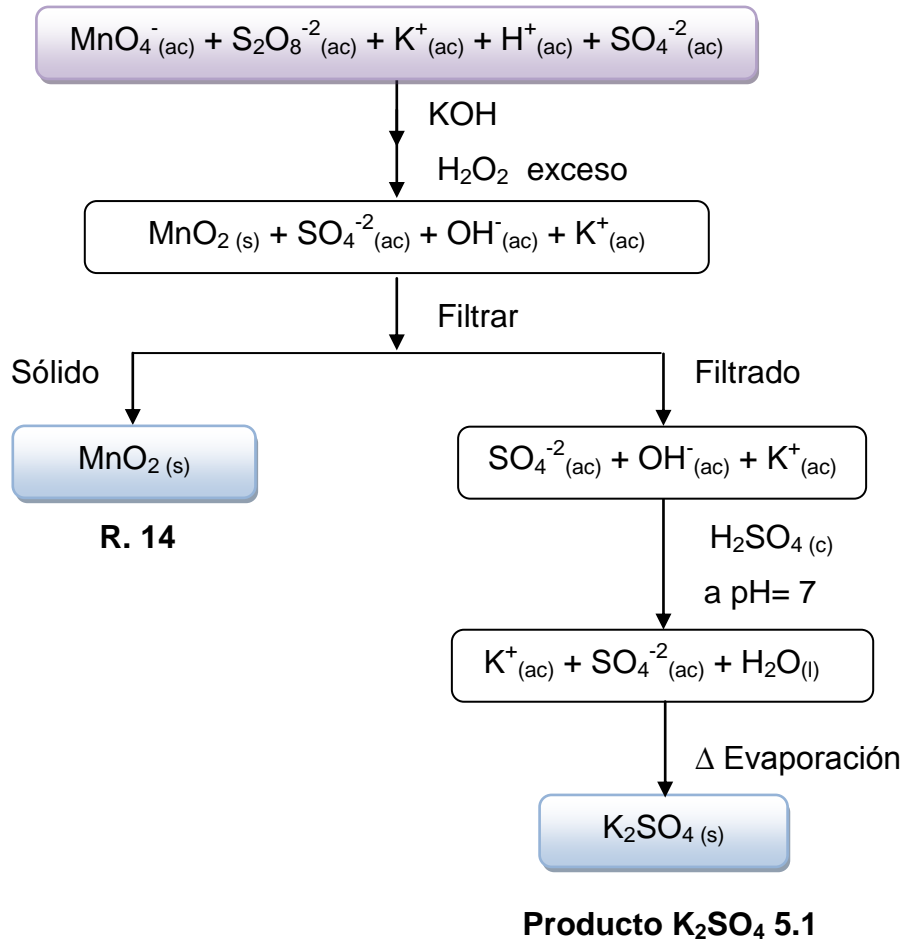
En el tratamiento de Sulfatos se empleó el proceso de evaporación del solvente aprovechando que la matriz de la solución es simple y se puede recuperar de K_2SO_4 .

Tabla 36. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento, partiendo de 50 mL de Residuo 5.

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	3 mL	llegar a pH 8-9
A	Solución al 30% de H_2O_2	3 mL	MnO_2 ,
Ajuste de pH	Solución de H_2SO_4 al 10%	1 mL	llegar a pH 7
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2 h	K_2SO_4

En la figura 59 se muestra el diagrama ecológico del método.

Figura 59. Diagrama ecológico del Residuo 5.



El MnO_2 y K_2SO_4 fueron recolectados para ser tratados y caracterizados posteriormente. Con la sal K_2SO_4 se preparó una solución de 10 000 ppm para determinar la concentración de Manganeseo.

Tabla 37. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Solución K ₂ SO ₄ 5.1	n. d.	--	7

Con estos resultados se puede deducir, al igual que en los residuos anteriores, que la precipitación de MnO₂ ocurre de manera cuantitativa por lo que es muy efectiva para eliminar Mn de la solución. Se pudo obtener la sal K₂SO₄ gracias a la sencillez de la solución y a la remoción completa de Mn

RESIDUO 6

Procedencia:

El Residuo 6 proviene del Laboratorio de Fisicoquímica, es el residuo de la oxidación del Alcohol Bencílico (PhCH₂OH) a Benzaldehído (PhCOH) con KMnO₄, donde el reactivo limitante es éste último y su concentración se encuentra muy por debajo de la relación estequiométrica, por lo que se considera la presencia de las 2 especies orgánicas en solución. Este residuo lleva el código: Lab. FQ R.Ox.AI.Ben (según figura 35)

Composición:

- Especies en solución: Mn⁺²_(ac) + PhCH₂OH_(ac) + PhCOH_(ac) + H⁺_(ac) + SO₄⁻²_(ac) + K⁺_(ac)
 - Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, Sulfatos y pH.
- Nota: Aunque en este artículo no se encuentra un límite de descarga para el Benzaldehído o el Alcohol Bencílico, en el Art. 9 del mismo decreto establece que

sustancias con efectos tóxicos como éstas (ver tabla 16, pág. 126), son objeto de regulación para toda descarga a cuerpos de agua.

Características:

Solución acuosa incolora, de fuerte olor característico a Benzaldehído, aspecto homogéneo y pH 2

Cantidad del residuo:

Se recolectaron 200 mL de residuo al realizar la práctica y se envasó en un recipiente de vidrio transparente.

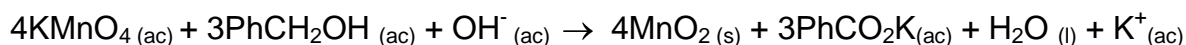
Tabla 38. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 6 determinadas por FAAS e IEC.

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Experimental	15	53 377	2
Permitida por la Ley	10	400	6-9

Tratamientos aplicados:

Para eliminar el Alcohol Bencílico y Benzaldehído se decidió oxidarlos hasta Benzoato que es una sustancia no peligrosa, empleando el mismo agente oxidante de la síntesis, KMnO_4 pero en medio básico. Según las reacciones:

- Reacción de oxidación del Alcohol Bencílico:



- Reacción de oxidación del Benzaldehído:



Con este tratamiento se logra, al mismo tiempo, la disminución de la concentración de Mn(II) en solución, ya que el KMnO_4 en medio básico oxida al Mn(II) hasta Mn(IV) y él se reduce a esta misma especie (tratamiento E).

Luego de aplicado el tratamiento oxidante se propusieron dos métodos para las otras especies, en el primero se precipitó el BaSO_4 (tratamiento N), y a la solución resultante se le ajustó el pH a 7 con la adición de HCl.

El segundo método constó de acidificar y concentrar la solución para transformar al Benzoato de Potasio (PhCO_2K) a su forma ácida, Ácido Benzoico, el cual es poco soluble en agua, al concentrar y enfriar la solución puede ser extraído de la misma. Después de ello se procedió a evaporar toda el agua para obtener la sal K_2SO_4 .

Tabla 39. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 100 mL de Residuo 6.

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	3 mL	llegar a pH 8-9
Tratamiento E	Solución 0,3M de KMnO_4	5 mL	MnO_2 , PhCOOH
Tratamiento N	Solución al 10% de $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	10 mL	BaSO_4 ,
Ajuste de pH	Solución de HCl al 10%	2 mL	Solución R.6.A
Ajuste de pH	Solución de H_2SO_4 al 10%	1 mL	llegar a pH ácido
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2 h	K_2SO_4

En las figuras 60 y 61 se muestran los diagramas ecológicos de los dos métodos.

Figura 60. Diagrama ecológico del Residuo 6. Primer método.

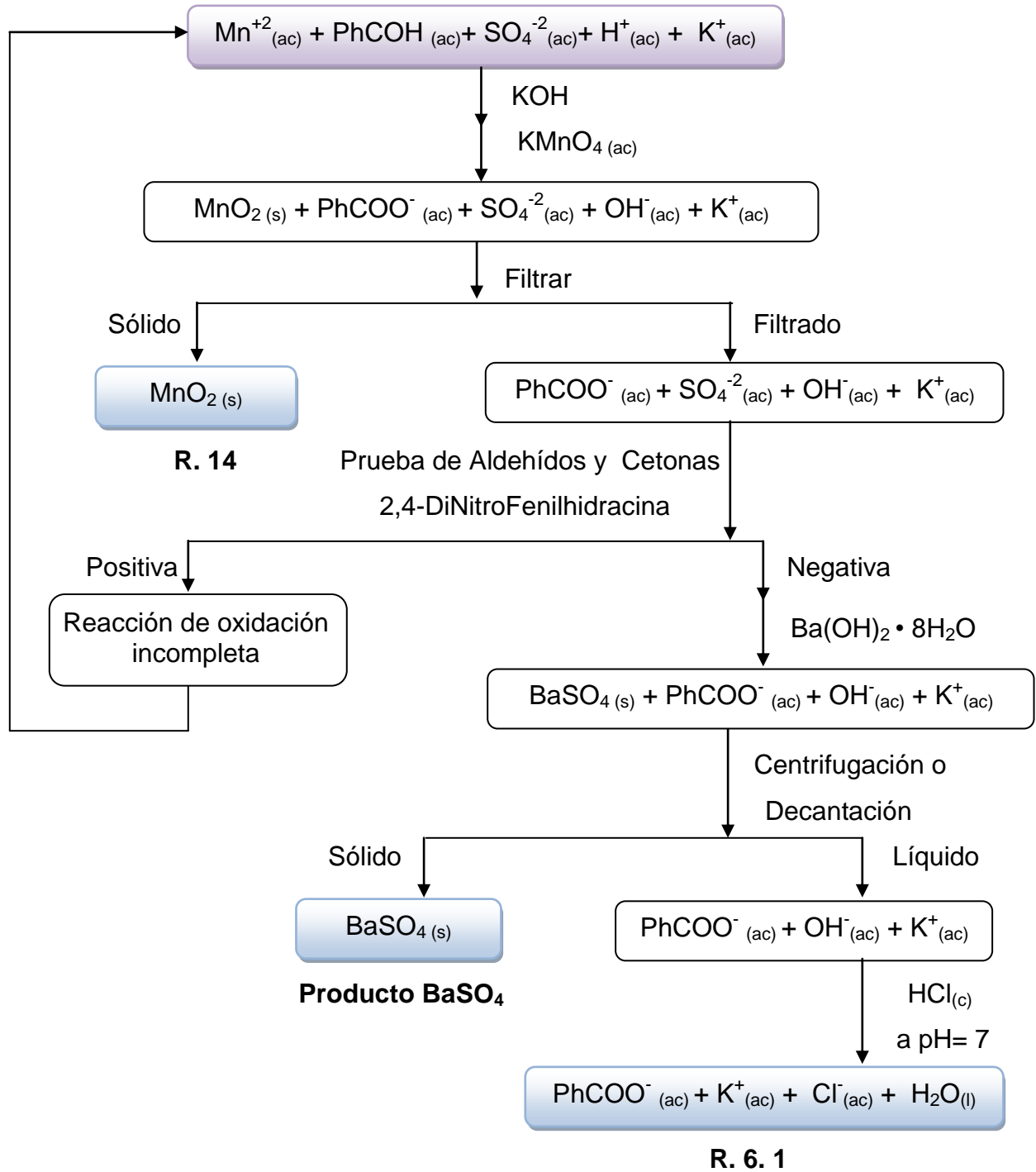
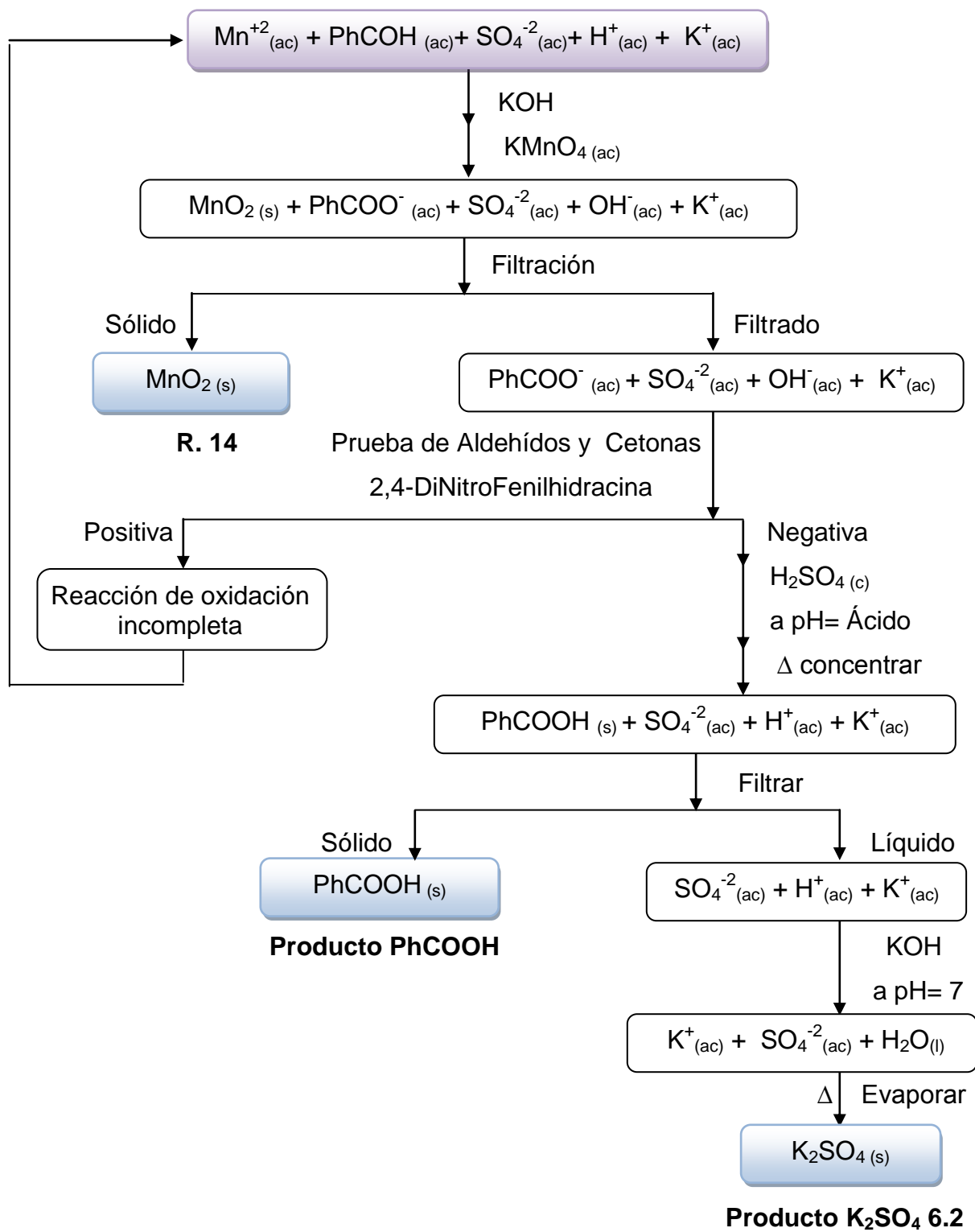


Figura 61. Diagrama ecológico del Residuo 6. Segundo método.



Los sólidos obtenidos MnO_2 , y K_2SO_4 fueron reservados para su tratamiento y caracterización posterior. Se midieron nuevamente las concentraciones de los contaminantes en la solución remanente denominada R.6.1 y en una solución de 10 000 ppm de sal de K_2SO_4 .

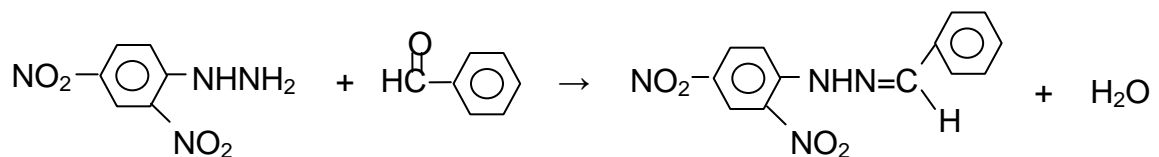
Tabla 40. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Ba ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
R.6.1	n. d.	2,79	< 200	7
Solución K_2SO_4 6.2	n. d.	--	--	7

No se detectó Manganeso por lo que se concluye que el tratamiento con KMnO_4 fue eficiente en la eliminación de este contaminante. Adicionalmente, en el primer método se logró precipitar sulfatos sin introducir una cantidad significativa de Bario a la solución, logrando disminuir su concentración por debajo de los límites permitidos. Por lo anterior, la solución R.6.1 es segura para ser descartada por el desagüe.

En el segundo método no se generaron sub-residuos y se obtuvieron tres productos. El compuesto PhCO_2H recuperado fue recristalizado con agua y una vez purificado puede ser utilizado como reactivo de laboratorio. Por ello se eligió este método

La eficiencia del tratamiento de oxidación a Benzoato fue medida por dos vías, primero se verificaba la presencia de Benzaldehído en una muestra de la solución después de transcurrida la reacción de oxidación, por medio de la prueba de 2,4-DiNitroFenilhidracina (DNF), según la siguiente reacción:



En la cual, se observó un precipitado color anaranjado que fue indicativo de la formación de la 2,4-Dinitrofenilhidrazona, siendo la prueba positiva. En este caso se añadió más KMnO_4 hasta que la prueba dio negativa.

Segundo, se tomaron espectros de UV-Vis aprovechando el hecho de que tanto los reactivos y como los productos, es decir, que el Alcohol Bencílico, el Benzaldehído y el Acido Benzoico poseen señales bien diferenciadas como se aprecia en los espectros de las tres sustancias puras presentados en la tabla inferior. La muestra tomada era acidificada con unas gotas de HCl concentrado para transformar la especie Benzoato a su forma ácida, con ello se verificó el proceso de oxidación observando la desaparición de los picos característico del alcohol y del aldehído, como se muestra en la tabla 42.

En primer lugar, se le tomó el espectro al Residuo 6 sin tratarlo, en el que se observaron cuatro picos a 220, 248, 257 y 280 nm, los cuales por comparación con los espectros de los compuestos puros, pueden ser asignados de la siguiente manera: los picos a 220 y 257 nm al Alcohol Bencílico y los picos a 248 y 280 nm al Benzaldehído.

El segundo espectro de la tabla 42 es de la muestra tomada luego de consumido la primera adición de KMnO_4 , aquí también se obtuvieron cuatro picos, los de longitud de onda 230 y 273 nm corresponden al Ácido Benzoico recién formado y los picos a 242 y 280 nm son del Benzaldehído todavía presente, lo que indicó que la reacción no se había completado, sin embargo en este espectro no aparecieron los picos característicos al alcohol, por lo que se infiere que éste se consumió completamente en la reacción.

El último espectro es de la solución final, en este sólo se aprecian dos picos correspondientes al Ácido Benzoico corroborando que la reacción de oxidación fue completa y que tanto el Alcohol bencílico como el Benzaldehído fueron eliminados de la solución.

Tabla 41. Espectros de los compuestos puros

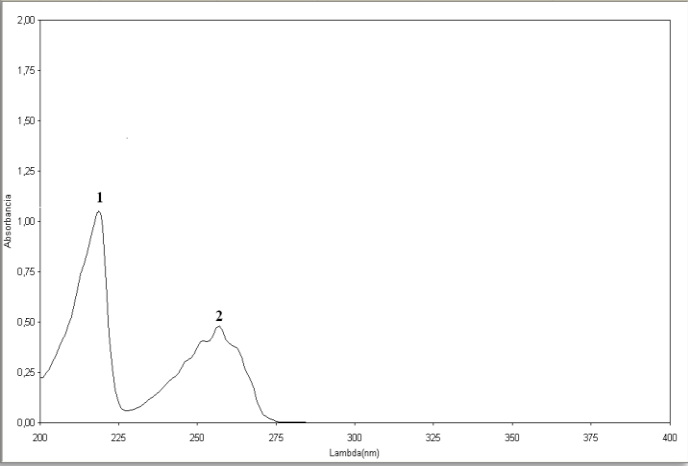
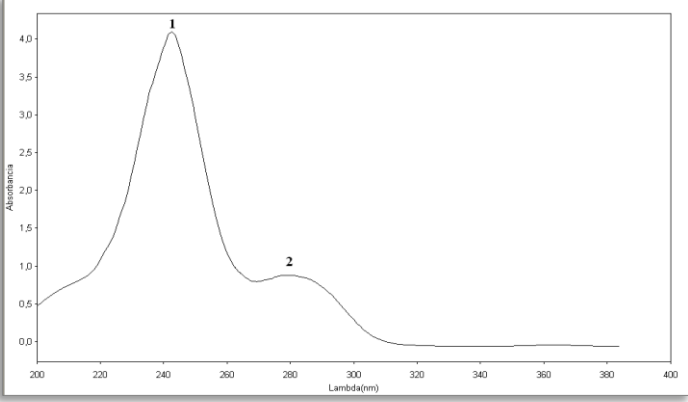
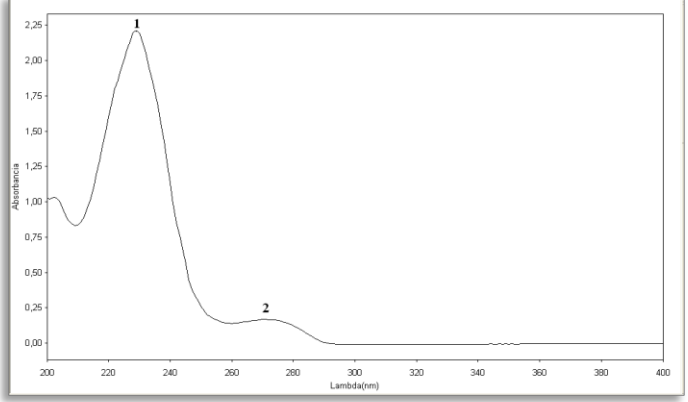
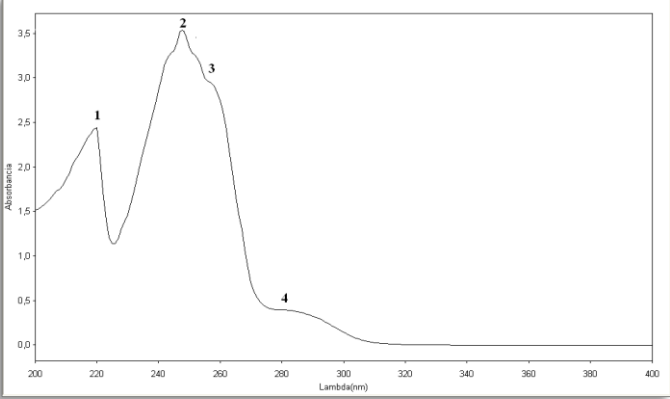
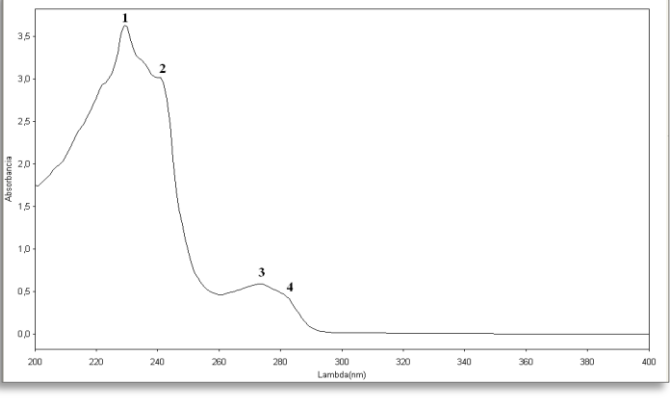
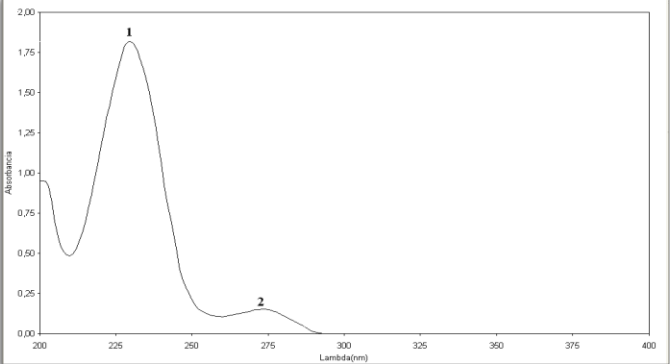
Compuesto	Espectros	Numero de pico	Longitud de onda
Alcohol Bencílico		1	220
		2	257
Benzaldehído		1	244
		2	280
Ácido Benzoico		1	230
		2	270

Tabla 42. Espectros de los residuos

Muestra	Espectros	Numero de pico	Longitud de onda
Residuo 6 antes del tratamiento		1	220
		2	248
		3	257
		4	280
Residuo 6 después de la primera adición de KMnO_4 ,		1	230
		2	242
		3	273
		4	280
Residuo 6 después del tratamiento		1	230
		2	273

RESIDUO 7

Procedencia:

El Residuo 7 proviene del Laboratorio II de Orgánica, es la solución remanente de la oxidación de la Ciclohexanona hasta Acido Adípico con KMnO_4 en medio básico, donde se han extraído dos productos de reacción como lo son el MnO_2 y el Ácido Adípico ($\text{HO}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}_2\text{H}$), por lo que se considera que sus concentraciones son mínimas en solución. Este residuo lleva el código de Lab. QO-II R. 6.7.2 (ver figura 49)

Composición:

- Especies en solución: $\{\text{Mn}^{+2}_{(\text{ac})} + \text{HO-CO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO-OH}_{(\text{ac})}\}_{\text{remanentes}} + \text{H}^{+}_{(\text{ac})} + \text{K}^{+}_{(\text{ac})} + \text{Na}^{+}_{(\text{ac})} + \text{Cl}^{-}_{(\text{ac})}$

- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganese y pH.

Nota: En este artículo no se encuentra un límite de descarga para el Acido Adípico que es una sustancia irritante, sin embargo en el Art. 9 del mismo decreto establece que este tipo de sustancias son objeto de regulación para toda descarga a cuerpos de agua.

Características:

Solución acuosa incolora, aspecto homogéneo y pH 1

Cantidad del residuo:

Se recogieron 200 mL del residuo y fue dispuesto en un recipiente de vidrio transparente.

Tabla 43. Concentración inicial de Manganeso presente en Residuo 7 determinada por FAAS.

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	pH
Experimental	3,7	2
Permitida por la Ley	10	6-9

Tratamientos aplicados:

En este residuo la concentración de Manganeso inicial se encuentra por debajo del límite permitido para la descarga a las redes cloacales. Sin embargo, existe otro contaminante a tratar, el Ácido Adípico, para el cual se planteó un tratamiento.

En primer lugar, para descartar la presencia de Ciclohexanona que haya quedado sin reaccionar o de productos intermediarios provenientes de su oxidación incompleta, tal como el 1,6-dihexanal ($\text{HOC}-(\text{CH}_2)_4\text{-COH}$), se aplicó la prueba de la 2,4-Dinitrofenilhidracina (DNF) a una muestra del residuo, ya que ésta es sensible a la presencia de aldehídos y cetonas, como se expuso en el residuo anterior.

En el caso de que esta prueba diera positiva, se propuso repetir el procedimiento de oxidación de la síntesis inicial, añadiendo más KMnO_4 hasta que la prueba dé negativa. Este tratamiento también logra disminuir la concentración del Mn(II) remanente, ya que lo oxida hasta MnO_2 , y el exceso del reactivo es fácilmente perceptible por su coloración y se puede eliminar agregando pequeñas cantidades de etanol, obteniendo el mismo producto MnO_2 .

Luego, la solución resultante se acidifica con HCl para extraer el Ácido Adípico y por último se neutraliza el pH con una solución de KOH al 10%.

Tabla 44. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento para 50 mL de Residuo 7.

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Prueba 2,4-DNF	2,4-DiNitroFenilhidracina al 3%	2 gota	--
E	Solución 0,3 M de KMnO_4	3 mL	MnO_2
Ajuste de pH	Solución al HCl al 10%	2 mL	Ácido Adípico
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	3 mL	Solución R. 7. 1

En las figuras 62 se muestra el diagrama ecológico correspondiente.

Figura 62. Diagrama ecológico del Residuo 7.

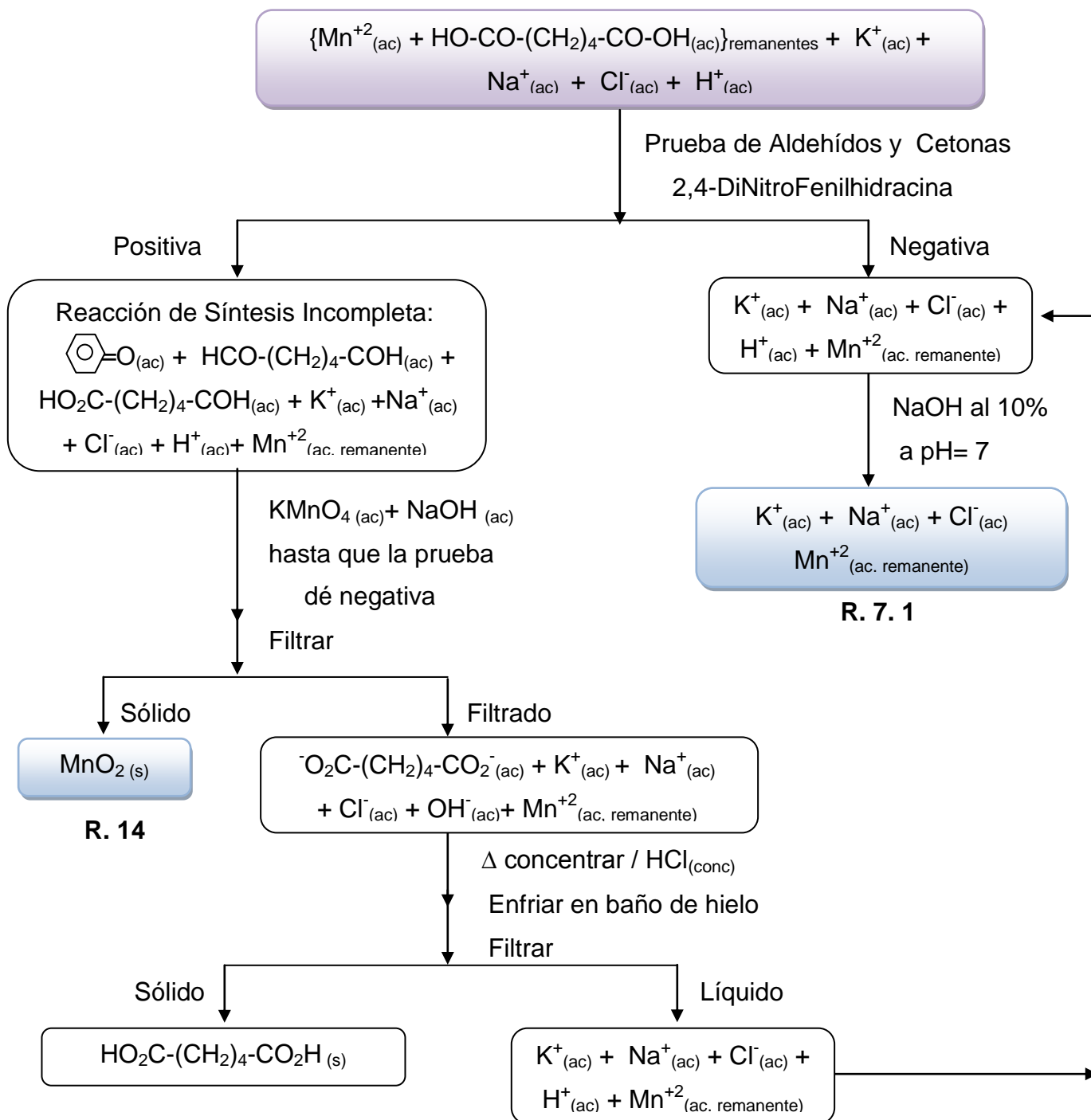


Tabla 45. Concentración de Manganeso después del tratamiento

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	pH	Prueba de 2,4-DNF
R.7.1	2,3	7	negativa

La prueba de 2,4-DNF dio positiva en la solución inicial del Residuo 7, lo que se atribuye a la Ciclohexanona sin reaccionar y/o sub-productos de la reacción de síntesis, por ello se aplicó el tratamiento con KMnO_4 que resultó eficiente en la eliminación de los aldehídos y cetonas de la solución ya que los oxidó hasta el Ácido Adípico, el cual da negativa a la prueba y se puede extraer de la solución al acidificar el medio debido a que es insoluble en medio acuoso.

Adicionalmente, se observa que el empleo de KMnO_4 hizo disminuir la concentración del Mn(II) en solución según lo explicado anteriormente, como se observa en la tabla 45. Con estos resultados se puede descartar la solución R.7.1 de manera segura por el desagüe.

RESIDUO 8

Procedencia:

El Residuo 8 proviene del Laboratorio I de Química Inorgánica, es la solución remanente de la oxidación de Ioduro a Yodato con KMnO_4 en medio neutro, donde se han extraído dos productos de reacción como lo son el MnO_2 y el Yodato de Potasio (KIO_3), por lo que se considera que sus concentraciones son mínimas en solución. Este residuo posee el siguiente código: Lab. QI-I R.10.3.II (ver figura 34)

Composición:

- Especies en solución: $\{Mn^{+2}_{(ac)} + IO_3^{-}_{(ac)} + CH_3CH_2OH_{(ac)}\}_{remanentes} + K^{+}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + CH_3COO^{-}_{(ac)}$

- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeseo, sulfatos y pH

Nota: el Art. 9 del mismo decreto establece que sustancias con efectos oxidantes e irritantes como el Yodato (ver tabla 15, pág. 125), son objeto de regulación para toda descarga a cuerpos de agua.

Características:

Solución acuosa de incolora, de aspecto homogéneo y pH 6

Cantidad del residuo:

Se recolectaron 220 mL en un recipientes de vidrio transparente

Tabla 46. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 8, determinadas por FAAS y por titulación.

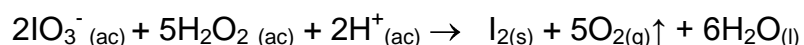
Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	% Yodo	pH
Experimental	447	(0,1344 \pm 0,0001)	6
Permitida por la Ley	10	No tiene	6-9

Tratamientos aplicados:

En principio se eliminó el Yodato remanente en el Residuo 8 por reacción de oxido-reducción empleando como agente reductor al H_2O_2 , en esta reacción se produce Yodo (I_2) y al aplicar calor se libera de la solución, observándose como el desprendimiento de un gas violeta que puede ser condensado y así recuperar el Yodo en estado sólido.

Para llevar a cabo esto, se propusieron 2 métodos. Primero se llevó a cabo la reacción en un beaker tapado con vidrio reloj o una cápsula de porcelana que en su interior contenía hielo (tratamiento P, ver montaje en tabla 7, pág. 66) y segundo se empleó un sistema sublimador (tratamiento Q, ver montaje en tabla 7, pág. 66)

- Reducción del Yodato:

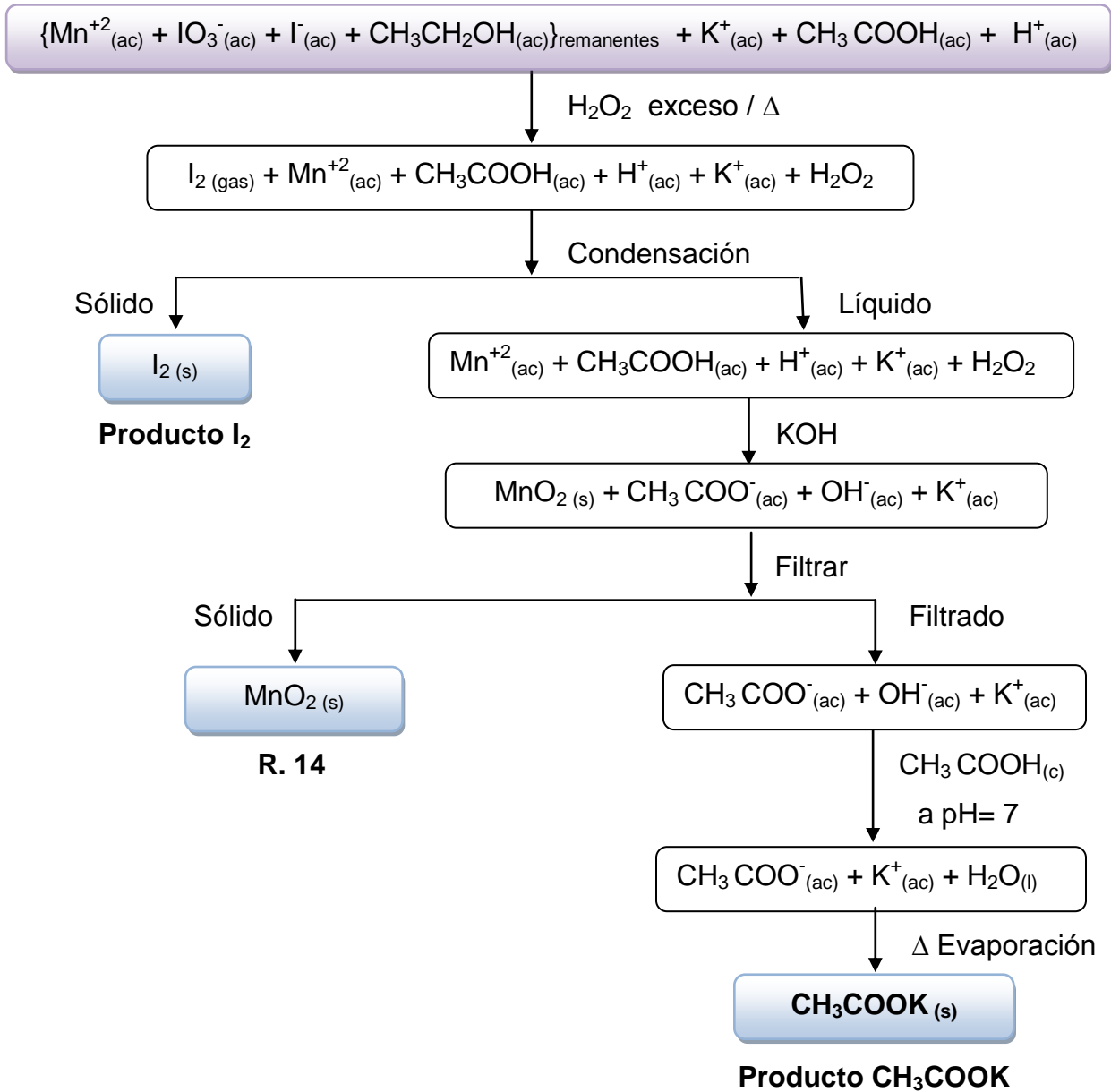


Con este tratamiento queda en solución un exceso de H_2O_2 que es aprovechado para la oxidación de la especie Mn(II) , en medio básico. Luego de la eliminación de Manganese se decidió evaporar el agua de la solución a pH neutro para recuperar la sal $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$ por lo cual se empleó el Ácido Acético para neutralizar el pH de la solución.

Tabla 47. Reactivos y productos empleados para el tratamiento

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
A	Solución al 30% de H_2O_2	4 mL	I_2
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	2 mL	MnO_2 ,
Ajuste de pH	$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{c})}$	3 mL	llegar a pH 7
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2 h	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$

Figura 63. Diagrama ecológico del Residuo 8.



En la eliminación de Yodato se observó que en el sistema beaker-cápsula de porcelana, el gas Yodo se perdía a través del “pico” del beaker, además que el sólido condensado se humedecía rápidamente por el agua también condensada sobre la

superficie. En cambio, con el sistema sublimador no se presentaron estos inconvenientes y se logró recuperar Yodo.

Para verificar la efectividad del tratamiento completo se midieron nuevamente las concentraciones de los contaminantes en una solución de 10 000 ppm de la sal CH_3COOK recuperada.

Tabla 48. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	% Yodo	pH
Solución CH_3COOK	No detectado	0	7

Estos valores indican que el método fue efectivo en la eliminación de Mn y Yodato. Además, con estos datos se puede evaluar la pureza de la sal recuperada, donde se puede concluir que la sal obtenida de esta manera tiene un alto grado de pureza y se puede proponer para emplearla como reactivo de laboratorio.

Este método no generó sub-residuos y permitió la recuperación de todas las especies presentes, lo que le da un valor agregado ya que los tres compuestos tienen un potencial uso.

RESIDUO 9

Procedencia:

El Residuo 9 proviene del Laboratorio I de Química Inorgánica, es la mezcla de los 2 ensayos del estudio comparativo sobre el poder oxidante del H_2O_2 y el $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ frente al Mn(II) a los que se le ha agregado Nitrato de Plata AgNO_3 como catalizador de la reacción. Estos 2 residuos poseen los códigos: Lab. QI-I R.9.3.B.I y Lab. QI-I R.9.3.B.II (fase líquida) (según figura 31)

Composición:

- Especies en solución: $Mn^{+2}_{(ac)} + Ag^{+}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)} + H^{+}_{(l)} + K^{+}_{(ac)}$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeseo, Plata, nitratos (como nitrógeno total), sulfatos y pH

Características:

Solución acuosa incolora, de aspecto homogéneo, efervescente y pH 2

Cantidad del residuo:

Se preparó 100 mL del residuo y se colocó en un recipiente de vidrio transparente.

Tabla 49. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 9, determinadas por FAAS y IEC.

Concentración	Mn (± 0,6%)ppm	Ag (± 0,6%)ppm	Sulfatos (x ± 0,2%)ppm	pH
Experimental	322	423	29 852	2
Permitida por la Ley	10	0,1	400	6-9

Tratamiento aplicado:

La mezcla de los dos residuos resultó una solución incolora y efervescente debido al exceso del reactivo H_2O_2 en el ensayo B.II, esta característica se aprovechó para el tratamiento de oxidación del Mn(II) hasta Mn(IV) en medio básico.

Primero se tuvo que eliminar la Plata del Residuo 9 ya que esta puede contaminar el producto deseado (MnO_2) por formación del Óxido de Plata Ag_2O que

también es un sólido marrón y se puede formar en el proceso de oxidación del Mn(II). Con este fin se seleccionó precipitar la Plata como Cloruro de Plata AgCl (tratamiento L) que es un sólido blanco muy fino y es removido de la solución por centrifugación. Para ello se añadió la sal NaCl, la cual es una sustancia no tóxica y no interfiere en los pasos subsiguientes.

Luego simplemente se basificó el medio para favorecer la reacción de oxidación del Mn(II) por efecto del H₂O₂ remanente (tratamiento A).

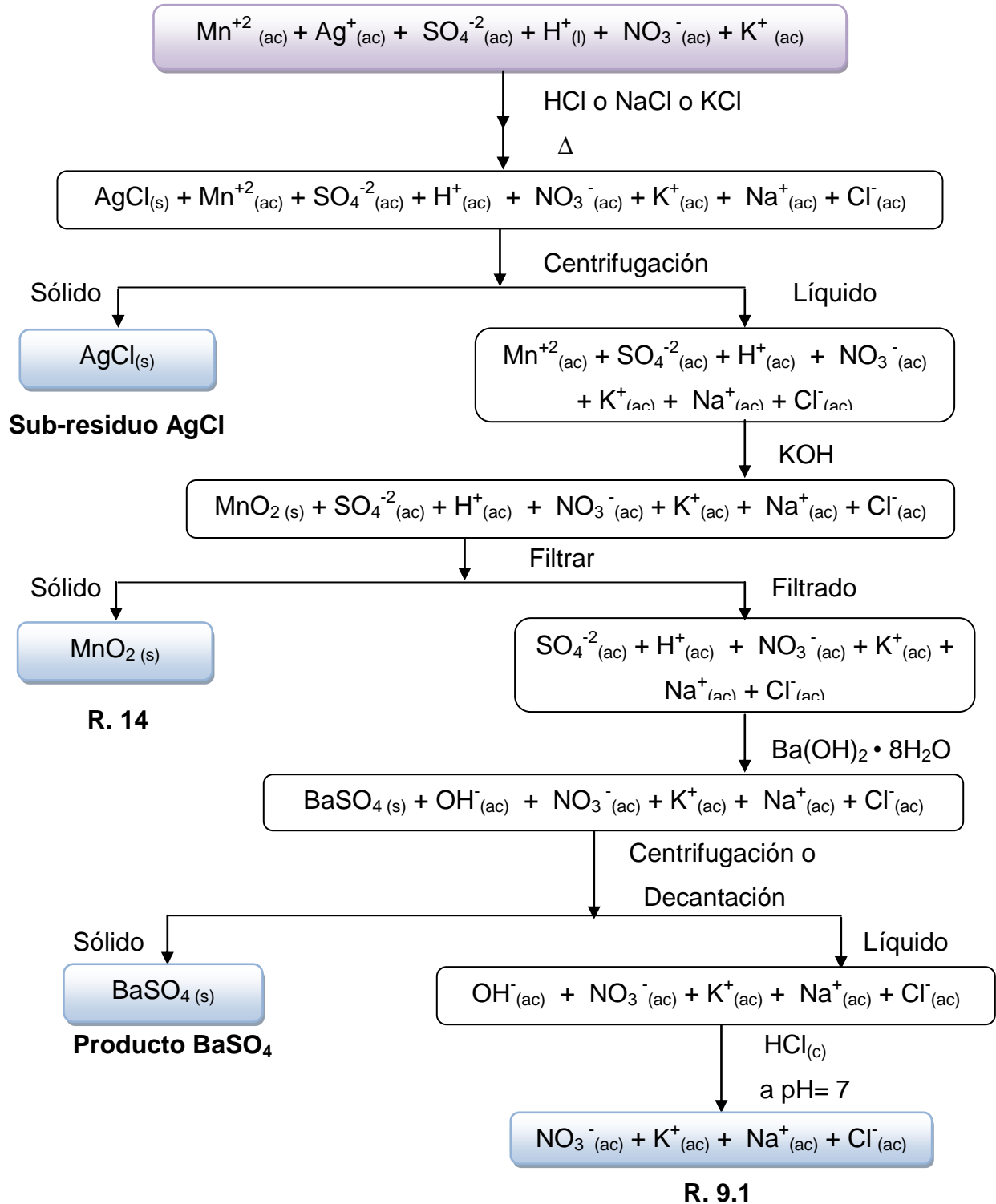
Una vez separado el MnO₂ por filtración se procedió a tratar los sulfatos agregando solución de Bario. A la solución final se le ajusta el pH a neutro con HCl. El último contaminante que queda por tratar es el nitrato pero como se explicó anteriormente esto no se va a llevar a cabo.

Tabla 50. Reactivos y productos empleados para el tratamiento

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
L	Solución de NaCl al 10%	3 mL	AgCl
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	3 mL	MnO ₂ ,
N	Solución de BaCl ₂ al 10%	10 mL	BaSO ₄ ,
Ajuste de pH	Solución de HCl al 10%	2 mL	Solución R. 9. A

En la figura 64 se muestra el diagrama ecológico para este residuo.

Figura 64. Diagrama ecológico del Residuo 9.



Se midieron nuevamente las concentraciones de los contaminantes y además se incluyó el análisis de la concentración de Bario. Para ello se tomó la solución remanente denominada R.9.1.

Todos los productos y sub-residuos fueron secados en la estufa y reservados para ser tratados y caracterizados más adelante.

Tabla 51. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn (± 0,6%)ppm	Ag (± 0,6%)ppm	Ba (± 0,6%)ppm	Sulfatos (± 0,2%)ppm	pH
R.9.1	0,34	0,4	No detectado	< 200	7

Con estos resultados se evidencia que el tratamiento planteado fue el adecuado, la concentración de Manganeso se disminuyó y esta por debajo del límite de descarga, Se redujo la presencia de sulfatos sin introducir una cantidad significativa de Bario a la solución, gracias al ensayo de control de precipitación de sulfatos.

En el caso de la Plata aunque se logró reducir su concentración, ésta es cuatro veces mayor que lo permitido por la ley. En este caso como la diferencia es tan cerrada con el valor permitido (0,1 ppm) se puede aplicar la dilución y de esta manera la solución R.9.1 puede ser descartada por el desagüe.

RESIDUO 10

Procedencia:

El Residuo 10 proviene del Laboratorio I de Química Inorgánica, es la solución generada en la titulación de Antimonio con KMnO_4 en medio ácido. A este residuo se le etiquetó con el código: Lab. QI-I R.6.5 (según figura 29)

Composición:

- Especies en solución: $\text{Mn}^{+2}_{(\text{ac})} + \text{Sb}^{+5}_{(\text{ac})} + \text{SO}_4^{-2}_{(\text{ac})} + \text{Cl}^{-}_{(\text{ac})} + \text{H}^{+}_{(\text{ac})} + \text{K}^{+}_{(\text{ac})}$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, Antimonio, sulfatos y pH.

Nota: En el Art. 6 no establece el límite máximo para la descarga de Antimonio. En el Art. 9 lo incluyen en el listado de sustancias para las cuales existe evidencia teórica o práctica de su efecto tóxico, agudo o crónico.

Características:

Solución acuosa incolora, de aspecto homogéneo y pH 1

Cantidad del residuo:

Se recolectaron 500 mL de residuo y fue dispuesto en un envase de vidrio transparente.

Tabla 52. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 10, determinadas por FAAS e IEC.

Concentración	Mn ($\pm 0,6\%$)ppm	Sb ($\pm 0,6\%$)ppm	Sulfatos ($\pm 0,2\%$)ppm	pH
Experimental	199	825	88 132	1
Permitida por la Ley	10	No tiene	400	6-9

Tratamientos aplicados:

Se propuso obtener el MnO_2 por dos métodos, empleando H_2O_2 y KMnO_4 en medio básico (tratamiento B y E respectivamente), pero en una prueba preliminar se observó que al aumentar el pH de la solución precipitaba un sólido blanco correspondiente a la formación del oxiclورو de Antimonio, producto de su hidrólisis según la siguiente reacción:



Por tanto se decidió eliminar primero el Antimonio antes de llevar a cabo la oxidación del Mn(II), para ello se empleó el tratamiento K (tabla 7, pág. 64), el cual consiste en aumentar el pH añadiendo KOH hasta un valor neutro y en presencia de iones cloruro se logra precipitar al Sb, que es eliminado por filtración simple.

La diferencia entre el primer y segundo método estriba en el agente oxidante utilizado, esto permite comparar la efectividad de ambos para este residuo. A la solución remanente de la eliminación de Antimonio se le agregó el agente oxidante, ya sea H_2O_2 o KMnO_4 para obtener el MnO_2 y se separó por filtración.

La solución resultante es una mezcla sencilla de iones sulfato, potasio y cloruro en medio básico, por ello se planteó reducir la concentración de sulfatos añadiendo una

solución saturada de BaCl_2 a pH neutro. También se propuso evaporar a sequedad para recuperar la sal mixta correspondiente.

A continuación se presenta una tabla resumen de los reactivos empleados en cada tratamiento y los productos obtenidos, partiendo de 50 mL de Residuo 10 en cada caso.

Tabla 53. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	3 mL	SbOCl
B	Solución al 30% de H_2O_2	2 mL	MnO_2
E	Solución 0,3 M de KMnO_4	2 mL	MnO_2
Eliminación de KMnO_4 en exceso	Etanol	2 mL	MnO_2
Ajuste de pH	Solución de HCl al 10%	2 mL	Solución R.10.A
N	Solución al 10% de BaCl_2	30 mL	BaSO_4 ,
Evaporación	Plancha / estufa	30 min / 2 h	$\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KCl}$

En las figuras 65 y 66 se muestran los dos métodos aplicados respectivamente.

Figura 65. Diagrama ecológico del Residuo 10. Primer método.

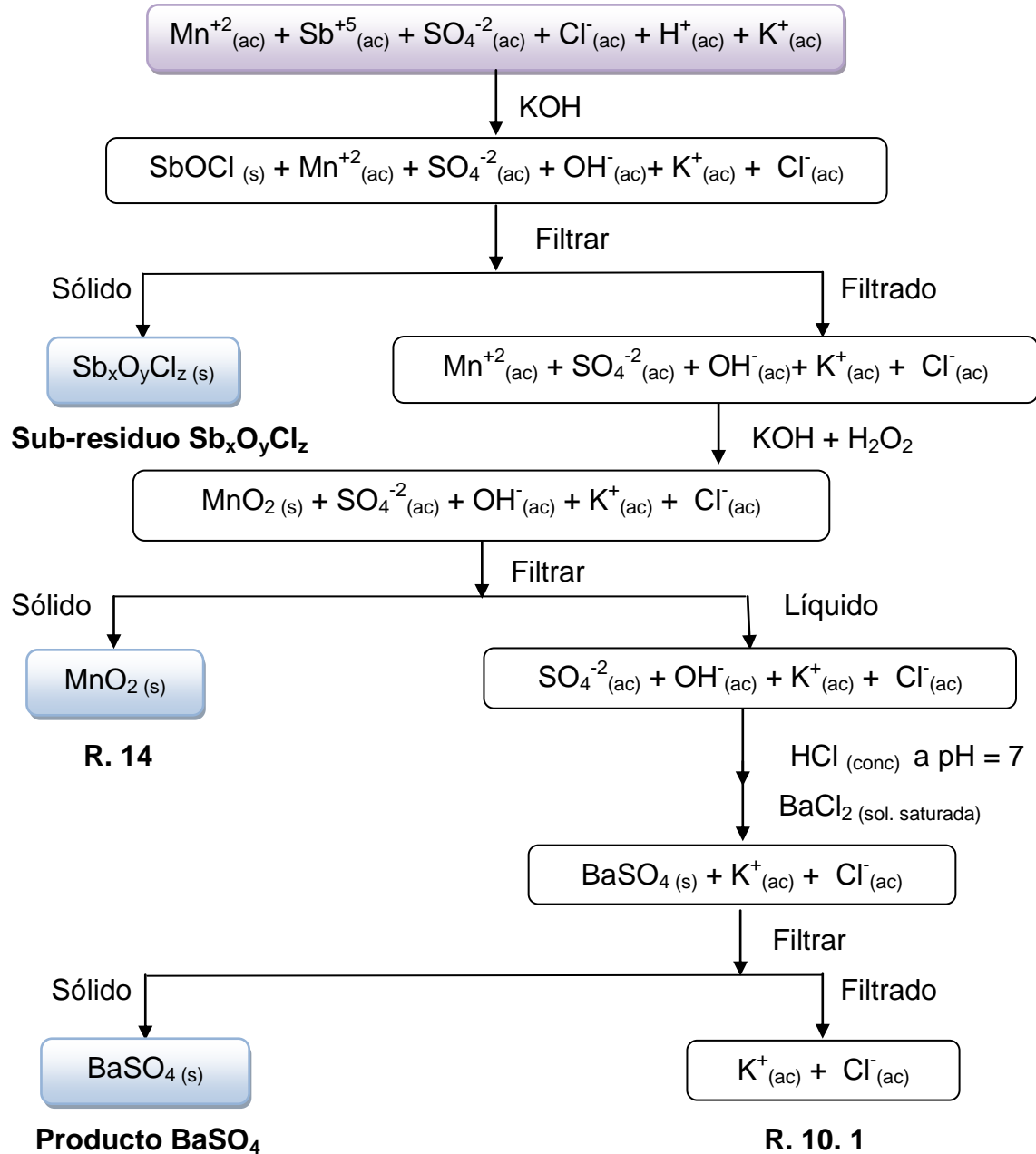
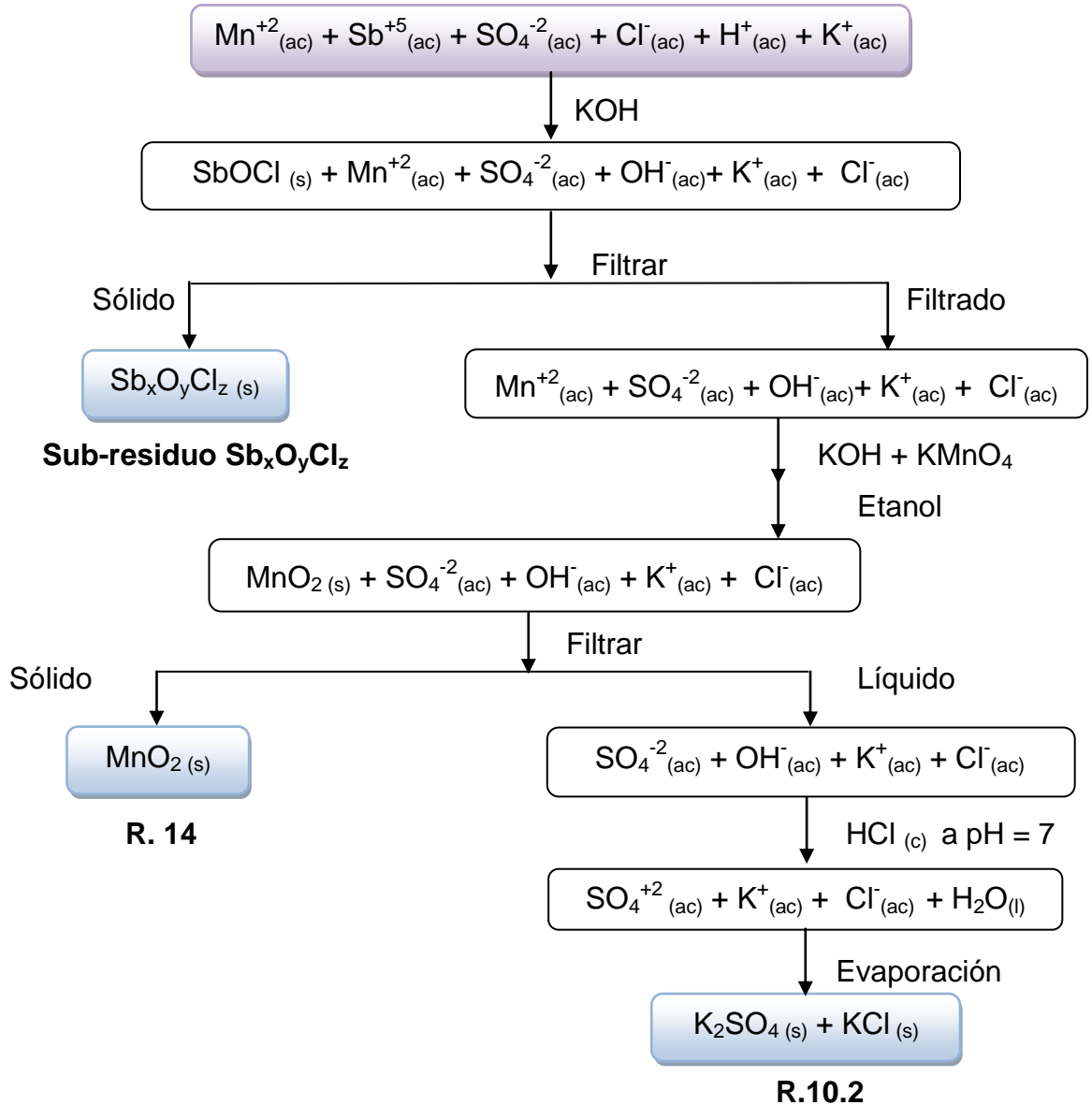


Figura 66. Diagrama ecológico del Residuo 10. Segundo método.



Con la sal mixta K_2SO_4 / KCl del segundo método se preparó una solución de 10 000 ppm para determinar la concentración de Manganeso y Antimonio.

Tabla 54. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn (± 0,6%)ppm	Sb (± 0,6%)ppm	Ba (± 0,6%)ppm	Sulfatos (± 0,2%)ppm	pH
R.10.1	0,74	15,24	No detectado	< 200	7
Solución de K ₂ SO ₄ / KCl	No detectado	10,28	--	--	7

Con estos resultados se confirma que tanto el H₂O₂ y el KMnO₄ son efectivos para oxidar al Mn(II) hasta MnO₂ y que la precipitación de éste ocurre de manera cuantitativa por lo que ambos tratamientos eliminaron eficientemente Mn de la solución.

Con respecto al Antimonio, se logró disminuir significativamente su concentración, sin embargo, como en la ley no está establecido un límite de concentración seguro para vertidos de este metaloide no se puede asegurar que las concentraciones obtenidas luego del tratamiento son las apropiadas. El compuesto de Antimonio precipitado es un sólido irritante de las mucosas y de la piel, por lo que hay que emplear los equipos de protección apropiados para su manipulación. Este producto no tiene una utilidad inmediata. La ventaja de este método es que solo se empleó un reactivo KOH y se obtuvo un compuesto en estado sólido lo que facilita su contención y almacenaje

En el primer tratamiento se obtuvo el BaSO₄, y como se aprecia en la tabla anterior, la solución R.10.1 tiene una concentración de sulfatos por debajo del límite establecido, igualmente para el Bario lo que indica que se empleó la cantidad justa del agente precipitante BaCl₂. En el segundo método se recuperó una sal mixta correspondiente a los iones que quedaron en solución luego de la eliminación de Mn y Sb, por ello se midieron las concentraciones de estos dos últimos en una solución hecha de esta sal.

Tanto la sal de BaSO_4 como la sal mixta de $\text{K}_2\text{SO}_4 / \text{KCl}$ son no sustancia tóxicas ni peligrosas para el medio ambiente y se pueden emplear como impureza de la sal en la práctica de Purificación del Cloruro de Sodio del Laboratorio I de Química Inorgánica, al igual que la sal mixta obtenida en el Residuo 3. Para este residuo se seleccionó el segundo método

RESIDUO 11

Procedencia:

El Residuo 11 proviene de los Laboratorios de Principios de Química y de Química Inorgánica I, es una mezcla de 3 sustancias generadas en la titulación de Hierro con KMnO_4 y de la disolución de acero con agua regia. Estos tres residuos poseen los siguientes códigos: Lab. PQ R. 9.3, Lab. Inst. R. Solución de Acero y Lab. Inst. R. Patrones Ad. Est. Mn (según figuras 28, 43 y 47)

Composición:

- Especies en solución: $\text{Mn}^{+2}_{(ac)} + \text{Fe}^{+3}_{(ac)} + \text{H}_3\text{PO}_4_{(ac)} + \text{SO}_4^{-2}_{(ac)} + \text{H}^{+}_{(ac)} + \text{NO}_3^{-}_{(ac)} + \text{Cl}^{-}_{(ac)} + \text{K}^{+}_{(ac)}$
- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, Hierro, fosfatos (como Fósforo total), sulfatos, nitratos y pH

Características:

Solución acuosa de color amarillo claro, de aspecto homogéneo y fuertemente ácida pH 1

Cantidad del residuo:

Se preparó 200 mL de muestra tomando partes iguales de cada uno de los 3 residuos anteriores y se almacenó en un envase de vidrio transparente.

Tabla 55. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 11, determinadas por FAAS y IEC.

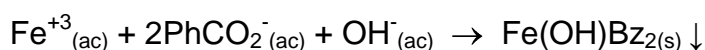
Concentración	Mn (± 0,6%)ppm	Fe (± 0,6%)ppm	Fosfatos (± 0,6%)ppm	Sulfatos (± 0,2%)ppm	pH
Experimental	212	4 957	47 438	24 429	1
Permitida por la Ley	10	25	31*	400	6-9

* En el Art.15 del Decreto 883 esta establecido la concentración de Fósforo total (expresado como Fósforo) en 10 ppm lo que es equivalente a 30,67 ppm al expresarlo como concentración de Fosfato.

Tratamientos aplicados:

Al igual que en el Residuo 10, se propuso obtener el MnO₂ empleando H₂O₂ y KMnO₄ en medio básico. Aquí también se obtuvo un precipitado blanco al incrementar el pH de la solución con KOH en una prueba preliminar, éste corresponde al Hidróxido de Hierro Fe(OH)₃, hay que tener en cuenta que por encima de pH 8 también empieza a precipitar Mn(OH)₂.

Por lo anterior se decidió eliminar primero de la solución al Hierro controlando el pH con el buffer de ácido benzoico- benzoato de potasio que permite mantener el pH entre 3-4 el cual es apropiado para realizar la precipitación selectiva. Bajo estas condiciones se obtiene el Hidroxibenzoato de Hierro según la reacción:



A la solución remanente de la eliminación de Hierro se le agregó el agente oxidante, ya sea H_2O_2 o KMnO_4 para obtener el MnO_2 y se separó por filtración.

Para disminuir la concentración de Fosfatos se empleó una solución saturada de CaCl_2 como agente precipitante para obtener $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (s) (tratamiento M) y para los sulfatos se utilizó BaCl_2 . Como se expresó anteriormente los nitratos no serán tratados en este trabajo.

A continuación se presenta una tabla resumen de los reactivos empleados, las cantidades empleadas y los productos obtenidos, partiendo de 50 mL de Residuo 11 en cada caso.

Tabla 56. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	4 mL	llegar a pH 4
Ajuste de pH	Buffer PhCOOH/PhCOOK	6 mL	$\text{Fe}(\text{OH})\text{Bz}_2$
B	Solución al 30% de H_2O_2	2 mL	MnO_2
E	Solución 0,3M de KMnO_4	2 mL	MnO_2
Ajuste de pH	Solución de HCl al 10%	2 mL	Solución R.11.1 Solución R.11.2
M	Solución al 10% de CaCl_2	10 mL	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
N	Solución al 10% de BaCl_2	10 mL	BaSO_4 ,

En las figuras 67 y 68 se muestran los diagramas ecológicos de los dos métodos aplicados.

Figura 67. Diagrama ecológico del Residuo 11. Primer método.

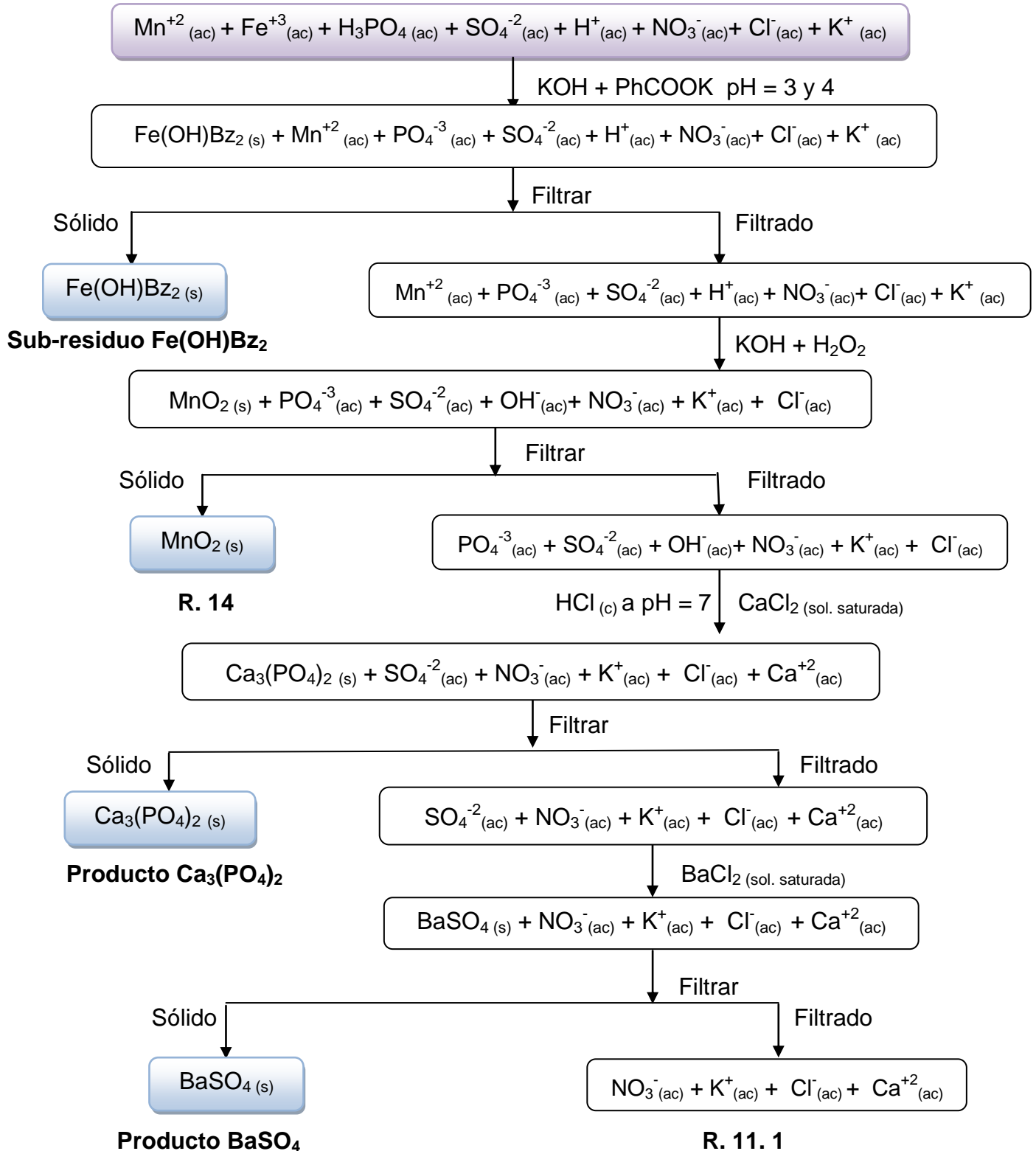


Figura 68. Diagrama ecológico del Residuo 11. Segundo método.

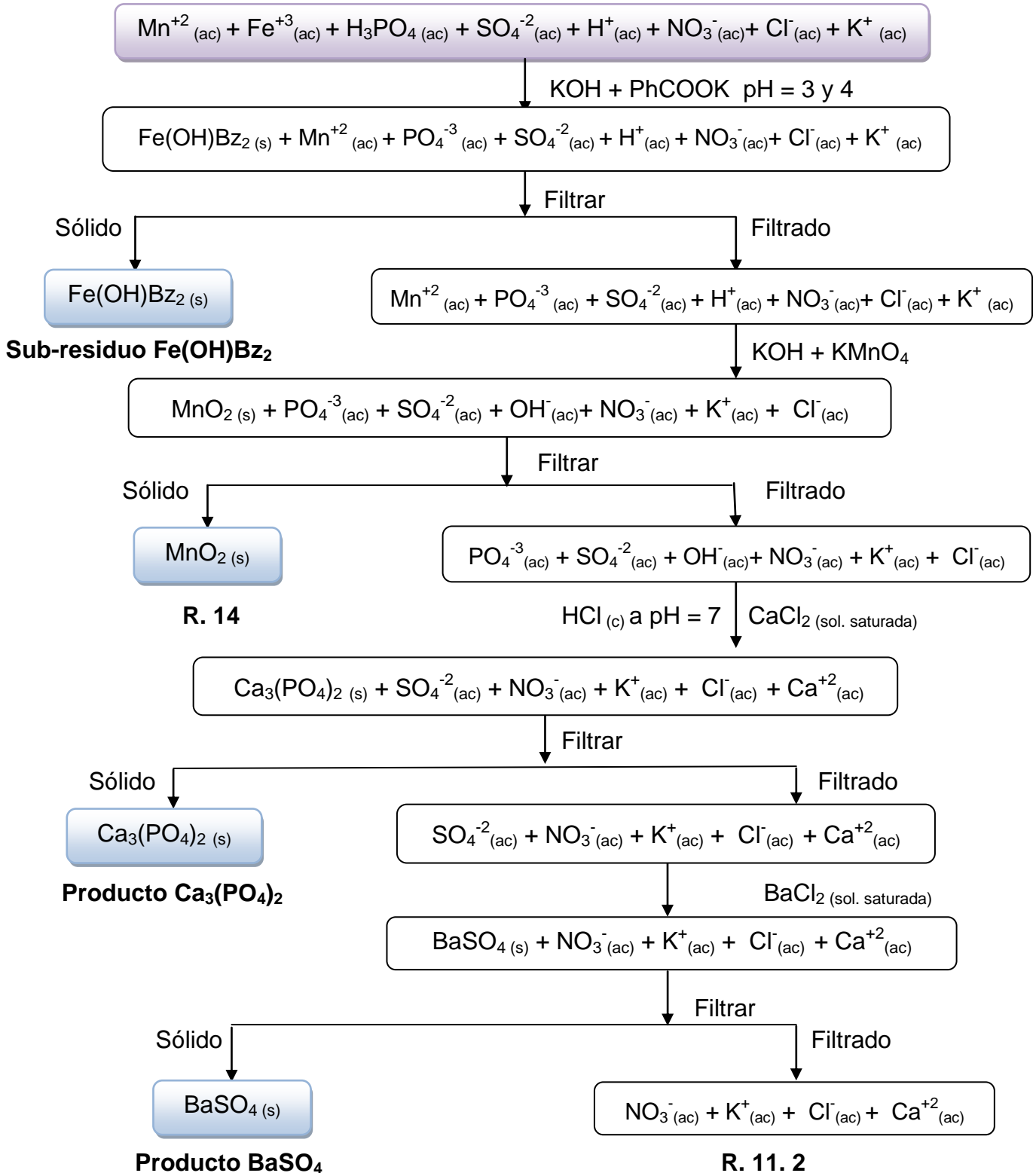


Tabla 57. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn (± 0,6%)ppm	Fe (± 0,6%)ppm	Fosfatos (± 0,6%)ppm	Sulfatos (± 0,2%)ppm	Ba (±0,6%)ppm	pH
R.11.1	No detectado	0,5	< 200	<200	No detectado	7
R.11.2	No detectado	0,92	< 200	< 200	No detectado	7

Como se puede ver en esta tabla, el tratamiento de Hierro fue eficiente y logró disminuir su concentración, sin embargo durante su ejecución presentó el inconveniente de formarse abundante precipitado que convirtió a la solución en un pasta espesa difícil de manipular. Esto ocurrió por la alta concentración de Hierro que contiene este residuo, como se aprecia en la tabla 55, es muy superior a la de Mn. Esto es atribuido a uno de los tres residuos que conforman al Residuo 3, correspondiente a la solución de acero del Laboratorio de Instrumental Analítico, ya que el acero es más del 90% Hierro.

Por lo anterior se recomienda separar los residuos de las soluciones de acero del Residuo 11 y tratarlas con otro método más eficiente de eliminación o tratamiento de Hierro con el objetivo de recuperar esta especie que es la que se encuentra en mayor porcentaje y no el Manganeso.

Con estos resultados de la concentración de Mn se puede deducir, al igual que en los Residuo 10, que la precipitación de MnO_2 tanto con H_2O_2 como con $KMnO_4$ son igualmente efectivas.

Con respecto a los Fosfatos se redujo su concentración pero solo se tiene un estimado del valor que se encuentra por debajo de 200 ppm, no se obtuvo exactitud del valor por limitantes instrumentales de la técnica IEC. En el caso de los sulfatos y Bario los resultados si fueron satisfactorios. Por lo anterior, las soluciones R.11.1 y R.12.1 pueden ser descartadas por el desagüe de manera segura.

En ambos métodos se obtuvieron sub-residuos en estado sólido, estables, no peligrosos, con lo cual se consiguió reducir la peligrosidad y el volumen del Residuo 11 y se facilita su almacenaje y manipulación.

RESIDUO 12

Procedencia:

El Residuo 12 proviene del Laboratorio de Instrumental Analítico, es una mezcla de 3 sustancias generadas en la práctica de Fotocolorimetría donde se oxidan soluciones de Mn(II) hasta MnO_4^- empleando Peryodato de Sodio NaIO_4 como agente oxidante. Estas soluciones poseen los siguientes códigos: Lab. Inst. R. Patrones MnO_4^- Lab. Inst. R. Muestra Sintética MnO_4^- y Lab. Inst. R. Sol. Acero Oxidada (según figuras 41, 42 y 44)

Composición:

- Especies en solución: MnO_4^- (ac) + IO_3^- (ac) + Fe^{+3} (ac) + H_3PO_4 (ac) + SO_4^{-2} (ac) + NO_3^- (ac) + K^+ (ac) + H^+ (ac) + Cl^- (ac) + Na^+ (ac)

- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeseo, Hierro, fosfatos (expresado como Fósforo), sulfatos, nitratos (expresado como Nitrógeno) y pH.

Nota: el Art. 9 del mismo decreto establece que sustancias con efectos oxidantes e irritantes como el Yodato (ver tabla 15, pág. 125), son objeto de regulación para toda descarga a cuerpos de agua.

Características:

Solución acuosa de color violeta, de aspecto homogéneo y pH 1

Cantidad del residuo:

Se preparó 200 mL de muestra combinando en parte iguales a los tres residuos que lo conforman.

Tabla 58. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 12, determinadas por FAAS y IEC.

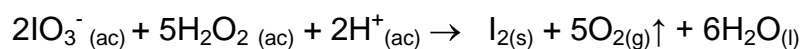
Concentración	Mn (± 0,6%)ppm	Fe (± 0,6%)ppm	Fosfatos (± 0,6%)ppm	Sulfatos (± 0,2%)ppm	% Yodo	pH
Experimental	292	35,5	23 801	14 000	(1,1451± 0,0001)	1
Permitida por la Ley	10	25	31*	400	No tiene	6-9

* En el Art.15 del Decreto 883 esta establecido la concentración de Fósforo total (expresado como Fósforo) en 10 ppm lo que es equivalente a 30,67 ppm al expresarlo como concentración de Fosfato.

Tratamientos aplicados:

Según la experiencia de eliminación de Yodato llevado a cabo con éxito en el Residuo 8, aquí se aplicó el mismo procedimiento empleando como agente reductor al H₂O₂ y condensando el Yodo (I₂) liberado en forma de gas por medio del sistema sublimador mostrado en la tabla 7.

- Reducción del Yodato:



Con este tratamiento queda en solución un exceso de H₂O₂ que tiene que ser eliminado por calentamiento y no puede ser aprovechado para la oxidación de la especie Mn(II) ya que primero se desea eliminar el Hierro por la interferencia que produce éste al basificar el medio.

La eliminación del Hierro se hizo controlando el pH con el buffer de ácido benzoico- benzoato de potasio, al igual que en el Residuo 11, ya que a diferencia de este último, la concentración de Hierro aquí es mucho menor que la de Manganeseo.

De la misma manera que en el Residuo 10 y 11, se propusieron dos métodos con H_2O_2 y $KMnO_4$ en medio básico (tratamiento B y E) para obtener MnO_2 .

Para disminuir la concentración de Fosfatos se empleó una solución saturada de $CaCl_2$ como agente precipitante para obtener $Ca_3(PO_4)_2$ (s) y para los sulfatos se utilizó $BaCl_2$, siguiendo las metodologías expuestas en la tabla 7 para cada procedimiento. Como se expresó anteriormente los nitratos no serán tratados en este trabajo.

Tabla 59. Reactivos y productos empleados en cada tratamiento partiendo de 50 mL de Residuo 12

Tratamiento	Reactivos	Cantidad	Productos
B	Solución al 30% de H_2O_2	8 mL	I_2 MnO_2
E	Solución 0,3M de $KMnO_4$	4 mL	MnO_2
Ajuste de pH	Solución al 10% de KOH	3 mL	llegar a pH 3 y 4
Ajuste de pH	Buffer PhCOOH/PhCOOK	2 mL	$Fe(OH)Bz_2$
M	Solución 10% de $CaCl_2$	7 mL	$Ca_3(PO_4)_2$
N	Solución 10% de $BaCl_2$	6 ml	$BaSO_4$,
Ajuste de pH	Solución HCl al 10%	2 mL	Solución R.12.1 Solución R.12.1

Figura 69. Diagrama ecológico del Residuo 12. Primer método.

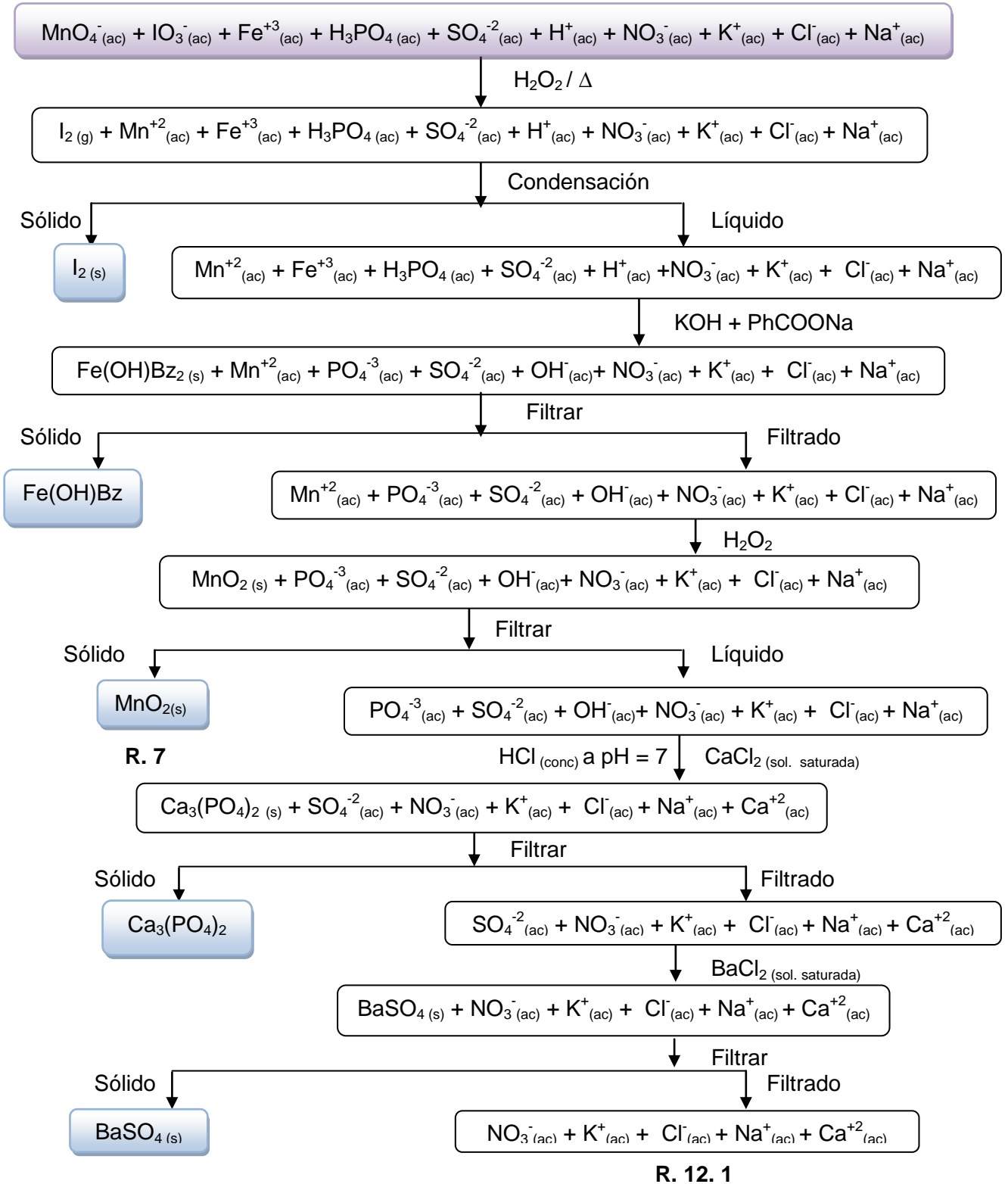


Figura 70. Diagrama ecológico del Residuo 12. Segundo método.

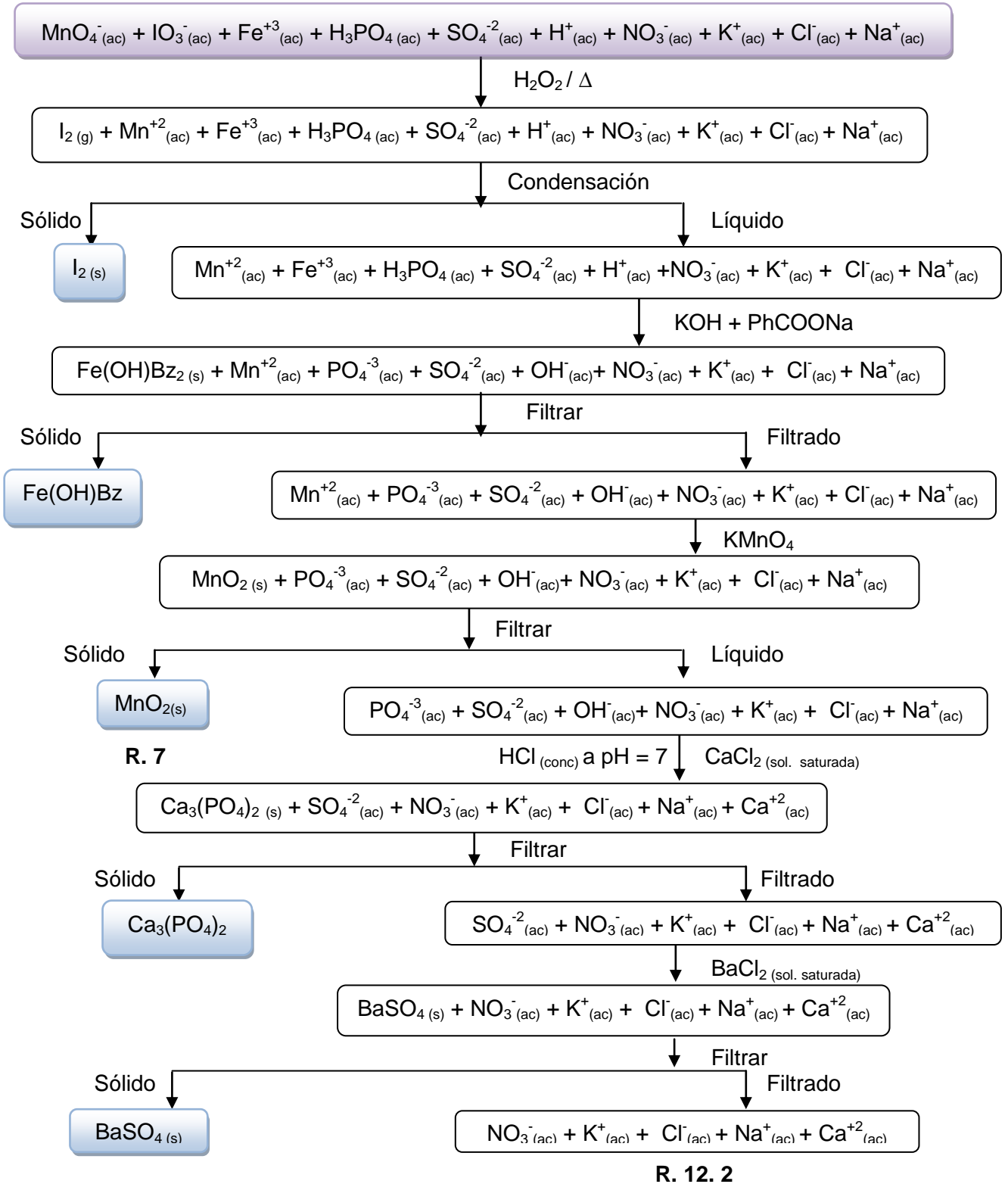


Tabla 60. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	Mn (± 0,6%)ppm	Fe (± 0,6%)ppm	Fosfatos (± 0,6%)ppm	Sulfatos (± 0,2%)ppm	Ba (± 0,6%)ppm	% Yodo	pH
R.12.A	No detectado	1,25	500	< 200	No detectado	(0,0298± 0,0001)	7
R.12.B	No detectado	0,84	700	< 200	No detectado	(0,0274± 0,0001)	7

Como se puede ver en esta tabla, nuevamente se obtuvieron resultados satisfactorios en el tratamientos de eliminación de Manganeso, tanto con H_2O_2 como con $KMnO_4$ son igualmente efectivas.

Igualmente se cumplieron los objetivos con el Hierro y sulfatos, obteniéndose concentraciones muy por debajo del límite permitido por la ley. También Se logró eliminar el yodato del residuo y recuperarlo como Yodo.

Con respecto a los Fosfatos se redujo su concentración pero no se alcanzó el límite permitido para el descarte de la solución. Este tratamiento puede debe ser optimizado en el residuo anterior y en este, empleando como agente precipitante a la solución de Bario ya que el Fosfato de Bario $Ba_3(PO_4)_2$ posee un valor del producto de solubilidad menor que el Fosfato de Calcio $Ca_3(PO_4)_2$, ($K_{ps} Ba_3(PO_4)_2 = 6 \times 10^{-39}$ y $K_{ps} Ca_3(PO_4)_2 = 1,3 \times 10^{-32}$), además que se emplearía un único agente precipitante para sulfatos y fosfatos, obteniéndose una mezcla de dos sales muy estables, inertes y no peligrosas.

RESIDUO 13

Procedencia:

El Residuo 13 es una mezcla de todos los doce residuos anteriores en partes iguales, esta compuesto de los 32 residuos de Manganeso generados en los Laboratorios de Docencia. Esta mezcla se hizo con el objetivo de probar un tratamiento general para todos los residuos que contengan Manganeso y los otros contaminantes que constituyen la matriz.

Composición:

- Especies en solución: $Mn^{+2}_{(ac)} + Fe^{+3}_{(ac)} + Sb^{+5}_{(ac)} + IO_3^{-}_{(ac)} Ag^{+}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} PO_4^{-3}_{(ac)} Na^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)} + CH_3CO_2H_{(ac)} + PhCOH_{(ac)} + PhCO_2H_{(ac)} + Sangre/EDTA + HO-CO-(CH_2)_4-CO_2H_{(ac)}$

- Especies reguladas por el Art.15 del Decreto 883: Manganeso, Hierro, fosfatos (expresado como Fósforo), sulfatos, nitratos (expresado como Nitrógeno) y pH.

Nota: el Art. 9 del mismo decreto establece que sustancias con efectos oxidantes, irritantes y tóxicos como el Antimonio, Yodato, Benzaldehído, Alcohol Bencílico, Ácido Adípico son objeto de regulación para toda descarga a cuerpos de agua.

Características:

Solución acuosa de color amarilla, de aspecto homogéneo y pH 1

Cantidad del residuo:

Se preparó 200 mL de muestra tomando partes iguales de los doce residuos anteriores y se colocó en un recipiente de vidrio transparente.

Tabla 61. Concentraciones de las especies químicas presentes en Residuo 13, determinadas por FAAS e IEC.

Concentración	(X ± 0,6%)ppm				(Y ± 0,2%)ppm		(Z ± 0,0001)%	pH
	Mn	Fe	Sb	Ag	Fosfatos	Sulfatos	Yodo	
Experimental	301	588	151	9,83	13 700	26 950	0,2718	1
Permitida por la Ley	10	25	No tiene	0,1	31*	400	No tiene	6-9

* En el Art.15 del Decreto 883 esta establecido la concentración de Fósforo total (expresado como Fósforo) en 10 ppm lo que es equivalente a 30,67 ppm al expresarlo como concentración de Fosfato.

El Residuo 13 se planteó como la mezcla de todos los 32 residuos de Manganeso, que también se puede ver como la mezcla de los 12 residuos anteriores. Su composición y características químicas van a depender de la cantidad que se agregue de cada residuo. En este caso la solución resultó de color amarilla atribuido a la cantidad de hierro disuelto, el Manganeso estaba presente como Mn(II).

Tratamientos aplicados:

Tomando como base las experiencias en los doce residuos anteriores, se propusieron dos métodos, los cuales sólo difieren en la oxidación del Mn(II). En ambos se eliminó el Yodato empleando como agente reductor al H₂O₂ y se recuperó el Yodo liberado (tratamiento Q). Luego se procedió a eliminar las otras tres especies que interfieren en la obtención del MnO₂, como lo son el Hierro, el Antimonio y la Plata, siguiendo los procedimientos J, K y L. Para la oxidación del Mn(II) se va emplear los dos tratamientos B (H₂O₂) y E (KMnO₄) para comparar .

Al llevar a la práctica estos pasos se encontró el inconveniente de que al aumentar el pH de la solución con KOH para proceder a la oxidación del Mn(II), ocurría un cambio drástico de color virando a rojo-marrón oscuro, se procedió a filtrar la solución para verificar la presencia de un sólido pero no se obtuvo ninguno. También se añadió HCl para llevarla a pH ácido nuevamente pero la solución permaneció turbia y oscura. Por ello no se prosiguió con el resto del tratamiento ya que no se recuperarían los productos deseados, principalmente el MnO₂.

Este comportamiento se le puede atribuir a la cantidad de aniones y cationes presentes, además de las especies orgánicas, que pueden reaccionar de manera colateral al ajustar las condiciones para separar una especie en particular.

Al realizar esta mezcla se le ha reducido el potencial de reciclaje y reutilización de las especies que allí se encuentran

De igual manera se procedió a medir las concentraciones de iones presentes en esta muestra.

Tabla 62. Concentraciones de las especies químicas presentes en las muestras

Muestra	(X ± 0,6%)ppm				(Y ± 0,2%)ppm		(Z ± 0,0001)%	pH
	Mn	Fe	Sb	Ag	Fosfatos	Sulfatos	Yodo	
R.13.1	277	1,45	n.d.*	1,9	13 170	24 890	0,0688	8
R.13.2	256	1,05	n.d.*	2,73	13 040	25 780	0,0708	6-9

* No detectado.

En la tabla anterior se observa la disminución de las concentraciones de los contaminantes que pudieron ser tratados, sin embargo, no se logró disminuir las concentraciones de Ag por debajo del límite permitido.

Hay que considerar que en la práctica no se debería de realizar tal combinación debido a las incompatibilidades químicas que presentan las especies antes tratadas. Como se ha discutido anteriormente, el Residuo 2 tiene exceso de H_2O_2 y los Residuos 8 y 12 contienen Yodato, al entrar en contacto estos residuos se puede liberar gas Yodo que es corrosivo. También hay que considerar los Residuos 1, 4 y 5 que son soluciones oxidantes fuertes las cuales pueden reaccionar con las especies susceptibles como las orgánicas y ocasionar cambios inesperados.

Además, al mezclar residuos de distinta naturaleza no se va tener conocimiento sobre su composición química y por tanto no se tendrá la información necesaria para su correcto tratamiento y manipulación, como sucedió para esta mezcla. También se incrementa la condición de peligrosidad.

Con estos resultados se corrobora que la recolección de residuos debe hacerse de forma selectiva y segregada, se deben evitar este tipo de mezclas.

RESIDUO 14

Procedencia:

El Residuo 14 es una mezcla de los óxidos de Manganeso recolectados en los Laboratorios de Química Inorgánica I y Química Orgánica II junto con todos los óxidos de Manganeso obtenidos en los tratamientos aplicados a los 12 residuos anteriores. Los provenientes de los Laboratorios de Docencia fueron identificados como Lab. QI-I R.9.3.B.II (fase sólida), Lab. QI-I R.9.4 (fase sólida), Lab. QI-I R.10.3.I y Lab. QO-II R.6.7.1 (según figuras 24, 26, 27 y 42) y los obtenidos en los tratamientos como R.14

Composición:

Dióxido de Manganeso (MnO_2), el cual puede exhibir varias formas alotrópicas, es decir, diversos arreglos estructurales

Características:

Sólido marrón, de aspecto homogéneo

Cantidad del residuo:

Se preparó la muestra mezclando los MnO_2 provenientes de los Laboratorios de Docencia tomando la cantidad producida por experimento junto a la totalidad de los óxidos de manganeso recolectados en todos los tratamientos. La muestra se almacenó en un envase de vidrio transparente.

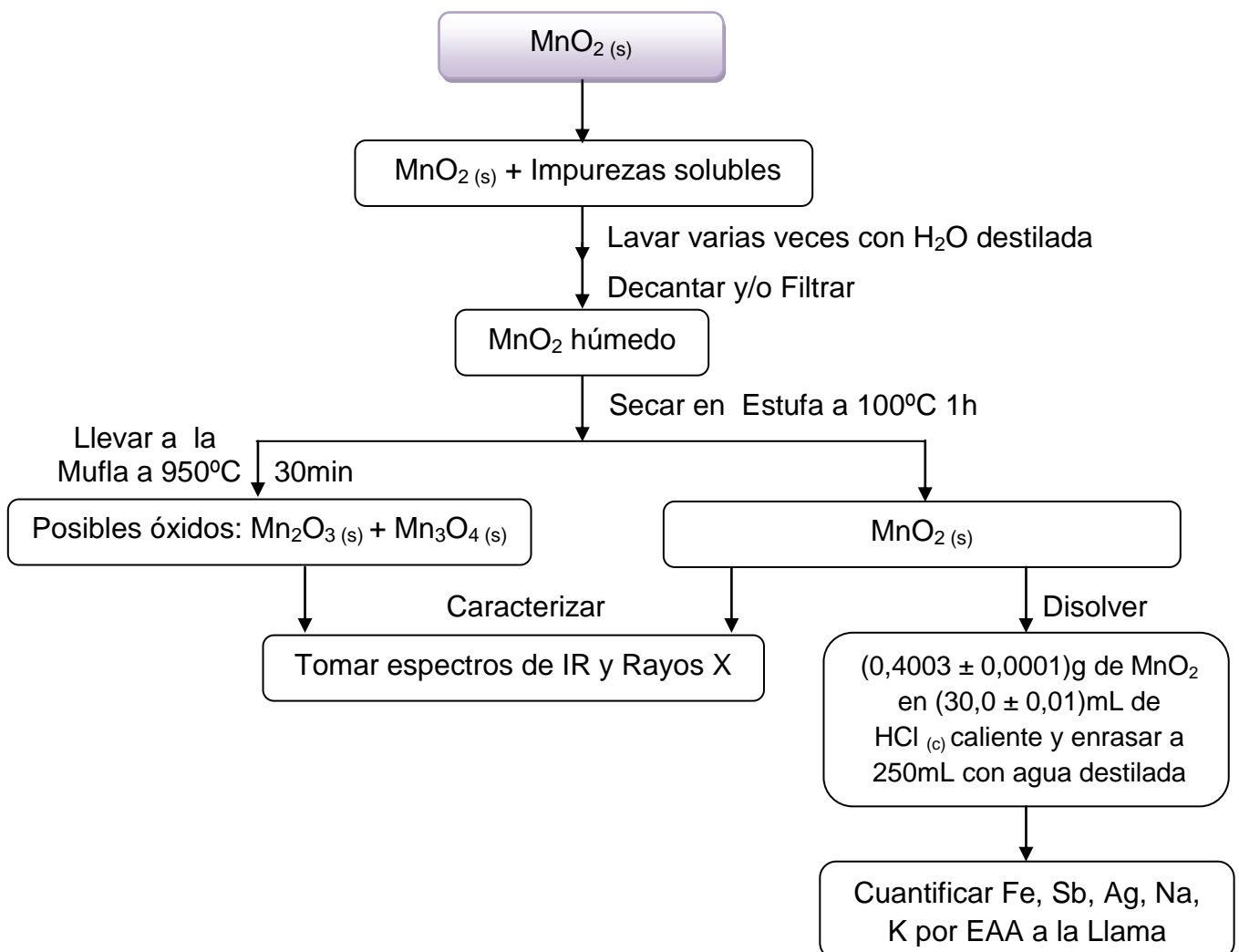
Tratamientos aplicados:

Debido a que este residuo es el producto principal de este trabajo, se procedió a realizarles varios lavados con agua destilada para eliminar las impurezas procedentes de las aguas madres. Luego se secó en la estufa a 100°C por una hora. Una parte de

este óxido se llevó a la mufla a 900°C por 30 minutos. Ambos óxidos se caracterizaron por Espectroscopia de Absorción en el Infrarrojo y por Difracción de Rayos X.

Además, para determinar la pureza del óxido se analizaron las concentraciones de Fe, Sb, Ag, Na y K por Espectroscopia de Absorción Atómica a la Llama, ya que estos son los cationes que acompañan al Manganeso en los diferentes residuos. Para ello se hizo una solución de $(1601,2 \pm 0,9)$ ppm disolviendo el óxido seco en Ácido Clorhídrico concentrado caliente y luego diluyéndolo con agua destilada.

Figura 71. Diagrama ecológico del Residuo 14. Tratamiento general



En la tabla 60 se muestra las concentraciones de las especies contaminantes encontradas en el Residuo 14, determinadas por FAAS

Tabla 63. Resultados obtenidos para las concentraciones de Fe, Sb, Ag, Na y K determinadas por FAAS.

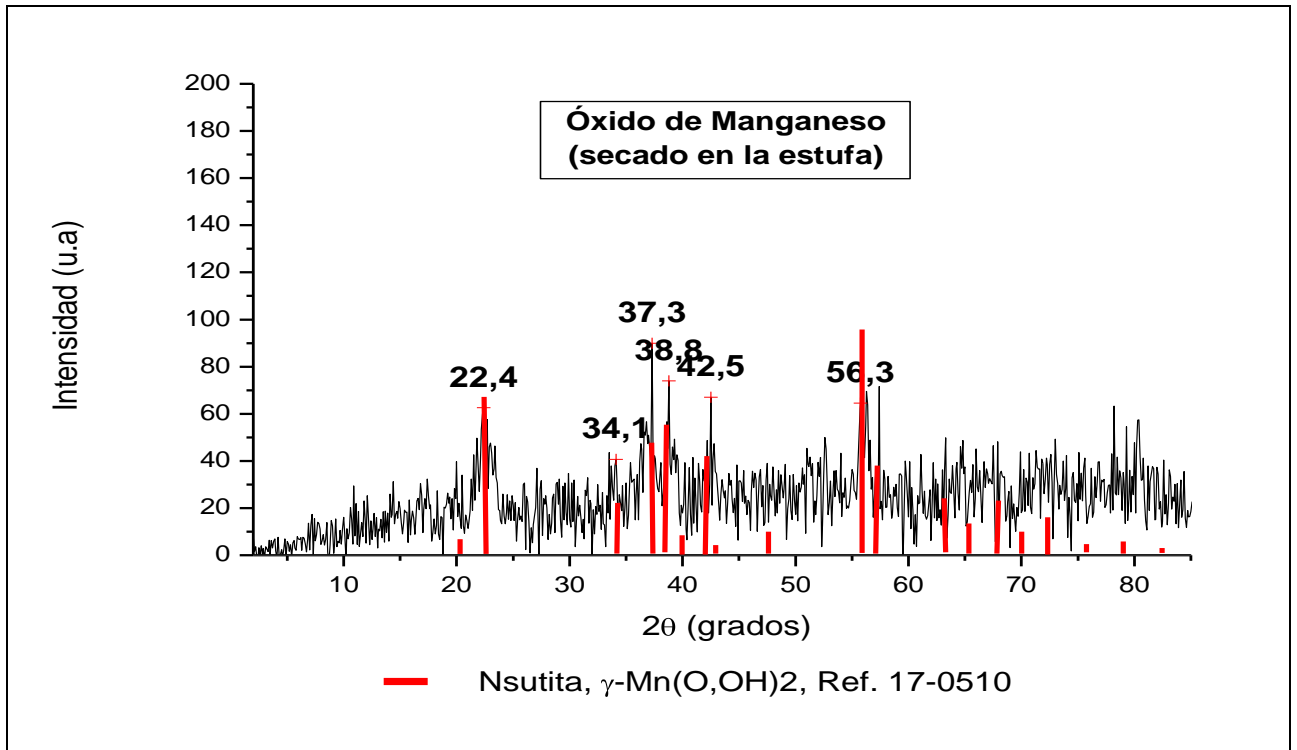
Muestra	Concentración ($\pm 0,6\%$)ppm				
	Fe	Sb	Ag	Na	K
Solución de R.7	0,36	0,12	0,57	14,2	100

Análisis de Pureza de MnO₂:

Pureza.....	92,8%
Fe.....	0,02%
Sb.....	0,008%
Ag.....	0,04%
Na.....	0,89%
K.....	6,25%

El porcentaje de pureza de la muestra se vio disminuido por la presencia de especies provenientes de las aguas madres, esto se puede reducir mejorando el proceso de lavado del óxido ya que todas estas impurezas son solubles en medio acuoso

Figura 72. Difracción de Rayos X del óxido de manganeso secado en la estufa

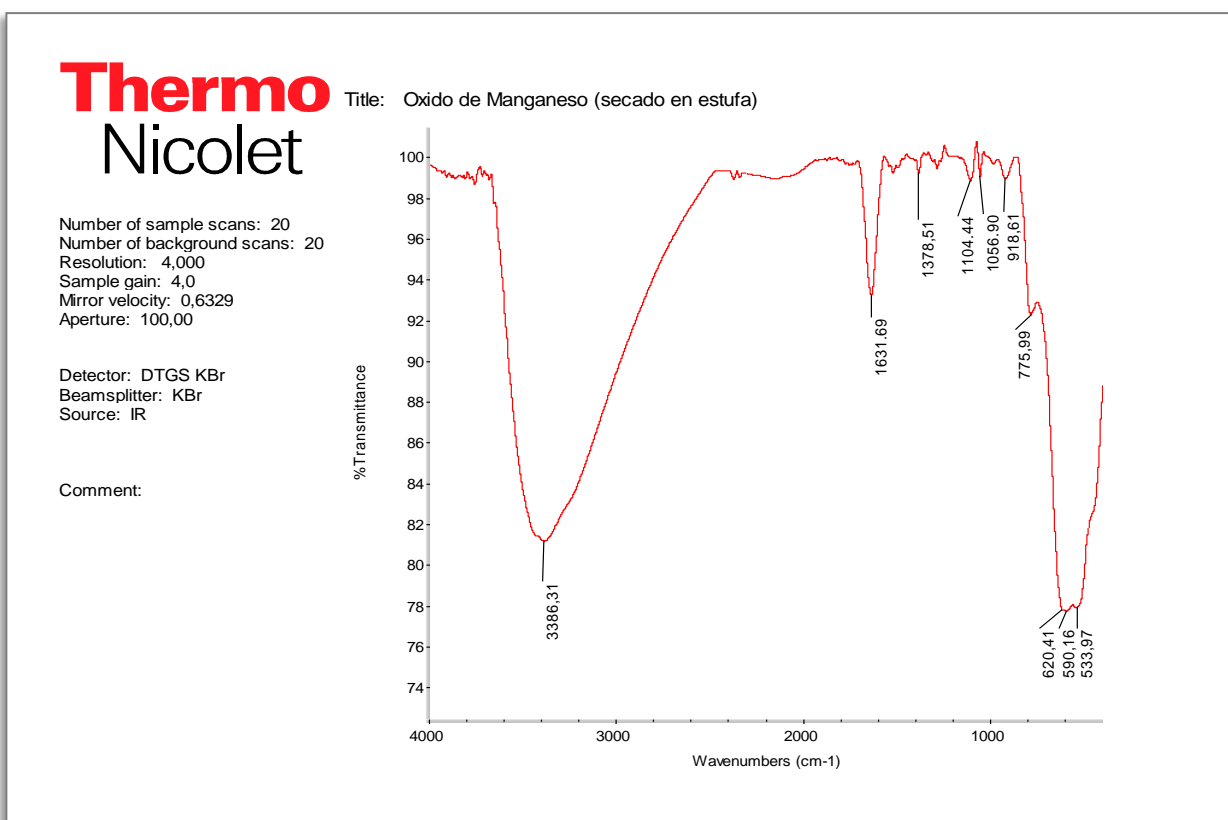


En la figura 72 se muestra el patrón de difracción de Rayos X de la muestra de óxido de manganeso secado en la estufa a 100°C en la que se puede ver que el óxido presenta un patrón casi amorfo. Sin embargo, algunos picos pudieron ser detectados tales como 22,4°; 34,1°; 37,3°; 38,8°; 42,5° y 56,3°. Este patrón coincide con la fase γ -MnO₂ hidratada o Nsutita del compuesto de referencia reportado en la base de datos (JCPDS 17-0510), cuyo espectro se muestra en la figura 97 (ver anexo J)

Este resultado va de conformidad con Chaber y Pannetier ^[74 y 75], quienes han informado que el espectro de difracción de rayos X de la fase γ -MnO₂ (Nsutita) siempre es de calidad pobre, de baja resolución y se compone, en el mejor de los casos, de un pequeño número de líneas afiladas y amplias en la parte superior de un fondo difuso

Este hecho sugiere que la muestra tiene una estructura de naturaleza amorfa, es decir que su estado de agregación no es cristalino en su totalidad ^[76], lo cual coincide con el hecho de que la Nsutite o γ -MnO₂ tiene un alto desorden estructural y que ha sido descrita en el trabajo de Wolff ^[38 y 62] como una interrelación irregular de capas de Pirolusita β -MnO₂ dentro de una matriz de Ramsdelita R-MnO₂ tal como se mencionó en la revisión bibliográfica (pág 27).

Figura 73. Espectro de Infrarrojo del óxido de manganeso secado en la estufa



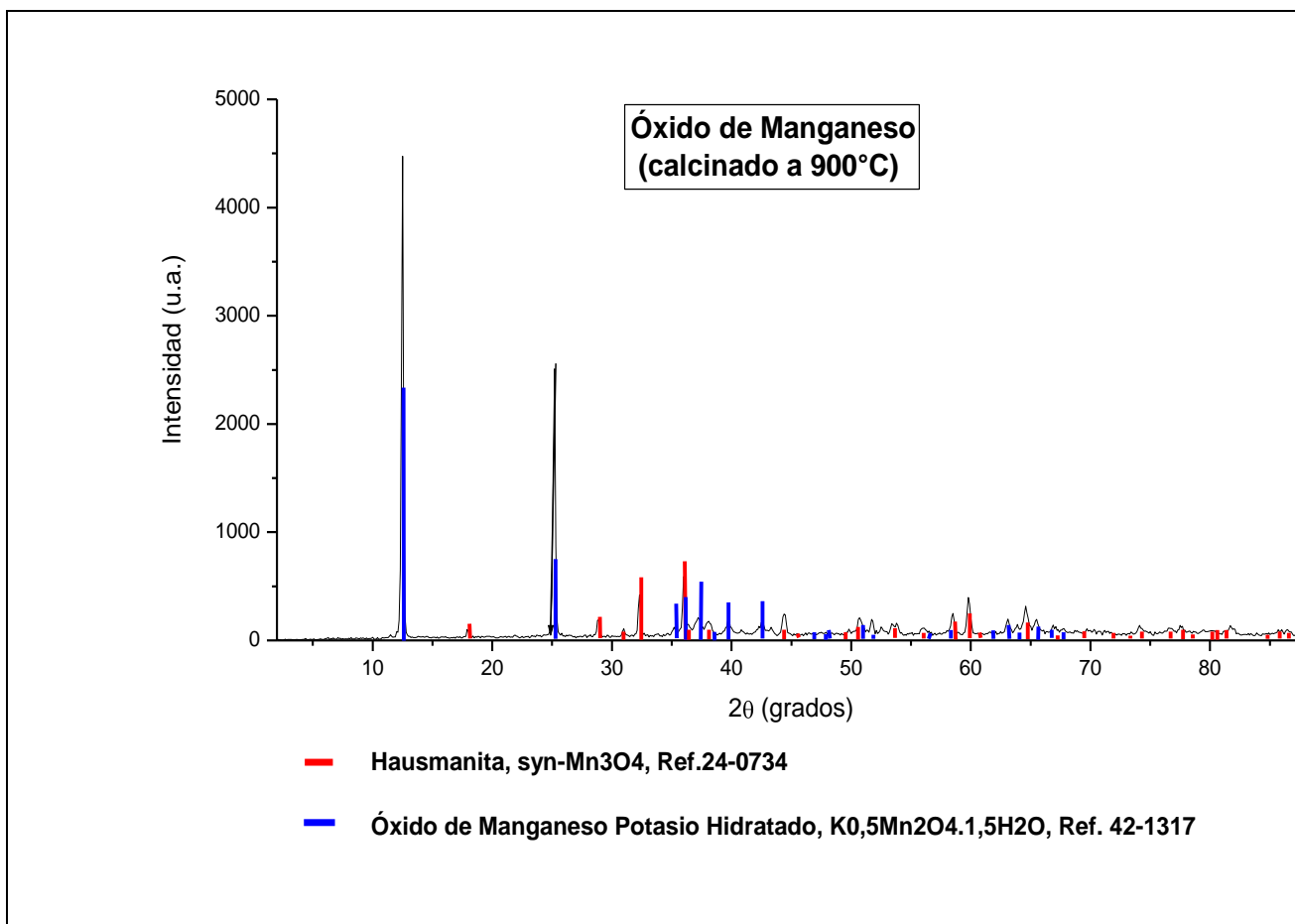
La figura 73 muestra el espectro de infrarrojo del producto. Varias bandas de absorción pueden ser observadas a 3386,31; 1631,69; 1378,51; 1104,44; 620,41; 590,16; 533,97 cm⁻¹. De acuerdo al trabajo de Ananth y col ^[75 y 76], la banda 3386,31 cm⁻¹ puede ser atribuida a la vibración de estiramiento O-H y las bandas 1631,69;

1378,51 y 1104,44 cm^{-1} son usualmente atribuidos a las vibraciones flexión O-H combinada con los átomos de Mn. Mientras las bandas 620,41; 590,16 y 533,97 cm^{-1} pueden ser atribuidas a las vibraciones Mn-O in el octaedro MnO_6 . El resultado de IR sugiere la presencia de agua ligada en la estructura de MnO_2

Las posiciones de las bandas coinciden con las reportadas por Potter and Rossman ^[39] para la Nsutita lo cual concuerda con los datos de RX. Estos autores indican que todas las Nsutitas tienen una absorción amplia en la región de 3100 a 3600 cm^{-1} . Esta es generalmente de baja intensidad pero se incrementa con la disminución del orden cristalino. Esto es atribuible principalmente al agua en lo casos de mayor desorden, pero también puede ser por el grupo Hidroxilo presente en la muestra.

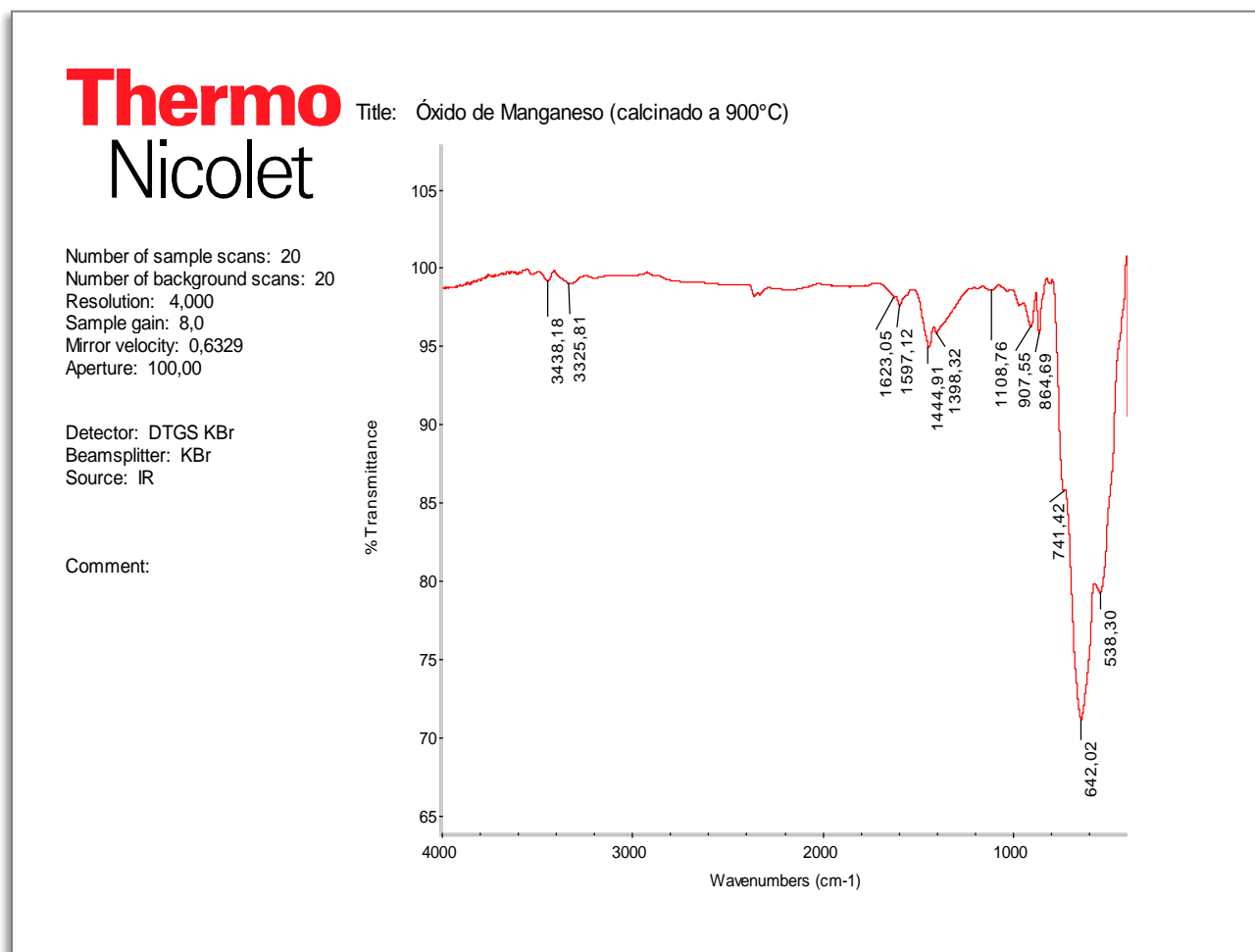
A una parte de este producto se decidió aplicarle un tratamiento térmico para verificar su transformación estructural y estequiométrica en otros óxidos de Manganese igualmente útiles, tal como es el Mn_3O_4 (Hausmanita). Fan C y col. ^[77] han establecido en su investigación que al calcinar los Dióxidos de Manganese estos sufren los siguientes cambios $\text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4$ en un intervalo de temperaturas entre 823 y 1223K. También K. Ramos ^[72] logró transformar el $\text{Mn}(\text{OH})_2$ a Hausmanita por calcinación a 1223K. Por lo anterior, se eligió calcinar la muestra a 950°C (1223 K) y los resultados de la caracterización del producto obtenido se presentan a continuación:

Figura 74. Difracción de rayos X del Óxido de manganeso calcinado a 900°C



Como se puede observar en el difractograma se obtuvo una mezcla de dos óxidos de Manganeso. En primer lugar, se logró la transformación estequiométrica a Hausmanita o Mn_3O_4 que era la especie esperada para la temperatura aplicada. Los picos agudos y definidos indican un alto grado de orden cristalino en el producto. Sin embargo, también se obtuvo el Óxido de Manganeso Potasio Hidratado que pertenece a la familia de las K-Birnesita, este hecho puede ser atribuido a la presencia significativa de Potasio como impureza en el γ - MnO_2 , equivalente al 6,25% en peso, que al ser calcinado pasó a formar este óxido que no es de interés para este trabajo a pesar de su potencial uso expresado en el trabajo de Li-Xia Yang ^[78].

Figura 75. Espectro de Infrarrojo del óxido de Manganeso calcinado a 900°C



En este espectro se pueden apreciar bandas de absorción características de la Hausmanita a 538,30 y 642,02cm⁻¹ correspondientes a los modos de vibración Mn-O, junto con una banda débil a 1108,76cm⁻¹ que puede ser atribuida a la vibración Mn-O-H. Finalmente dos bandas débiles a 3438,18 y 1623,05cm⁻¹ son observadas debido al agua presente en la K-Birnesita ^[79].

De los resultados anteriores se concluyó que el proceso de calcinación puede ser tomado como un tratamiento alternativo para obtener la Hausmanita si se optimizan

las condiciones de lavado del Dióxido de Manganeso y de calcinado, con el fin de minimizar el producto secundario K-Birnesita. Según el trabajo de Li-Xia Yang y col.^[78] la estructura de la K-Birnesita colapsa completamente a la forma Mn_3O_4 (Hausmanita) a $1000^\circ C$.

Como fue mencionado en la revisión bibliográfica, el γ - MnO_2 obtenido tiene muchas aplicaciones en diversos campos, de los cuales resalta especial interés los trabajos de Luciano Lamaita y col.^[61 y 62] y Caroline Cellier y col.^[63 y 64], ya que en ellos se demostró que este producto puede emplearse como catalizador en la oxidación de residuos orgánicos volátiles (VOCs) y nitrogenados (N-VOCs), propiedad que puede ser aprovechada para tratar los residuos producidos en nuestra propia institución. También se señaló que su característica de irregularidad y desorden estructural le confiere mayor área superficial lo que lo hace superior catalíticamente a otros óxidos.

Además de utilizarlos en el tratamiento de otros residuos, se puede incluir como reactivo en prácticas de laboratorio o en síntesis orgánicas donde aplique la reducción selectiva de nitrobenzeno, la oxidación de anilina a hidroquinona y la oxidación parcial de alcoholes alílicos en la síntesis de compuestos carbonílicos α - β insaturados. Al emplear como reactivo al Dióxido de Manganeso obtenido, se evitaría su compra en una casa comercial, generando un ahorro de BsF.199,95* (US \$ 46,50) por cada 250 g de producto.

* Precio consultado en el catálogo de Sigma-Aldrich para el MnO_2 Activado $\geq 90\%$. Marzo 2010.

Producto Recuperado K_2SO_4

Para determinar la pureza de estas sales se prepararon soluciones de 10 000 ppm con cada una de las sales de K_2SO_4 obtenidas, a las cuales les fueron medidas la concentración de Mn. Se requirieron de estos análisis ya que todas estas sales se obtuvieron en un paso posterior a la eliminación de Manganeso de la solución, también porque las mismas no fueron separadas de la solución madre y por ello conservan todos los componentes que no fueron eliminados en los tratamientos previos.

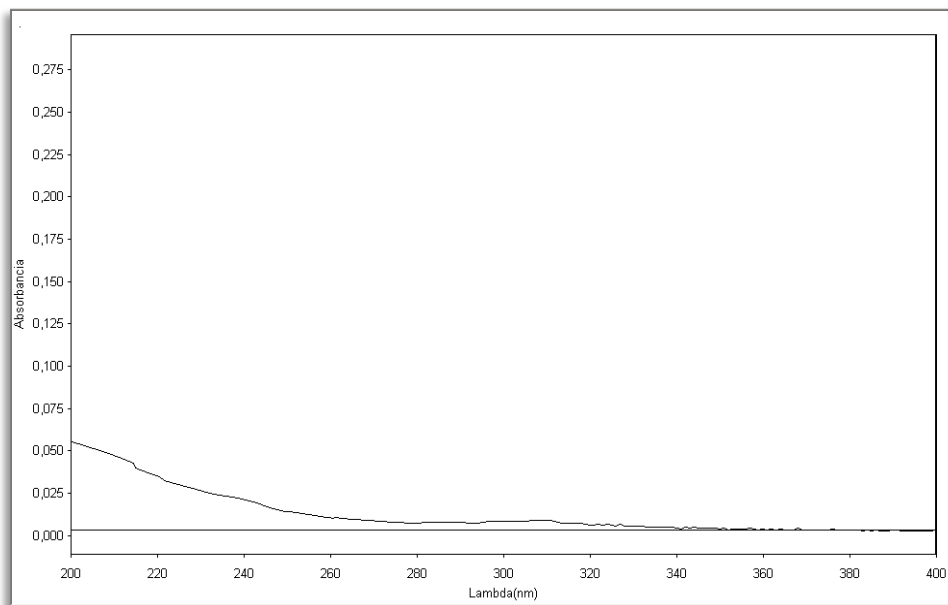
Tabla 64. Resumen de los resultados obtenidos para las concentraciones de Mn determinadas por FAAS

Procedencia de la sal	Concentración de Mn
Residuo 1.2	No detectado
Residuo 1.3	No detectado
Residuo 2.1	No detectado
Residuo 5.1	No detectado
Residuo 6.2	No detectado

En ninguna de las soluciones fue detectado Manganeso, es decir, que la concentración de este elemento se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica. Esto indica que las sales no estaban contaminadas con Manganeso.

Adicionalmente, a la solución de K_2SO_4 proveniente del Residuo 10 se le practicó un espectro de UV-Vis con objeto de conocer la presencia remanente de los contaminantes orgánicos de la matriz de este residuo, como el Acido Benzoico.

Figura 76. Espectro UV-Vis de la Solución de la mezcla de K_2SO_4



Como se puede apreciar en el espectro, no aparece ningún pico característico del Ácido Benzoico que aparecen a 230nm y 270nm; con ello se descarta su presencia.

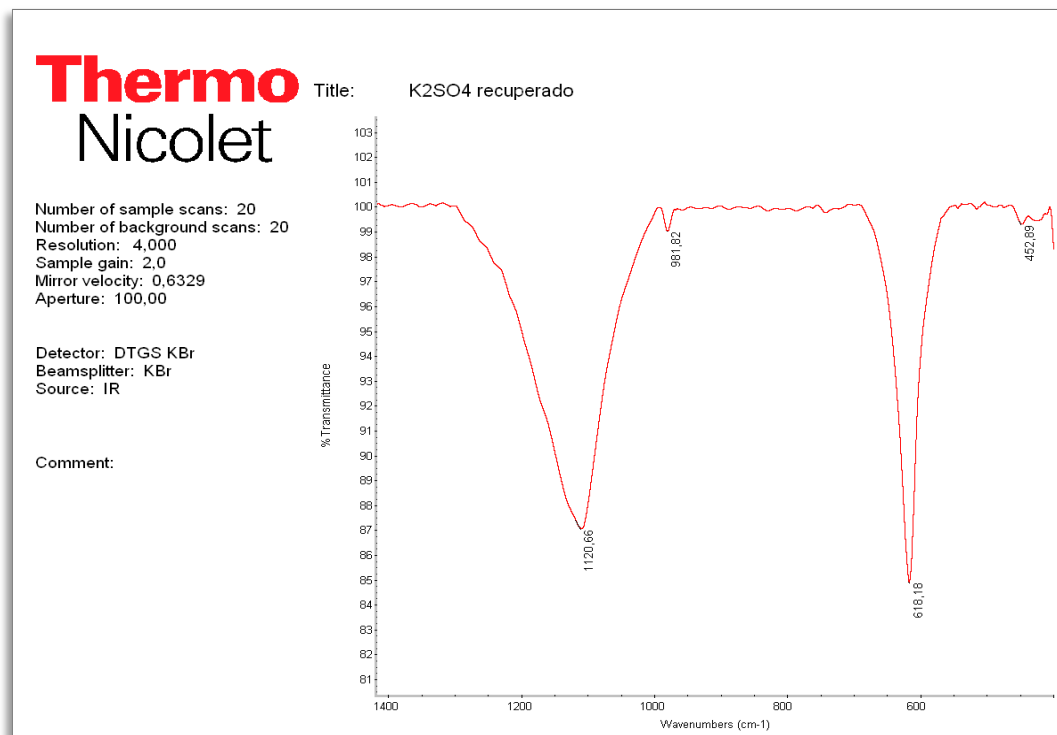
Conociendo los resultados anteriores, se decidió agrupar todas las sales obtenidas en una sola muestra a la cual se le midió nuevamente la concentración de Manganeso total y adicionalmente la de Sodio ya que es un elemento que siempre estuvo presente como contaminante en todos los reactivos empleados. También se le practicó un espectro de Infrarrojo.

Tabla 65. Resultados obtenidos para las concentraciones de Mn y Na determinadas por FAAS

Procedencia de la sal	Concentración de Mn	Concentración de Na
Mezcla de sales de K_2SO_4	No detectado	11,5 ppm

Análisis de Pureza de K_2SO_4 :

Pureza.....	99,8%
Mn.....	0,00%
Na.....	0,115%

Figura 77. Espectro de Infrarrojo de la mezcla de sales de K_2SO_4 

La interpretación de este espectro se realizó por comparación con las bandas de absorción características para el grupo funcional sulfato de una muestra patrón de K_2SO_4 reportadas por Santosh Kumar ^[80] y R. A. Nyquist ^[81]. El resumen de la información utilizada se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 66. Bandas de absorción en el Infrarrojo para el K_2SO_4 y sus diferentes modos de vibración.

Picos de absorción del K_2SO_4 puro reportado en la literatura^[80]	Picos de absorción del K_2SO_4 recuperado	Modos de vibración asignados
1120 (fuerte)	1120,66 (fuerte y ancho)	Estiramiento asimétrico (v_3)
983 (débil)	981,82 (débil y agudo)	Estiramiento simétrico (v_1)
618 (fuerte)	618,18 (fuerte y agudo)	flexión(v_4)
451(débil)	452,89 (débil y agudo)	flexión(v_2)

Mediante el análisis de la tabla se observa que los valores de los picos de absorción de una sal pura y los picos obtenidos en la sal recuperada son cercanos y sólo difieren en una o dos unidades, esto indica que la mezcla de la sal recuperada es pura tal como se refleja en el estudio de cationes de la tabla 63. La importancia de estos resultados radica en que el K_2SO_4 recuperado puede emplearse como reactivo de laboratorio, evitando así su compra en una casa comercial, generando un ahorro de BsF. 273,91* (US \$ 63,70) por cada 500 g de producto.

* Precio consultado en el catálogo de Sigma-Aldrich para el K_2SO_4 ACS reagent, granular 99,0%. Marzo 2010.

5.4.- Resumen de la evaluación de los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados:

En la siguiente tabla se presenta un resumen de todos los productos y sub-residuos obtenidos en los diferentes tratamientos de cada residuo, así como su clasificación de peligrosidad, tomando como base la clasificación de los materiales peligrosos descritos en la legislación venezolana, según el Decreto 2 635 en su Artículo 6, conforme a la definición de las Naciones Unidas, así como también se tomó en cuenta la Normativa Internacional de la Unión Europea, tal como se describe en el punto 4.2.2 de la metodología experimental.

Tabla 67. Grado de peligrosidad de los productos y sub-residuos obtenidos en los diferentes tratamientos


Productos y Sub-residuos	Clasificación de Peligrosidad según:		
	Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea
	Código	Pictograma de la ONU	
MnO ₂	--	Sustancia no peligrosa	 X _n
BaSO ₄	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
K ₂ SO ₄	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
CH ₃ COOK _(s)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere

Tabla 65. Grado de peligrosidad de los productos y sub-residuos obtenidos en los diferentes tratamientos. (Continuación)










Productos y Sub-residuos	Clasificación de Peligrosidad según:		
	Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea
	Código	Pictograma de la ONU	
PhCOOH	H9 Misceláneos	3077 	
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (s)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
I ₂	H8 Corrosivo	1759 	 
K ₂ SO ₄ (s) + KCl (s)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
Fe(OH)Bz ₂ (s)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
AgCl(s)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
Sb _x O _y Cl _z (s)	H8 Corrosivo	1549 	

Tabla 65. Grado de peligrosidad de los productos y sub-residuos obtenidos en los diferentes tratamientos. (Continuación)

Productos y Sub-residuos	Clasificación de Peligrosidad según:		
	Artículo 6 del Decreto 2 635		Unión Europea
	Código	Pictograma de la ONU	
Soluciones R.1.1, R.10.1, R.3.1, R.4.1 y R.7.1 ($K^+_{(ac)} + Na^+_{(ac)} + Cl^-_{(ac)}$)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
Solución R. 6.1 ($PhCOO^-_{(ac)} + K^+_{(ac)} + Cl^-_{(ac)}$)	--	Sustancia no peligrosa	No requiere
Solución R. 9. 1, R.11.1 y R.11.2 ($NO_3^-_{(ac)} + K^+_{(ac)} + Na^+_{(ac)} + Cl^-_{(ac)}$)	H5.1 Oxidante	1486 	

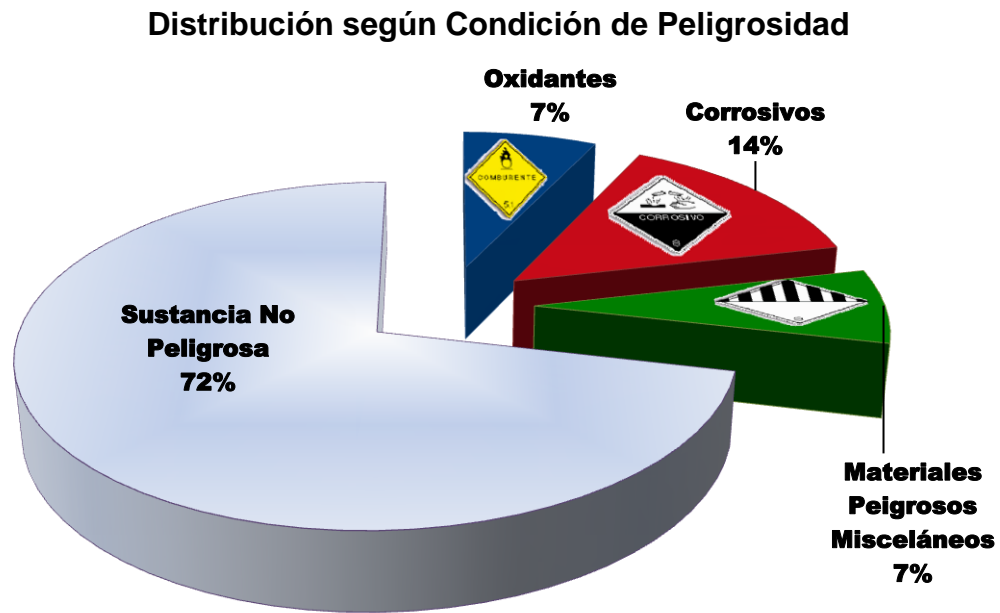
De esta tabla se puede extraer que de un total de 14 sustancias obtenidas, 10 son sustancias no peligrosas, 2 presentan carácter corrosivo, 1 es oxidante y la otra es un material peligroso misceláneo.

Una de las sustancias corrosivas es el Yodo recuperado y la otra sustancia es el Oxidocloruro de Antimonio, el cual, se considera un sub-residuo porque debe ser almacenado ya que no posee un uso inmediato.

La sustancia oxidante corresponde a las soluciones remanentes de los tratamientos de los residuos que contienen nitratos y no pueden ser descartados por el desagüe. El Ácido Benzoico recuperado es la sustancia clasificada como misceláneo

En la gráfica inferior se aprecia la distribución porcentual de los productos y sub-residuos en cada clasificación de peligrosidad.

Figura 78. Distribución de la clasificación de peligrosidad de los productos y sub-residuos obtenidos.



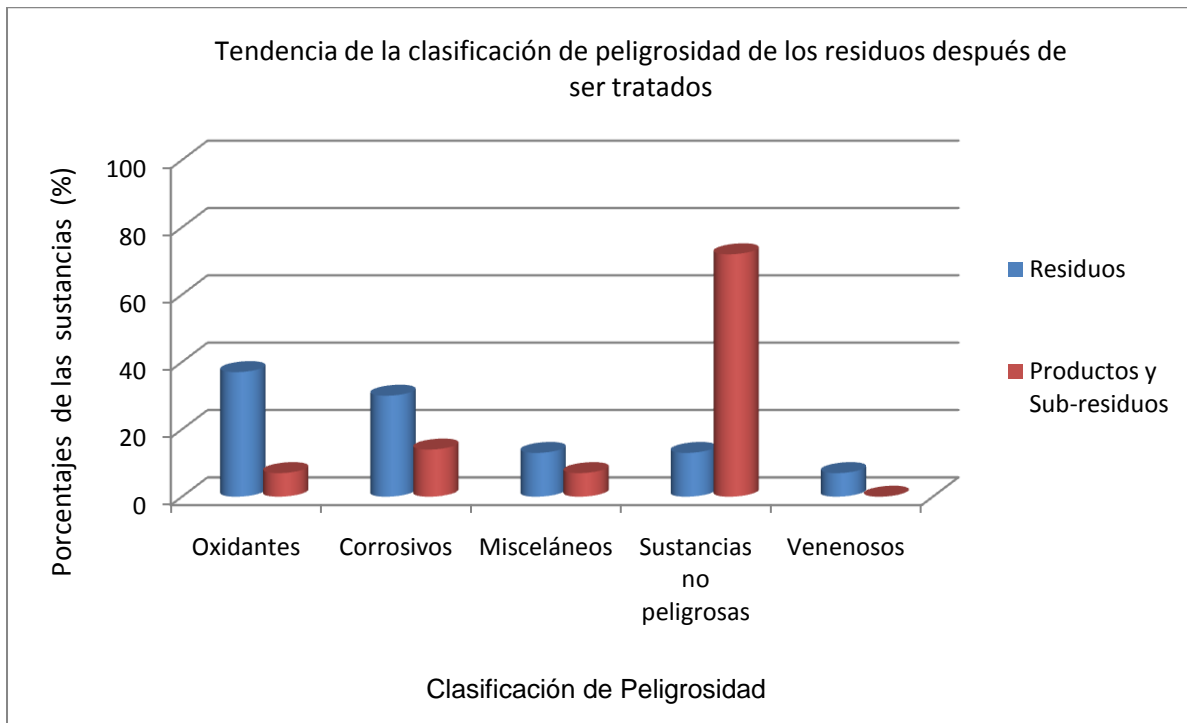
Esta distribución puede ser comparada con la de los residuos iniciales cuya gráfica se presentó en la figura 51 de la página 131. Los datos de ambas distribuciones se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 68. Datos de las distribuciones de los residuos de partida y de los productos y sub-residuos obtenidos luego de aplicar los tratamientos.

Clasificación de peligrosidad	Residuos iniciales	Productos y sub-residuos
Oxidantes	37%	7%
Corrosivos	30%	14%
Misceláneos	13%	7%
Sustancias no peligrosas	13%	72%
Venenosos	7%	0%

Esta comparación puede ser visualizada en el siguiente gráfico, donde se muestra la tendencia obtenida en cada clasificación de peligrosidad considerada.

Figura 79. Tendencia de la clasificación de peligrosidad de los residuos después de ser tratados



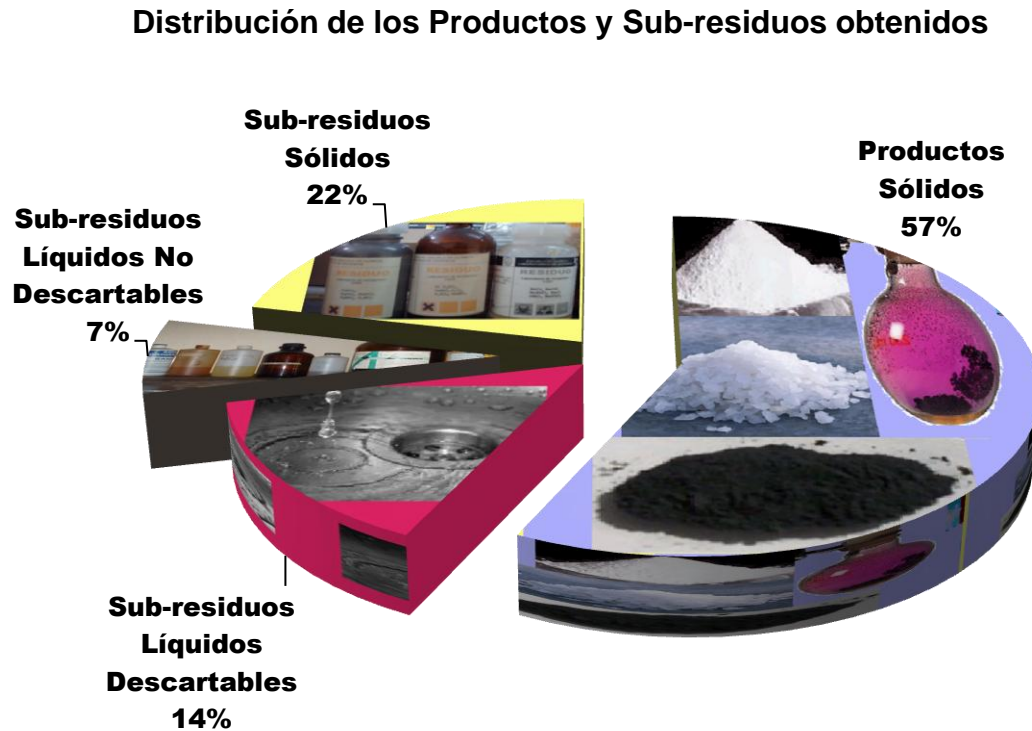
De la figura anterior se observa que se logró disminuir la condición de peligrosidad de los residuos de Permanganato de Potasio con los tratamientos seleccionados para ellos, transformándolos en un 72% de sustancias no peligrosas, es decir, que ya no representan un riesgo a la salud ni al medio ambiente.

También, de los resultados obtenidos en los tratamientos, se puede hacer otra clasificación basada en el destino que se le va a dar a estas sustancias. Los compuestos como el MnO_2 , K_2SO_4 , I_2 , CH_3COOK , PhCOOH , BaSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y la sal mixta $\text{K}_2\text{SO}_4 / \text{KCl}$ tienen asignadas propuestas de uso inmediato y por ello se consideran productos.

Los sólidos como AgCl , $\text{Fe}(\text{OH})\text{Bz}_2$ y el Oxiclورو de Antimonio ($\text{Sb}_x\text{O}_y\text{Cl}_z$), no tienen un destino inmediato y por ello se les clasifica como sub-residuos, al igual que las soluciones que contienen nitratos nombradas R.9.1, R.11.1 y R.11.2 deben ser almacenadas. Las soluciones R.1.1, R.10.1, R.3.1, R.4.1, R.7.1 y R. 6.1 pueden ser descargadas a las redes cloacales.

A continuación se presenta la distribución porcentual de esta nueva clasificación según su destino.

Figura 80. Distribución de productos y sub-residuos de acuerdo a su destino



Como se muestra en figura, los residuos de Permanganato de Potasio pueden ser aprovechados en su mayoría, transformándolos en productos útiles (57%) y en sustancias que no representan peligro para nuestra salud y el medio ambiente que pueden ser descartadas por el drenaje (14%).

Sólo un 29% de todas las sustancias obtenidas en los tratamientos deben ser almacenadas para su disposición final.

5.5.-Resumen de las propuestas de empleo de los productos obtenidos en los tratamientos de los residuos:

Tabla 69. Campo de uso o demanda de los productos.

Producto	Propuesta de empleo
MnO ₂	Como catalizador en la oxidación de residuos orgánicos volátiles (VOCs) y nitrogenados (N-VOCs), se puede incluir como reactivo en prácticas de laboratorio o en síntesis orgánicas donde aplique la reducción selectiva de nitrobenzeno, la oxidación de anilina a hidroquinona y la oxidación parcial de alcoholes alílicos en la síntesis de compuestos carbonílicos α-β insaturados. También es considerado un componente para cátodos reversibles en baterías, como material de partida para la producción de ferritas y colorantes, y como agentes inhibidores de corrosión de pinturas
K ₂ SO ₄	Como reactivo de Laboratorio de Inorgánica I e Instrumental Analítico, También se usa como fertilizante de uso agrícola.
PhCOOH	Como reactivo en los Laboratorios de Orgánica y Fisicoquímica
CH ₃ COOK	Como reactivo en la preparación de muestras problema para análisis de cationes y aniones del Laboratorio de Analítica
I ₂	Como reactivo en los Laboratorios de Inorgánica y Orgánica
K ₂ SO ₄ / KCl	Como impureza de la sal NaCl del Laboratorio I de Inorgánica y en las muestras problema para análisis de cationes y aniones del Laboratorio de Analítica

Tabla 67. Campo de uso o demanda de los productos. (Continuación)

Producto	Propuesta de empleo
BaSO ₄	Como impureza insoluble de la sal NaCl en el Laboratorio I de Inorgánica y en las muestras problema para análisis de cationes y aniones del Laboratorio de Analítica. También, se usa como lodo de perforación debido a su gran peso, como pigmento, como estándar del color blanco, en las industrias de caucho como material de relleno y en la pintura, en la industria del freno, del vidrio y como recubrimiento en las salas de rayos X.
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Como impureza de la sal NaCl del Laboratorio I de Inorgánica y en las muestras problema para análisis de cationes y aniones del Laboratorio de Analítica
AgCl	Como impureza de la sal NaCl del Laboratorio I de Inorgánica y en las muestras problema para análisis de cationes y aniones del Laboratorio de Analítica. Además, es fotosensible y se emplea en fotografía, fotometría y óptica, platinado, producción de plata pura y de antisépticos, como electrodo.

5.6.-Relación de costos de cada tratamiento por residuo:

Tabla 70. Relación de costos del tratamiento completo

Residuo	Volumen de Residuo	Tratamiento seleccionado		Catálogo Sigma Aldrich ^a		Costo del consumo del reactivo ^b	Costo del tratamiento por Litro de residuo
		Reactivo empleado	Volumen consumido	Reactivos comerciales	Costo del reactivo		
1	50 mL	KOH al 10%	1 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,00672 BsF. 0,029	33,9 BsF/L
		H ₂ O ₂ al 30%,	1mL	H ₂ O ₂ al 30%	500 mL US.\$ 88,80	US.\$ 0,1776 BsF. 0,764	
		H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	H ₂ SO ₄ 95,0-98,0%	2,5 L US.\$ 118,00	US \$ 0,00472 BsF. 0,020	
		Plancha ^c 668 W	30 min	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 BsF	
2	50 mL	KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	22,1 BsF/L
		H ₂ O ₂ al 30%,	3 gotas 0,15 mL	H ₂ O ₂ al 30%	500 mL US.\$ 88,80	US.\$ 0,02664 BsF. 0,115	
		H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	H ₂ SO ₄ 95,0-98,0%	2,5 L US.\$ 118,00	US \$ 0,00472 BsF. 0,020	
		Plancha ^c 668 W	30 min	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 BsF	

Tabla 68. Relación de costos del tratamiento completo (continuación)

Residuo	Volumen de Residuo	Tratamiento seleccionado		Catálogo Sigma Aldrich ^a		Costo del consumo del reactivo ^b	Costo del tratamiento por Litro de residuo
		Reactivo empleado	Reactivos comerciales	Reactivos comerciales	Costo del reactivo		
3	50 mL	KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	21,6 BsF/L
		KMnO ₄ 0,3M	4mL	KMnO ₄ ≥99,00%	500 g US.\$ 54,70	US \$ 0,021 BsF. 0,089	
		H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	H ₂ SO ₄ 95,0-98,0%	2,5 L US.\$ 118,00	US \$ 0,00472 BsF. 0,020	
		Plancha ^c 668 W	30 min	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 BsF	
4	50 mL	H ₂ O ₂ al 30%,	1mL	H ₂ O ₂ al 30%	500 mL US.\$ 88,80	US.\$ 0,1776 BsF. 0,764	16,3 BsF/L
		HCl al 10%	3 mL	HCl 37%	2,5 L US.\$ 103,50	US.\$ 0,0124 BsF. 0,053	
5	50 mL	KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	65,6 BsF/L
		H ₂ O ₂ al 30%,	3mL	H ₂ O ₂ al 30%	500 mL US.\$ 88,80	US.\$ 0,5328 BsF. 2,291	
		H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	H ₂ SO ₄ 95,0-98,0%	2,5 L US.\$ 118,00	US \$ 0,00472 BsF. 0,020	
		Plancha ^c 668 W	30 min	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 BsF	

Tabla 68. Relación de costos del tratamiento completo (continuación)

Residuo	Volumen de Residuo	Tratamiento seleccionado		Catálogo Sigma Aldrich ^a		Costo del consumo del reactivo ^b	Costo del tratamiento por Litro de residuo
		Reactivo empleado	Reactivos comerciales	Reactivos comerciales	Costo del reactivo		
6	100 mL	KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	11,03 BsF/ L
		KMnO ₄ 0,3M	5 mL	KMnO ₄ ≥99,00%	500 g US.\$ 54,70	US \$ 0,0259 BsF. 0,112	
		2,4-DNF al 3%	2 gotas 0,10 mL	2,4-DNF 97%	100g US.\$ 74,70	US \$ 0,000374 BsF. 0,002	
		H ₂ SO ₄ al 10%	1 mL	H ₂ SO ₄ 95,0-98,0%	2,5 L US.\$ 118,00	US \$ 0,00472 BsF. 0,020	
		Plancha ^c 668 W	30 min,	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 bsF	
7	50 mL	2,4-DNF al 3%	2 gotas 0,10 mL	2,4-DNF 97%	100g US.\$ 74,70	US \$ 0,000374 BsF. 0,002	3,83 BsF/ L
		KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	
		KMnO ₄ 0,3M	3 mL	KMnO ₄ ≥99,00%	500 g US.\$ 54,70	US \$ 0,01556 BsF. 0,067	
		HCl al 10%	2 mL	HCl 37%	2,5 L US.\$ 103,50	US \$ 0,00828 BsF. 0,036	

Tabla 68. Relación de costos del tratamiento completo (continuación)

Residuo	Volumen de Residuo	Tratamiento seleccionado		Catálogo Sigma Aldrich ^a		Costo del consumo del reactivo ^b	Costo del tratamiento por Litro de residuo
		Reactivo empleado	Reactivos comerciales	Reactivos comerciales	Costo del reactivo		
8	50 mL	H ₂ O ₂ al 30%,	4mL	H ₂ O ₂ al 30%	500 mL US.\$ 88,80	US.\$ 0,7104 BsF. 3,055	92,3 BsF/ L
		KOH al 10%	2 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,01344 BsF. 0,058	
		CH ₃ COOH	3 mL	CH ₃ COOH 99,7%	2,5 L US.\$ 120,50	US \$ 0,1446 BsF. 0,622	
		Plancha ^c 668 W	30 min	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 bsF	
9	50 mL	NaCl al10%	3mL	NaCl	500 g US \$45,00	US \$ 0,027 BsF. 0,1161	7,2 BsF/ L
		KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	
		BaCl ₂ al 10%	10 mL	BaCl ₂ .2H ₂ O ≥99%	100 g US.\$ 28,10	US \$ 0,0281 BsF. 0,121	
		HCl al 10%	2 mL	HCl 37%	2,5 L US.\$ 103,50	US \$ 0,00828 BsF. 0,036	

Tabla 68. Relación de costos del tratamiento completo (continuación)

Residuo	Volumen de Residuo	Tratamiento seleccionado		Catálogo Sigma Aldrich ^a		Costo del consumo del reactivo ^b	Costo del tratamiento por Litro de residuo
		Reactivo empleado	Reactivos comerciales	Reactivos comerciales	Costo del reactivo		
10	50 mL	KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	30,3 BsF/ L
		KMnO ₄ 0,3M	2 mL	KMnO ₄ ≥99,00%	500 g US.\$ 54,70	US \$ 0,0104 BsF. 0,045	
		Etanol	2 mL	Etanol ≥95%	4 L US.\$ 216,50	US \$ 0,1083 BsF. 0,465	
		HCl al 10%	2 mL	HCl 37%	2,5 L US.\$ 103,50	US \$ 0,0828 BsF. 0,036	
		Plancha ^c 668 W	30 min	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,037 BsF	
		Estufa ^d 3800 W	2h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 bsF	
11	50 mL	KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	18,8 BsF/L
		PhCO ₂ K al10%	6mL	PhCO ₂ K ≥99,0%	200 g US.\$ 47,70	US \$ 0,11448 BsF. 0,492	
		KMnO ₄ 0,3M	2 mL	KMnO ₄ ≥99,00%	500 g US.\$ 54,70	US \$ 0,0104 BsF. 0,045	
		HCl al 10%	2 mL	HCl 37%	2,5 L US.\$ 103,50	US \$ 0,0828 BsF. 0,036	
		BaCl ₂ al 10%	10 mL	BaCl ₂ .2H ₂ O ≥99%	100 g US.\$ 28,10	US \$ 0,0281 BsF. 0,121	
		CaCl ₂	10 mL	CaCl ₂ ≥93,0%	100 g US.\$ 30,50	US \$ 0,0305 BsF. 0,131	

Tabla 68. Relación de costos del tratamiento completo (continuación)

Residuo	Volumen de Residuo	Tratamiento seleccionado		Catálogo Sigma Aldrich ^a		Costo del consumo del reactivo ^b	Costo del tratamiento por Litro de residuo
		Reactivo empleado	Reactivos comerciales	Reactivos comerciales	Costo del reactivo		
12	50 mL	H ₂ O ₂ al 30%,	6 mL	H ₂ O ₂ al 30%	500 mL US.\$ 88,80	US.\$ 1,3954 BsF. 6,000	158,6 BsF/L
		KOH al 10%	3 mL	KOH granallas ≥85%	500 g US.\$ 33,60	US \$ 0,02016 BsF. 0,087	
		PhCO ₂ K al10%	2mL	PhCO ₂ K ≥99,0%	200 g US.\$ 47,70	US \$ 0,03816 BsF. 0,164	
		BaCl ₂ al 10%	6 mL	BaCl ₂ .2H ₂ O ≥99%	100 g US.\$ 28,10	US \$ 0,1686 BsF. 0,725	
		CaCl ₂	7 mL	CaCl ₂ ≥93,0%	100 g US.\$ 30,50	US \$ 0,2135 BsF. 0,918	
		HCl al 10%	2 mL	HCl 37%	2,5 L US.\$ 103,50	US \$ 0,0828 BsF. 0,036	
14	10 g	Estufa ^d 3800 W	2 h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,845 BsF	0,12 BsF/ g
		Mufla ^f 1700 W	2 h	Consumo eléctrico ^e	0,111 BsF/kWh	0,378 BsF	

^a Consultado en marzo 2010

^b Tasa cambiaria 1 \$ = 4,30 BsF

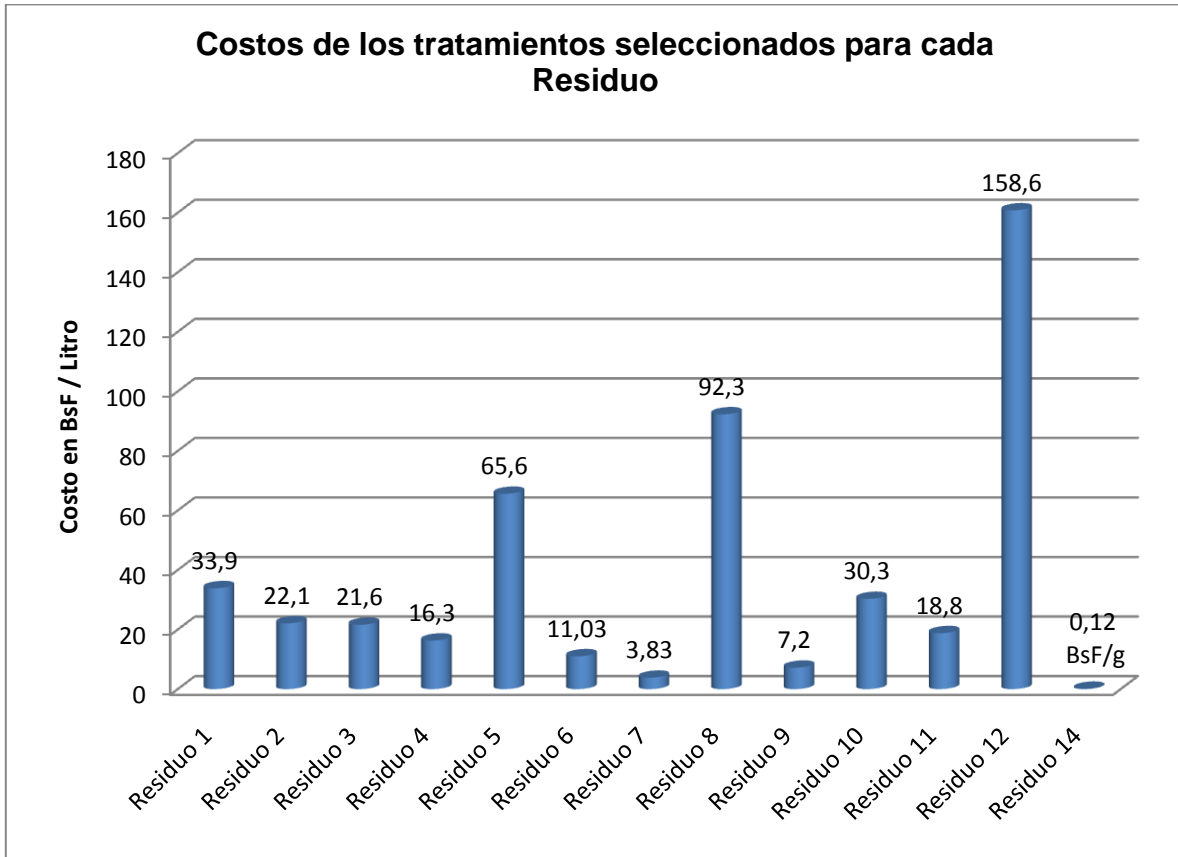
^c Corning Stirrer Hot Plate. Modelo PC-420. 120VAC. 60Hz. 668W

^d Memmert. Modelo U-60. 110V. 50Hz. 3800W

^e Tarifa vigente según Gaceta Oficial N° 37.415 publicada el 03 abril 2002.

^f NEY 2-160. Series II. 120V. 50/60Hz. 1700W

Figura 81. Gráfica de los costos del tratamiento por cada litro de residuo.



En esta gráfica se puede apreciar el costo aproximado en bolívares que significaría tratar un litro de cada residuo con los métodos propuestos. Aquí resalta el Residuos 12 por poseer el valor más elevado, si se observa en la tabla anterior esto se debe al consumo de Peróxido de Hidrógeno. Este reactivo cumple doble función en el tratamiento del residuo, reduce la especie Yodato a Yodo y también se emplea para oxidar al Manganeso (II) a MnO_2 . La mayoría de los tratamientos se encuentran por debajo de los 35 BsF por litro de residuo y el promedio de costo es de 37,05 BsF/ L.

5.6.- Propuesta de una práctica de laboratorio.

Con los resultados obtenidos en este trabajo para los Residuos 1 y 2, se elaboró un modelo de práctica de laboratorio que consta de dos experimentos para el tratamiento de residuos sencillos generados en los laboratorios de Principios de Química y el Laboratorio I de Química Inorgánica.

PRÁCTICA ADICIONAL

Título: RECUPERACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PERMANGANATO DE POTASIO GENERADOS EN ESTE LABORATORIO.

INTRODUCCIÓN

Los centros de investigación, como lo son los laboratorios universitarios son importantes generadores de sustancias, materiales y residuos peligrosos. En este punto es necesario definir lo que es un residuo peligroso: Es aquella sustancia en estado sólido, líquido o gaseoso que no tiene un valor de uso directo y en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad puede presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al medio ambiente.

El manejo inadecuado y la acumulación de los residuos y desechos peligrosos pueden constituir un problema ambiental *ya que al ser almacenados y descartados en forma inadecuada, sin tratamiento previo*, pueden transportarse a través del agua, suelo y aire, y llegar al ambiente, desde unos pocos hasta cientos de kilómetros del lugar de origen. El daño que ello causa no solo se debe a la toxicidad directa en los seres vivos,

sino también, a su capacidad de alterar la química del agua, la atmósfera, el suelo, el clima y los ecosistemas

La normativa ambiental venezolana y los proyectos de ley que se desarrollan, elevan el compromiso de la Universidad Central y por tanto de todos sus miembros, a involucrarse en el desarrollo de tecnologías limpias que armonicen con los requerimientos y exigencias de los criterios ambientales actuales. Para cumplir con esta responsabilidad se debe tener, en primer lugar, los conocimientos necesarios para recoger y gestionar adecuadamente todos los residuos que se generan.

En este laboratorio se destacan los residuos de Permanganato de Potasio ya que son los que se generan en mayor volumen y representan un alto grado de peligrosidad por sí mismos y por encontrarse en diversas mezclas.

OBJETIVOS GENERALES

- Crear el compromiso de los próximos Licenciados en Química de tratar los residuos y/o desechos en la misma fuente, preferiblemente por quienes los produjeron.
- Tratar los residuos de Permanganato de Potasio generados en prácticas anteriores de este laboratorio

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Tratar los residuos por dos métodos diferentes y compararlos.
- Disminuir el grado de peligrosidad de estos residuos
- Transformar estos residuos en productos útiles y recuperarlos
- Eliminar la acumulación de estos residuos

CONOCIMIENTOS QUE DEBE DOMINAR EL ESTUDIANTE

- Gestión de residuos. Etapas
- Tratamiento de aguas residuales
- Clasificación de peligrosidad de la ONU y de la Unión Europea.
- Decreto 2 635, Artículos 6 y 8
- Decreto 883, Sección V del Capítulo III
- Efectos del Manganeseo, sulfatos y hierro en el agua.
- Hojas de seguridad de: KMnO_4 , H_2SO_4 , K_2SO_4 , BaSO_4 , MnO_2 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, KCl ,

PARTE EXPERIMENTAL

Experimento N°1. Tratamiento de los residuos generados en el Laboratorio de Principios de Química

a.- Mezclar en un beaker grande los residuos recolectados de la practica N° 3 (reacciones en medio líquido) generados en los experimentos 1 y 2.A.b junto con el residuo de la práctica N° 9 (titulaciones redox) del experimento 1. A esta mezcla de soluciones se le va a denominar Residuo 1.

b.- Tomar las características del Residuo 1, como el volumen de la solución, su color, aspecto (homogéneo o heterogéneo) y medir le pH empleando un papel indicador.

c.- Establecer las especies presentes en el Residuo 1 de acuerdo a la procedencia de los tres residuos mezclados y especificar cuales son objeto de regulación según el Artículo15 del Decreto 883

d.- Dividir en dos partes iguales al Residuo 1. A una parte se le aplicará el Tratamiento A y a la otra el Tratamiento B.

Tratamiento A:

Paso 1. Tener listos los siguientes reactivos y materiales:

- ✓ Solución de KOH al 10 %
- ✓ Solución de H_2O_2 al 35% o de menor concentración
- ✓ Solución saturada de $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ o de BaCl_2
- ✓ Acido Clorhídrico HCl al 37% o de menor concentración
- ✓ Papel indicador de pH cortado en pedacitos sobre un vidrio de reloj
- ✓ Pipetas Pasteur con mamila

Paso 2. Tomar el Residuo 1 y ajustar el pH de la solución entre 8 y 9 añadiendo cuidadosamente con ayuda de una pipeta Pasteur la solución de KOH, controle el pH luego de cada adición con el papel indicador.

Paso 3. Una vez ajustado el pH, se adiciona gota a gota la solución de H_2O_2 , hasta que no se produzca más precipitado. Si la solución de H_2O_2 es muy concentrada (al 35%) la reacción puede ser violenta y generar salpicaduras por lo que se recomienda emplear una solución más diluida y ser cuidadoso en este paso. Anotar los cambios producidos.

Paso 4. Luego de terminada la reacción anterior se procede a calentar suavemente la solución sobre una plancha a temperatura media (no llegar a ebullición), con el fin de destruir el exceso de reactivo H_2O_2 y flocular el precipitado.

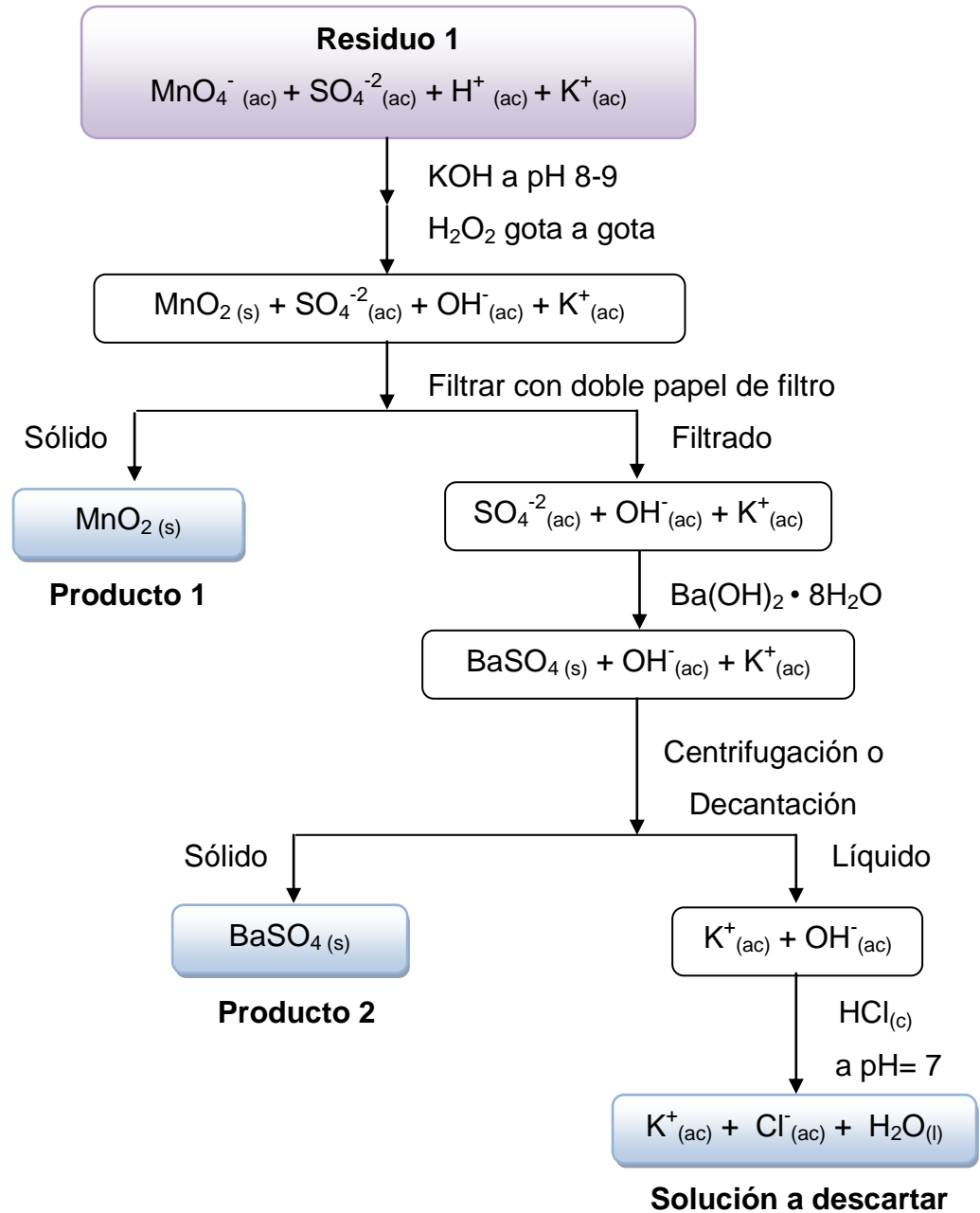
Paso 5. Filtrar por succión suave la solución fría, como el precipitado es muy fino se debe de utilizar de dos a tres papeles de filtro de poro pequeño. En caso de que

parte del sólido pase al filtrado se puede volver a filtrar la solución tomando la previsión de añadir un papel de filtro más en la cara que hace contacto con el embudo Büchner. Secar el sólido en la estufa y pesar.

Paso 6. Al filtrado añadir gota a gota la solución de Bario, agitar y dejar reposar unos minutos para que se asiente el nuevo precipitado obtenido. Prueba control: Se toma unas gotas de la solución sobrenadante y se coloca sobre un vidrio de reloj, a ésta se le agrega una o dos gotas de la solución de Bario. La formación de precipitado indica que todavía hay que añadir más de este reactivo al filtrado, realizar esta prueba hasta que no se forme precipitado en el vidrio de reloj, los residuos de ella deben ser agregados de nuevo a la solución.

Paso 7. Dejar reposar y decantar o centrifugar la solución. Secar el sólido en la estufa y pesarlo, al líquido se le ajusta el pH a 7 con el HCl y ésta solución puede ser descartada al desagüe de manera segura.

Diagrama ecológico del Residuo 1. Tratamiento A.



Tratamiento B:

Paso 1. Tener listos los siguientes reactivos y materiales:

- ✓ Solución de KOH al 10%
- ✓ Solución de H₂O₂ al 35% o de menor concentración
- ✓ Acido Sulfúrico H₂SO₄ diluido
- ✓ Papel indicador de pH cortado en pedacitos sobre un vidrio de reloj
- ✓ Pipetas Pasteur con mamila

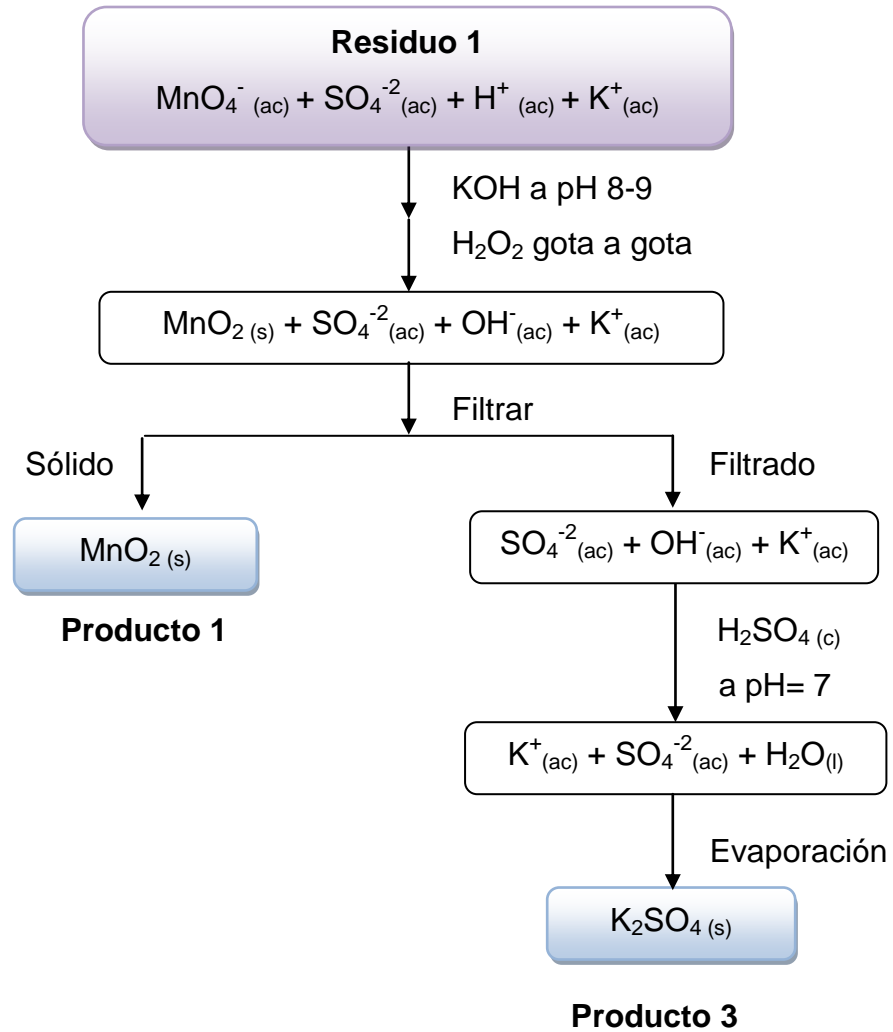
Los pasos 2, 3 ,4 y 5 son iguales a los del Tratamiento A

Paso 6. Al filtrado se le ajusta el pH a 7 con el H₂SO₄

Paso 7. Esta solución se calienta sobre una plancha hasta evaporar la mayoría del solvente, se deben añadir perlas de ebullición y no se debe tapar el beaker. La evaporación a sequedad se logra en la estufa no sobre la plancha porque puede estallar el beaker al sobrecalentarse. Luego de secada la sal formada se pesa.

En la siguiente figura se muestra el diagrama ecológico de este tratamiento

Diagrama ecológico del Residuo 1. Tratamiento B.



Asignaciones para el experimento 1:

- Explique las reacciones y anote sus observaciones. Establezca las ecuaciones químicas en cada paso.
- ¿Por qué se realiza una prueba control en la adición de Bario en el Tratamiento A?

- ¿Por qué se utiliza para neutralizar el pH a 7, HCl para el Tratamiento A y H_2SO_4 para el Tratamiento B?
- Con las hojas de seguridad de los compuestos, indique cual era el grado de peligrosidad del Residuo 1 inicialmente y cual es el grado de peligrosidad de los productos y la solución obtenidos luego de los tratamientos.
- Investigue la utilidad de los sólidos obtenidos
- Con la información anterior ¿Cuál tratamiento cree Ud. que es el más ventajoso? Explique.

Experimento N°2. Tratamiento de los residuos generados en el Laboratorio I de Química Inorgánica.

a.- Mezclar en un beaker grande los residuos de la practica N° 9 (Preparación electrolítica del Peroxidisulfato de Potasio $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) generados en los experimentos 1.5.a (Propiedades oxidantes del Permanganato), 3.C.II (Estudio comparativo, ensayo con Peróxido de Hidrógeno y Permanganato de Potasio) y 4 (Descomposición del Peróxido de Hidrógeno, sólo la fase líquida). A esta mezcla de soluciones se le va a denominar Residuo 2.

b.- Tomar las características del Residuo 2, como el volumen de la solución, su color, aspecto (homogéneo o heterogéneo) y medir le pH empleando un papel indicador.

c.- Establecer las especies presentes en el Residuo 2 de acuerdo a la procedencia de los tres residuos mezclados y especificar cuales son objeto de regulación según el Artículo 15 del Decreto 883

d.- Dividir en dos partes iguales al Residuo 2. A una parte se le aplicará el Tratamiento A y a la otra el Tratamiento B.

El Tratamiento A y B son los mismos que se exponen en el experimento N°1 con la diferencia de que para este residuo se deben invertir los Pasos 2 y 3, ya que primero hay que agregar el agente oxidante y luego la base, de lo contrario precipitaría un sólido blanco correspondiente al Hidróxido de Manganeso $Mn(OH)_2$.

Asignaciones para el experimento 3:

- Elabore los diagramas ecológicos para el Tratamiento A y B del Residuo 3
- Realizar las asignaciones del experimento 1.

BIBLIOGRAFÍA

- Información sobre gestión de residuos <http://www.epa.gov/espanol>
- Decreto 2635. Norma para el Control de Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos. Publicada en Gaceta Oficial 5 245 de la República Bolivariana de Venezuela de fecha 3 de agosto de 1998.
- Decreto 883. Norma para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Publicado en Gaceta Oficial 5 021 de la República Bolivariana de Venezuela de fecha 18 de diciembre de 1995.
- Clasificación y etiquetado de productos químicos: sistema mundialmente armonizado (GHS). NTP 726. <http://www.insht.es>
- Hojas de Seguridad. Están disponibles en muchas páginas web, por ejemplo, <http://www.sigmaaldrich.com>

6.- CONCLUSIONES

En los Laboratorios de Docencia existen cuatro problemas principales en relación a la gestión de residuos, estos son: (i) envasado en recipientes no apropiados, (ii) identificación incompleta en el etiquetado, (iii) almacenaje en lugares inadecuados sin hacer la separación por incompatibilidades químicas y por un tiempo mayor a 90 días, por último, (iv) la enorme cantidad de residuos acumulados en espera por tratamiento o disposición final.

Los dos tratamientos más sencillos que resultaron ser rápidos y eficaces fueron el uso de H_2O_2 y de KMnO_4 que permitieron recuperar al Manganeseo como MnO_2 de manera cuantitativa, así como también otros compuestos presentes en las soluciones gracias a que estos dos reactivos no dejan residuos ni introducen especies nuevas.

La precipitación de sulfatos con Bario es eficiente si se controla la adición de la cantidad de este reactivo, por medio de una prueba sencilla y eficaz, de lo contrario se estaría introduciendo al residuo otra especie contaminante.

Por medio de la evaporación del solvente fueron recuperados varios compuestos en soluciones de composición simple, es por ello que se deben evitar las mezclas de residuos diferentes porque se ve comprometido el potencial de reciclaje de los mismos.

El sulfato de potasio recuperado, caracterizado por FTIR, puede emplearse como reactivo para ensayos, específicamente en el Laboratorio I de Inorgánica, también para preparar soluciones patrones de Potasio o de Sulfatos en el Laboratorio de Instrumental Analítico ya que posee un grado de pureza de 99,8%

Se logró disminuir las concentraciones de todas las especies contaminantes, exceptuando los nitratos, por debajo de los límites permitidos en el Decreto 883, aplicando una marcha analítica sencilla.

El Dióxido de Manganeso, γ - MnO_2 hidratada o Nsutita, obtenido como producto principal fue caracterizado por XRD y FTIR, presentando irregularidad y desorden estructural, el cual puede ser usado como catalizador en la oxidación de residuos orgánicos volátiles (VOCs) y nitrogenados (N-VOCs) entre otras aplicaciones.

Los diagramas ecológicos construidos para cada residuo suministran la información necesaria sobre los procesos aplicados en los tratamientos.

El 72% de las sustancias obtenidas al aplicar los tratamientos son de condición no peligrosa.

Sólo un 29% de todas las sustancias obtenidas en los tratamientos deben ser almacenadas para su disposición final, el 14% de ellas pueden ser descartadas por el drenaje y el 57% son productos reusables.

En el análisis económico se demuestra que resulta viable tratar los residuos en la propia institución con un costo promedio de 37,05 BsF/ L y adicionalmente, la ejecución pueden ser llevada por los mismos alumnos debido a la sencillez de los procedimientos, para lo cual se elaboró una práctica planteada para los dos primeros laboratorios de la carrera, Principios de Química e Inorgánica I.

En esta investigación se ilustra que no se necesita de grandes desarrollos tecnológicos para dar solución al problema de los residuos de Permanganato de Potasio, poniendo a disposición los esquemas de segregación, el etiquetado correcto, el agrupamiento adecuado de los residuos, el inventario, el tratamiento que en la mayoría

de los casos no genera sub-residuos lo cual elimina el problema de almacenamiento, además que tiene un valor agregado por la utilidad de los productos obtenidos.

7.- RECOMENDACIONES

Realizar estudios análogos en el resto de los residuos de los Laboratorios de Docencia, por ejemplo, los residuos de Cromo, residuos orgánicos, residuos de ácidos concentrados, residuos de soluciones ácidas de acero, etc.; para atacar la problemática con estrategias preventivas más que remediabiles.

Estudiar la posibilidad de que en todos los laboratorios que se generen residuos de Permanganato disponga de los diagramas ecológicos y de las etiquetas planteadas en esta investigación.

Conformar una comisión para entrenar y dotar al personal que labora en los Laboratorios de Docencia para que se encargue de informar y velar por el cumplimiento de la gestión de residuos en cada laboratorio.

Introducir al final de cada laboratorio una práctica como la propuesta en este trabajo, para que el alumno gestione sus propios residuos y cumpla con su responsabilidad ambiental.

Comprobar la actividad catalítica del Dióxido de Manganeso, MnO_2 obtenido en este trabajo, sobre otros contaminantes orgánicos.

Hacer la disposición final de los residuos ya almacenados en los Laboratorios de Docencia.

8.- ANEXOS

ANEXO A. Definición de Términos

Según la Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos ^[13] en su Artículo 9, se entiende por:

1. **Almacenamiento de desechos peligrosos:** depósito temporal de desechos peligrosos bajo condiciones controladas y ambientalmente seguras, sin que se contemple ninguna forma de tratamiento ni transformación inducida de los desechos almacenados.
2. **Aprovechamiento de materiales peligrosos recuperables:** las operaciones o procesos destinados a extraer y utilizar materias primas o energía de materiales recuperables.
3. **Desecho:** material, sustancia, solución, mezcla u objeto para los cuales no se prevé un destino inmediato y deba ser eliminado o dispuesto en forma permanente.
4. **Desecho patológico:** desecho biológico o derivado biológico que posea la potencialidad de causar enfermedades en todo ser vivo.
5. **Desecho peligroso:** material simple o compuesto, en estado sólido, líquido o gaseoso que presenta propiedades peligrosas o que está constituido por sustancias peligrosas que conservan o no sus propiedades físicas, químicas o biológicas y para el cual no se encuentra ningún uso por lo que debe implementarse un método de disposición final. El término incluye los recipientes que los contienen o los hubieren contenido.

6. Disposición final de desechos peligrosos: operación de depósito permanente que permite mantener minimizadas las posibilidades de migración de los componentes de un desecho peligroso al ambiente, de conformidad con la reglamentación técnica que rige la materia.

7. Eliminación de desechos peligrosos: proceso de transformación de los desechos peligrosos, previo a la disposición final, cuyo objetivo no sea el aprovechamiento de alguno de sus componentes, ni de su contenido energético, ni conduzca a la recuperación de los compuestos resultantes.

8. Fuente de radiación ionizante: cualquier dispositivo o material que emita radiación ionizante en forma cuantificable.

9. Manejo: conjunto de operaciones dirigidas a darle a las sustancias, materiales y desechos peligrosos el destino más adecuado, de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños a la salud y al ambiente. Comprende la generación, minimización, identificación, caracterización, segregación, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición final o cualquier otro uso que los involucre.

10. Material peligroso: sustancia o mezcla de sustancias que por sus características físicas, químicas o biológicas sea capaz de producir daños a la salud, a la propiedad o al ambiente. Incluye los materiales peligrosos recuperables. Para fines de la presente Ley, los materiales peligrosos estarán clasificados de acuerdo con lo especificado en la reglamentación técnica vigente y en los Convenios o Tratados Internacionales ratificados válidamente por la República.

11. Material peligroso recuperable: material que reviste características peligrosas que después de servir a un propósito específico todavía conserva propiedades físicas y

químicas útiles y, por lo tanto, puede ser rehusado, reciclado, regenerado o aprovechado con el mismo propósito u otro diferente.

12. Organoclorados - orgánico persistentes: un grupo de compuestos químicos orgánicos, en su gran mayoría sintéticos, que contienen átomos de cloro incorporados en su estructura química y que tienen como características el ser estables, persistentes en el ambiente y bioacumulables en los tejidos de los organismos vivos. El listado de los contaminantes orgánico persistentes será el establecido en la reglamentación técnica que rige la materia, el cual podrá ser ampliado o modificado, mediante decreto del Ejecutivo, oída la opinión de la Comisión Presidencial a que se refiere esta Ley.

13. Plaguicida: cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera, alimentos para animales o que puedan administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de plaga en la fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte.

14. Producto químico: sustancia o mezcla de sustancias, de origen natural o sintético resultante de un proceso químico.

15. Radiación ionizante: es aquella radiación de naturaleza corpuscular o electromagnética, que en su interacción con la materia produce iones directa o indirectamente.

16. Reciclaje de materiales peligrosos: el empleo de materiales peligrosos recuperables para ser utilizados de nuevo como materia útil, a fin de obtener productos que puedan ser o no similares al producto original.

17. Recuperación de materiales peligrosos: operaciones o procesos que comprenden la recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento o transformación de materiales peligrosos para reutilización, reciclaje o aprovechamiento.

18. Regeneración de materiales peligrosos: el proceso de purificación o reelaboración de materiales peligrosos para devolverle al material las mismas características que tenía en su estado original.

19. Reutilización de materiales peligrosos: la utilización en el mismo proceso del material peligroso recuperado en el ciclo de producción.

20. Riesgo Químico: probabilidad de que una o varias especies químicas interactúen entre ellas o con el ambiente dando como resultado una acción de: combustión, liberación de gases peligrosos, inflamabilidad, explosión, toxicidad, corrosión o reactividad química que ponga en peligro la salud, el medio productivo o el ambiente.

21. Sustancia: cualquier elemento o compuesto químico en estado físico sólido, líquido o gaseoso que presenta características propias.

22. Sustancia peligrosa: sustancia líquida, sólida o gaseosa que presente características explosivas, inflamables, reactivas, corrosivas, combustibles, radiactivas,

biológicas perjudiciales en cantidades o concentraciones tales que represente un riesgo para la salud y el ambiente.

23. Tratamiento de desechos peligrosos: las operaciones realizadas con la finalidad de minimizar o anular algunas de las características peligrosas del desecho a los fines de facilitar su manejo.

24. Tecnología limpia: procesos o equipos utilizados en la producción que poseen una baja tasa de generación de residuos, según las normas.

ANEXO B. Clasificación de los Materiales Peligrosos:

Según el Decreto N° 2635 ^[15] en sus Artículos 6 y 8, queda establecida las características peligrosas y niveles de riesgo de los materiales recuperables y desechos, conforme a la definición de las Naciones Unidas se clasifican de la siguiente manera:

- 1.- Por sus Efectos sobre la Salud
- 2.- Por su Peligrosidad
- 3.- Por sus Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas

1.- Clasificación por sus Efectos sobre la Salud:

Tabla 71. Clasificación de los materiales peligrosos según los efectos sobre la salud

Efecto	Descripción
Cancerígenos	Sustancias químicas capaces de producir una proliferación excesiva de células por la alteración los mecanismos reguladores, produciendo cáncer o aumentando su frecuencia
Mutagénicos	Sustancias capaces de alterar tanto la estructura como el número de los genes o de cromosomas de cualquier organismo vivo y se transmiten a los descendientes por herencia
Teratogénicos	Sustancias capaces de generar malformaciones en el feto durante el desarrollo embrionario
Irritantes	Sustancias que provocan irritación de los órganos de contacto (ojos, piel, mucosas, etc.) y pueden causar inflamación y otros efectos adicionales como urticaria
Asfixiantes	Sustancias depresivas del sistema respiratorio. Se dividen en Simples (gases fisiológicamente inertes, desplazando sólo al oxígeno) y Asfixiantes Químicos (impiden al cuerpo utilizar el oxígeno de la sangre)
Hepatotóxicos	Sustancias que afectan al hígado, alterando los niveles de enzimas, incapacitándolo para eliminar los tóxicos del cuerpo
Nefrotóxicos	Sustancias que afecta os riñones, alteran la eliminación de desechos líquidos por el cuerpo, provocando un envenenamiento sistemático y en ocasiones causan la muerte
Neurotóxicos	Sustancias que afectan al sistema nervioso, bloquean los impulsos eléctricos de la sinapsis; reduciendo la habilidad del pensamiento

Tabla 71: Clasificación de los materiales peligrosos según los efectos sobre la salud. (Continuación)

Efecto	Descripción
Anestésicos	Sustancias depresivas del sistema nervioso central , reducen la intensidad de impulsos nerviosos afectando al sistema nervioso periférico
Hematopoyéticos	Sustancias que afectan los órganos formadores de la sangre (médula espinal), alteran la formación de los glóbulos rojos. Existen también alteraciones en la producción de leucocitos
Peligrosos para la Reproducción	Sustancias que afectan negativamente a la capacidad reproductora

2.- Clasificación por su Peligrosidad:

Existen diferentes clasificaciones de los materiales peligrosos de acuerdo a su peligrosidad.

2.1.- Según el Decreto 2.635 en su Artículo 6 señala las características peligrosas de materiales recuperables y desechos, conforme a la definición de las Naciones Unidas para el transporte de mercancías.

Tabla 72. Clasificación de los materiales peligrosos según el Artículo 6 del Decreto 2.635.



Código de la Normativa Venezolana	Pictograma asignado por la ONU	Características de peligrosidad
H1 Explosivos		Sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.
H2 Gases		Gases a presión, inflamables, no inflamables, venenosos o corrosivos.

Tabla 72: Clasificación de los materiales peligrosos según el Artículo 6 del Decreto 2.635. (Continuación)

Código de la Normativa Venezolana	Pictograma asignado por la ONU	Características de peligrosidad
<p>H3 Líquidos inflamables</p>		<p>Líquidos, o mezclas de líquidos o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, etc., pero sin incluir sustancias o desechos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas) que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60,5°C, en ensayos con cubeta cerrada, o no más de 65,6°C, en ensayos con cubeta abierta.</p>
<p>H4.1 Sólidos inflamables</p>		<p>Sólidos o desechos sólidos distintos a los clasificados como explosivos, que en las condiciones prevaletientes durante el transporte son fácilmente combustibles o pueden causar un incendio o contribuir al mismo, debido a la fricción.</p>
<p>H4.2 Materiales espontáneamente combustibles</p>		<p>Sustancias o desechos susceptibles de calentamiento espontáneo en las condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire y que pueden entonces encenderse.</p>
<p>H4.3 Materiales que son peligrosos al mojarse</p>		<p>Sustancias o desechos que por reacción con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas.</p>
<p>H5.1 Oxidantes</p>		<p>Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>
<p>H5.2 Peróxidos Orgánicos</p>		<p>Sustancias o desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -O-O-, son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición auto-acelerada exotérmica.</p>

Tabla 72: Clasificación de los materiales peligrosos según el Artículo 6 del Decreto 2.635. (Continuación)

Código de la Normativa Venezolana	Pictograma asignado por la ONU	Características de peligrosidad
H6.1 Tóxicos (venenos) agudos		<p>Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.</p>
H6.2 Sustancias infecciosas		<p>Sustancias o desechos que contienen microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.</p>
H7 Materiales y desechos radiactivos		<p>Materiales y desechos radiactivos.</p>
H8 Corrosivos		<p>Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>
H9 Materiales peligrosos misceláneos		<p>Misceláneos de mercancía peligrosas, sustancias peligrosas al medio ambiente y desechos peligrosos</p>
H10 Sustancias que liberan gases tóxicos en contacto con el aire o el agua:	<p>--</p>	<p>Sustancias o desechos que por reacción con el aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas.</p>
H11 Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)	<p>--</p>	<p>Sustancias o desechos que de ser aspirados o ingeridos o de penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinógena.</p>

Tabla 72: Clasificación de los materiales peligrosos según el Artículo 6 del Decreto 2.635. (Continuación)

H12 Ecotóxicos	--	Sustancias o desechos que si se liberan tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.
H13 Sustancias que pueden dar origen a otra sustancia que también presenta características peligrosas	--	Sustancias que pueden por algún medio, después de su tratamiento o eliminación, dar origen a otra sustancia que también presenta características peligrosas o generar un producto de lixiviación que exceda las concentraciones máximas permisibles para lixiviados .

2.2.- De forma análoga el Artículo 8 del Decreto 2.635 clasifica el nivel de riesgo en cinco clases de peligrosidad creciente.

Tabla 73. Clasificación de los materiales peligrosos según su nivel de riesgo

Clase	Descripción
Clase 1	Se aplica a compuestos en estado sólido, poco solubles, no inflamables, ni reactivos, ni corrosivos que aunque contienen elementos que pueden ser perjudiciales al ambiente, los mismos no se liberan ni pasan al ambiente en forma inmediata; si se dispersan sobre el suelo, pueden ser recolectados con utensilios manuales o mecánicos sin exigir equipos de protección completa del trabajador.
Clase 2	Materiales y desechos semisólidos o líquidos, hidrosolubles, no inflamables ni reactivos, ni corrosivos, con elementos tóxicos en concentraciones que no puedan causar un envenenamiento masivo, ni perdurable en el ambiente; no son irritantes ni tóxicos por inhalación; su riesgo mayor está relacionado con su condición fluida que dificulta su recuperación en caso de derrame.
Clase 3	Sólidos o líquidos, combustibles o inflamables solo en presencia de llama, pueden tener ciertas características irritantes, corrosivas o tóxicas pero no requieren para su manejo equipos de protección total; potencial de dispersión limitado, cantidad transportada que no exceda de 3 toneladas, ni 25 metros cúbicos, con un daño esperado moderado, en áreas puntuales y sin efectos perdurables en el ambiente.

Tabla 73: Clasificación de los materiales peligrosos según su nivel de riesgo.
(Continuación)

Clase 4	Sólidos o líquidos, explosivos o inflamables sin presencia de llama, corrosivos, reactivos o tóxicos; con efectos potenciales peligrosos y perdurables en las personas o el ambiente, pero en razón a las cantidades transportadas no es factible que ocurran situaciones de destrucción ni contaminación alejadas del lugar del accidente, hay posibilidades técnicas de controlar la diseminación del agente o detener su efecto.
Clase 5	Sólidos, líquidos o gases que pueden producir reacciones explosivas, o ser fácilmente inflamables, muy reactivos, corrosivos, desprenden gases y vapores tóxicos, alto potencial de propagación o diseminación, efecto letales a las personas o letales y persistentes al ambiente, pueden causar destrucción o contaminación a decenas de metros del accidente.

2.3- Según el Consejo de la Unión Europea, el Sistema ADR/RID (Acuerdo Europeo sobre el transporte internacional de cargas peligrosas por vía terrestre y Reglamento relativo al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas) establece una clasificación y símbolos de peligrosidad para la regulación de sustancias peligrosas^[82].

Tabla 74. Clasificación de las Sustancias y Desechos Tóxicos, según la Unión Europea



Símbolo de Peligrosidad	Indicación del Peligro	Clasificación
 E	Explosivo	Sustancias y preparaciones que reaccionan exotérmicamente también sin oxígeno y que detonan según condiciones de ensayo fijadas, deflagran rápidamente o que pueden explotar.
 O	Comburente	Peróxidos orgánicos que son combustibles aunque no estén en contacto con materiales combustibles. Otras sustancias y preparaciones que normalmente ellas mismas no son combustibles pero que en contacto con materiales combustibles, aumentan considerablemente el peligro de incendio y la violencia del mismo.

Tabla 74: Clasificación de las Sustancias y Desechos Tóxicos, según la Unión Europea. (Continuación)






 F⁺	Extremadamente inflamable	<p>Líquidos con un punto de inflamación inferior a 0·C y un punto de ebullición máximo de 35·C. Gases y mezclas de gases que a presión normal y temperatura usual son inflamables en el aire.</p>
 F	Fácilmente inflamable	<p>Líquidos con un punto de inflamación inferior a 21·C pero que no son altamente inflamables. Sustancias sólidas y preparaciones que al contacto con agua o aire húmedo forman gases extremadamente inflamables. Sustancias sólidas y preparaciones que por acción breve de una fuente de inflamación pueden inflamarse fácilmente y luego pueden continuar quemando o permanecer incandescentes.</p>
 T⁺	Muy tóxico	<p>La inhalación, la ingestión o la absorción cutánea de dosis muy escasas pueden provocar graves daños a la salud, posiblemente consecuencias mortales; en el caso de indicios considerables de daños graves para la salud, posiblemente irreversibles, por acción única, repetida o prolongada.</p>
 T	Tóxico	<p>La inhalación, la ingestión o la absorción cutánea de dosis muy escasas pueden provocar graves daños para la salud, posiblemente de consecuencias mortales; en el caso de indicios considerables de daños graves para la salud posiblemente irreversibles, por absorción única, repetida o prolongada, especialmente en caso de sospecha de efectos cancerígenos, mutágenos y tóxicos en la reproducción.</p>
 X_n	Nocivo.	<p>La inhalación, la ingestión o la absorción cutánea pueden provocar daños para la salud agudos o crónicos. En caso de sospecha de daños graves para la salud, posiblemente irreversibles, por absorción única, repetidas o prolongada, especialmente en el caso de sospecha de efectos cancerígenos, mutágenos y tóxicos en la reproducción. Peligro de sensibilización en el caso de inhalación.</p>
 X_i	Irritante.	<p>Sin ejercer efectos corrosivos, se pueden producir inflamaciones después de contacto corto, repetido o prolongado con la piel o las mucosas. Peligro de sensibilización en contacto con la piel.</p>
 C	Corrosivo	<p>Se caracterizan porque las soluciones que forman con el agua tienen valores extremos de pH, ya sea por debajo de 4 o por encima de 9. Esto incluye todos los ácidos y todas las bases.</p>

Tabla 74: Clasificación de las Sustancias y Desechos Tóxicos, según la Unión Europea. (Continuación)

	<p>Peligroso para el medio ambiente</p>	<p>En caso de ser liberado en el medio ambiente acuático y no acuático puede producirse un daño al ecosistema por cambio del equilibrio natural, inmediatamente o con posteridad. Ciertas sustancias o sus productos de transformación pueden alterar simultáneamente diversos compartimientos.</p>
---	--	---

2.4.-Según el Sistema para la Identificación de Riesgo de Incendio de Materiales Peligrosos NFPA “704 M” (National Fire Protection Association) ^[83].

El sistema se basa en la norma 704 M, que representa visualmente la información sobre tres categorías de riesgo, salud, inflamabilidad y reactividad, además del nivel de gravedad de cada uno, mediante numeración entre 0 y 4.

Entonces este sistema estandarizado para la identificación de riesgos de incendios de materiales peligrosos “NFPA 704” (figura 2) pretende, a través de un rombo seccionado en cuatro partes de diferentes colores, indicar los grados de peligrosidad de las sustancias a clasificar.

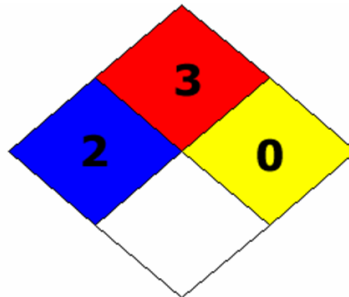


Figura 82. Sistema de identificación de riesgo de materiales peligrosos. NFPA 704.

Donde el significado del sistema se explica a continuación:

Tabla 75. Leyenda de las cuatro partes del rombo del Sistema de identificación de riesgo de materiales peligrosos. NFPA 704

<p>Azul: Riesgo para la salud.</p> <p>4. Fatal. 3. Extremadamente peligroso. 1. Peligroso. 1. Ligeramente peligroso. 0. Material normal.</p>	<p>Amarillo: Riesgo por reactividad.</p> <p>4. Detonación rápida. 3. Detonación pero requiere una fuente de inicio. 2. Cambio químico violento. 1. Inestable si se calienta. 0. Estable.</p>
<p>Rojo: Riesgo de incendio.</p> <p>4. Extremadamente inflamable. 2. Inflamable. 2. Combustible. 1. Combustible si se calienta. 0. No se quemará.</p>	<p>Blanco: Riesgo específico</p> <p>OXY: oxidante. ACID: ácido. ALC: álcali. CORR: corrosivo. W: no use agua.</p>

3.- Clasificación por sus Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas ^[84]

Tabla 76. Clasificación de los materiales peligrosos por sus Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas

Grupo	Descripción
Grupo I: Disolventes halogenados	Líquidos orgánicos que contiene más del 2% de algún halógeno. Productos muy tóxicos e irritantes y, en algunos casos cancerígenos. Se incluyen en este grupo las mezclas de disolventes halogenados y no halogenados.
Grupo II: Disolventes no halogenados	Líquidos orgánicos inflamables con <2% de halógenos, son productos inflamables y tóxicos.

Tabla 76: Clasificación de los materiales peligrosos por sus Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas. (Continuación)

<p>Grupo III: Disoluciones acuosas</p>	<p>Disoluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos. Se dividen en:</p> <p><i>Disoluciones Acuosas Inorgánicas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Las disoluciones acuosas básicas como el KOH. -Las disoluciones acuosas de metales pesados como el Níquel, Cadmio, Selenio, entre otros. -Otras disoluciones acuosas inorgánicas como sulfatos, fosfatos y cloruros. <p><i>Disoluciones Acuosas Orgánicas o de alta DQO:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Las disoluciones acuosas de colorantes, como Anaranjado de Metilo y Fenolftaleína. -Disoluciones de fijadores orgánicos como formaldehído. -Mezcla de agua/ disolvente como eluentes de Cromatografía.
<p>Grupo IV: Ácidos</p>	<p>Ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen).</p>
<p>Grupo V: Aceites</p>	<p>Ejemplos: aceites utilizados para el calentamiento.</p>
<p>Grupo VI: Sólidos</p>	<p>Productos químicos en estados sólido de naturaleza orgánica e inorgánica. Se dividen en :</p> <p><i>Sólidos Orgánicos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Carbón Activado <p><i>Sólidos Inorgánicos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Las sales de los metales pesados
<p>Grupo VII: Especiales</p>	<p>Productos químicos, sólidos o líquidos, que por su elevada toxicidad o peligrosidad no pueden ser incluidos en ninguno de los otros grupos. Ejemplo: Peróxidos, ácidos fumantes, Cloruro de Acetilo, Sodio, Potasio, epóxidos, éteres entre otros; compuestos muy tóxicos como tetraóxido de osmio, Fenol, mezcla sulfocrómica, cianuros.</p>

ANEXO C. Límites y rangos máximos de concentraciones de los vertidos líquidos a redes cloacales, según el Decreto 883^[18] en la Sección V del Capítulo III

Artículo 15. Los parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales no deberán ser mayores de los rangos y límites permisibles establecidos en la siguiente lista:

Tabla 77. Parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	150 mg/l
Aldehidos	2,0 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Dispersantes	8.0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Hierro total	25 mg/l
Manganeso total	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l

Tabla 77: Parámetros de calidad de los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales. (Continuación)

Parámetros Físico-Químicos	Límites máximos o rangos
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sólidos totales	1600 mg/l
Sulfatos	1000 mg/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Temperatura	40°C
Vanadio	5,0 mg/l
Zinc	10 mg/l
Biocidas	
Organo fosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Organo clorados	0,05 mg/l
Radiactividad	
Actividad máximo	0,1 Bq/l.
Actividad máximo	1,0 Bq/l.

* Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

ANEXO D. Potenciales estándar de reducción de algunos oxidantes

Tabla 78. Potenciales estándar de reducción de algunos oxidantes

Especie	Potencial redox
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Oxígeno atómico	2,42
Ozono	2,07
Peróxido de Hidrógeno	1,78
Permanganato	1,68
Dióxido de Cloro	1,57
Cloro	1,36
Yodo	0,54

ANEXO E. Especificaciones de los equipos utilizados para el análisis de las muestras:

Equipo de Cromatografía Iónica:

Laboratorio de Absorción Atómica. Instituto de Ciencias de la Tierra. UCV

Cromatógrafo Iónico

Marca Dionex

Modelo DX 100

Equipo de Espectroscopia de Absorción Atómica a la Llama:

Laboratorio de Absorción Atómica. Instituto de Ciencias de la Tierra. UCV

Espectrofotómetro de Absorción y Emisión Atómica

Marca: Perkin Elmer

Modelo: 200

Equipo de Espectroscopia de Absorción Molecular en el Infrarrojo:

Laboratorio de Instrumental Analítico. Laboratorios de Docencia. UCV

Espectrómetro de Transformada de Fourier

Marca: Thermo Electron Corporation

Modelo: Nicolet IR 200 FTIR

- Fuente: Emisor de Nerst
- Detector: LiTaO₃ 470-1859xx detector assembly
- Celda: KBr
- Número de onda: barrido 400-4000 cm⁻¹

Equipo de Espectroscopia de Absorción Molecular en el UV-Vis

Laboratorio de Instrumental Analítico. Laboratorios de Docencia. UCV

Espectrómetro de doble haz para Absorción Molecular en el UV-Vis:

Marca: Thermo Electron Corporation

Modelo: Nicolet Evolution 300

- Tipo de lámpara: Arco de Xenón
- Longitud de Onda: barrido 200-400nm
- Celda: Cuarzo

Equipo de Rayos X.

Laboratorio de Rayos X. Instituto de Ciencias de la Tierra. UCV

Difractómetro de polvo

Marca: Bruker

Modelo: D8 Advance

- Anticátodo de Cobre
- Angulo inicial (2θ) = 2,0
- Angulo final (2θ) = 88,0

ANEXO F. Método empleado para la determinación de Yodo presente en las muestras:

Método de determinación de Yodo:

Disolver entre 0,5 g y 1 g de Ioduro de Potasio en un poco de agua, diluir a 50 mL, añadir 3 mL de Acido Acético diluido y titular con N/10 Tiosulfato de Sodio usando almidón como indicador.

1 mL N/10 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = 0,01269 g Yodo

$$\% \text{I}_2 = \frac{\text{mEq I}_2 \times \text{Vol gastado (mL)} \times \text{N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{\text{Peso (g)}}$$

Leyenda:

N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 0,0972 N

mEq I_2 : 12,692 mEq

Vol gastado (mL) : Volumen gastado en la titulación

Peso (g) : Peso de muestra en gramos

ANEXO G. Guías de Prácticas de Laboratorio que generan residuos de Permanganato de Potasio:

G.1.- Laboratorio de Principios de Química ^[85]

Práctica 3. Reacciones en Medio Líquido

Experimento 1. Cambio de color de las soluciones por efecto de dilución

a.- En un tubo de ensayo vierta 5 ml de agua destilada y una gota de solución 0,01 M de KMnO_4 , mezcle bien

b.- En un segundo tubo agregue 1 ml de la solución anterior a 4 ml de agua destilada y mezcle bien. Compare el color con el de la solución del punto -a- y con el de un tercer tubo que contiene solo 5 ml de agua destilada

c.- Tomando tubos sucesivos repita el paso -b- hasta que no puede distinguir el tono rosado de la solución al compáralo con el tubo que tiene el agua destilada

A medida que el color cambia y va desapareciendo observe el tubo frontalmente y desde arriba sobre un fondo blanco.

Experimento 2. Cambio de color de las soluciones por efecto de una reacción

A.- Desaparición de un color

a.- Vierta en un tubo de ensayo 5 ml de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01M. Añada 2 gotas de solución de H_2SO_4 3 M. Agite la mezcla. En otro tubo de ensayo ponga 5 ml de agua destilada con 2 gotas de H_2SO_4 3 M.

b.- Añada a cada tubo de ensayo de 3 a 5 gotas de KMnO_4 0,01 M. Añada una por una en ambos tubos y observe cada vez lo que pasa. Calentar suavemente.

Práctica 9. Titulaciones Redox

Experimento 1. Preparación de una solución de Permanganato de Potasio

a.- Preparar 500 ml de una solución de KMnO_4 aproximadamente 0,02 M a partir de una solución más concentrada, que se encuentra en el laboratorio

Experimento 2. Determinación de la concentración de la solución de Permanganato de Potasio preparada en el experimento 1

a.- Obtener el valor del blanco

b.- Teniendo en cuenta las normas para realizar una titulación correcta, coloque la solución de KMnO_4 preparada por usted en la bureta, la cual debe ser curada previamente. Vierta en una fiola de 250 ml una alícuota de la solución de Oxalato de Sodio, estándar primario, de concentración aproximada 0,05 M y agréguele 15 ml de H_2SO_4 3 M.

c.- Una vez puesto en punto el sistema, drene aproximadamente el 90% del valor teórico calculado de la solución de KMnO_4 en la fiola, seguidamente caliente a 70°C y luego prosiga la titulación hasta hallar el punto final. Repita el proceso 3 veces más

d.- Determine la concentración de la solución de KMnO_4 , reporte el resultado con 4 cifras decimales

Experimento 3. Determinación de la concentración de una solución problema de Hierro (II)

a.- Con la solución de KMnO_4 ya valorada, proceda a titular una solución problema de Hierro Ferroso que le suministrarán en el laboratorio, tome nota del número de la muestra

b.- A cada alícuota de la muestra de Fe^{+2} añádale de 3 a 5 ml de Ácido Fosfórico y hasta 15 ml de H_2SO_4 3 M. Proceda a titular, como en el experimento 2, pero aquí no necesita calentar

c.- Repita el proceso 3 veces más, anotando en cada caso la lectura emitida por la bureta

d.- Determine la concentración de la solución problema y el contenido porcentual de Fe^{+2} , reporte el resultado con 4 cifras decimales

G.2.- Laboratorio de Inorgánica I ^[86]

Práctica 6. Preparación del Tricloruro de Antimonio

Experimento 5. Análisis del producto de la hidrólisis de SbCl_3

a.- Con el precipitado blanco obtenido de la reacción de hidrólisis de SbCl_3 se verifica la estequiometría de éste. Para ello pese al menos 3 muestras de 0,2000 g y disuelva cada una de ellas en 10,0 ml de Ácido Clorhídrico concentrado, después diluya añadiendo 45,0 mL de Ácido Sulfúrico 3,0 M y 45,0 mL de agua destilada

b.- Enfríe la disolución y valore frente a una disolución de Permanganato de Potasio estandarizada 0,02 M

c.- Determine el porcentaje de Antimonio a partir de los datos de la titulación y compárelos con el porcentaje de Antimonio teórico de los diversos productos de hidrólisis posibles

Práctica 9. Preparación Electrolítica del Peroxidisulfato de Potasio ($K_2S_2O_8$)

Experimento 1. Estudio del fenómeno de sobretensión.

1.5.- Propiedades oxidantes del Permanganato de Potasio.

1.5.a.- Medio ácido: Tome un tubo de ensayo y añada 3,0 mL de ácido oxálico 0,1M. Acidule con 2,0 mL de ácido sulfúrico 2M y caliente. Ahora y en caliente añada 1,0 mL de disolución de Permanganato de Potasio 0,1M. Observe.

1.5.b.- Medio neutro ó alcalino. Tome un tubo de ensayo y añada 3,0 mL de ácido oxálico 0,1M y 2,0 mL de hidróxido de sodio 2,0M. Ahora añada 1,0 mL de disolución de Permanganato de Potasio 0,1M. Observe

Experimento 3. Estudio comparativo del Peróxido de Hidrógeno y algunos compuestos de Azufre que contienen el grupo peroxo.

Preparar unos 40,0 mL de disolución saturada de peroxidisulfato de potasio. Disponga además de 40,0 mL de peróxido de hidrógeno al 10%. Con estas disoluciones de peroxocompuestos realice comparativamente los siguientes ensayos:

3. A.- Tome unos mililitros de cada una de las disoluciones anteriores y añada gota a gota disolución de yoduro de potasio 0,1M previamente acidulada con ácido sulfúrico 2M.

3.B.- Repita el ensayo anterior pero ahora añada una disolución de Sulfato de Manganeso (II) 0,1M, previamente acidulada con ácido sulfúrico diluido. En caso de no observar ningún cambio, añadir de 2 a 3 gotas de disolución de nitrato de plata 0,1M.

3.C.- De nuevo tome unos mililitros de cada disolución y agregue disolución de Permanganato de Potasio 0,1M previamente acidulada.

Experimento 4. Descomposición del Peróxido de Hidrógeno.

Coloque unos 5,0mL de peróxido de hidrógeno al 10% en u tubo de ensayo. Añada 0,2g de Dióxido de Manganeso suspendidos en 1,0mL de agua destilada. Observe y explique. Identifique el gas desprendido.

Práctica 10. Preparación del Yodato de Potasio

Método alternativo para preparar el Yodato de Potasio

a.- Coloque en un vaso de precipitados de 600 mL de capacidad, 8,00 g de KI y añada 8,0 mL de agua. Ahora agregue una disolución de Permanganato de Potasio previamente preparada disolviendo 17,00 g de KMnO_4 en 340,0 mL de agua. Coloque un agitador magnético con el objeto de obtener un mejor mezclado de los reactivos. Caliente a ebullición por espacio de 30 minutos. Deje reposar

b.- La disolución tendrá una coloración marrón-rojiza. Ahora añada 40,0 mL de Etanol poco a poco hasta que se decolore la disolución. Si no se ha completado la decoloración añada 10,0 mL adicionales de Etanol

c.- Filtre por succión. Acidule el filtrado con Ácido Acético y proceda a concentrar la disolución

d.- Los cristales se formaran al enfriarse la disolución anterior concentrada. Lave con agua fría y etanol frío

e.- Finalmente recristalice y seque en el embudo Buchner

G.3.-Laboratorio Instrumental Analítico ^[87]

Práctica: Métodos de Análisis por Fotocolorimetría.

Experimento: Determinación de Manganeso como Permanganato.

El contenido de Manganeso de una muestra puede ser determinado realizando la oxidación del ión Manganeso, Mn^{+2} a permanganato, MnO_4^- , debido a que esta última especie presenta una coloración muy intensa en la zona visible entre 500 y 560 nm.

a.- Preparación de la solución patrón de Permanganato:

Solución patrón de 1000 ppm de $KMnO_4$ preparada por estandarización, (normalmente esta solución se entrega al estudiante en el laboratorio, si esto no es posible se debe realizar la preparación de los patrones por oxidación de alícuotas tomadas de un patrón concentrado de Manganeso, estos se preparan de la misma forma que se describe para la muestra).

b.- Tratamiento de la Muestra Sintética o Real. Oxidación a Permanganato:

Una vez que la muestra ha sido disuelta se enfría y se agrega lentamente alrededor de 1 g de Peroxisulfato de Amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$. Se hierve suavemente durante 10 minutos, se enfría y luego se afora en un balón de 100 mL a una alícuota de la muestra se le agrega 10 mL de H_3PO_4 al 85% y después lentamente se agrega solución saturada de Peryodato de Potasio, se hierve suavemente durante este procedimiento y se agrega Peryodato hasta observar que no hay cambio de color, se mantiene la solución caliente por otros 10 minutos más.

c.- Tratamiento de la Muestra Real. Disolución de Acero:

El acero debe picarse en pequeñas lajitas y luego se limpia con HCl diluido, se seca en la estufa. Después se pesa por triplicado 1 g de acero en un vaso de precipitados, se disuelve en agua regia 3:1 HCl : HNO_3 (aproximadamente 20 mL), añadiendo lentamente con un gotero y colocando jinetillas y un vidrio de reloj, una vez disuelto se enrasa a 100 mL.

Notas Importantes:

- 1.- Para el análisis del Manganeso es necesario pasar éste al ión Permanganato, ya que esta molécula es capaz de absorber en el visible mientras que el manganeso como tal no. Para eso se emplea el Peryodato
- 2.- Durante el procedimiento y luego se la adición del Ácido Nítrico se procede a hervir la solución para eliminar los óxidos de Nitrógeno
- 3.- Luego de la adición del Peroxisulfato de Amonio se hierve suavemente para oxidar los compuestos de Carbono y destruir el exceso de este reactivo
- 4.- Cuando la muestra esté lista para medirse la absorbancia, la solución no debe de contener más de 2 mg de Mn por 100 mL. Puede añadirse la solución de Sulfato de Amonio Férrico a la solución acuosa patrón de Manganeso para igualar el contenido de Hierro en las muestras de acero

5.- Puede suprimirse la interferencia del Cromo (VI) decolorando una solución por medio de la adición de unas cuantas gotas de una solución de Nitrito de Potasio hasta que desaparezca el color del Permanganato. Entonces se usa la solución decolorada como solución de referencia.

Práctica: Métodos de Análisis por Absorción Atómica con Llama.

Experimento: Determinación de Manganeso.

a.- Preparación de patrones de Manganeso. Curva de calibración externa:

Se prepara una solución patrón de 1000 ppm de Mn a partir de la sal MnSO_4 y de allí se hacen las respectivas diluciones para obtener cuatro patrones de concentraciones diferentes. Se miden sus absorbancias en el equipo, con estos datos se construye la curva de calibración externa.

b.- Tratamiento de la Muestra Sintética. Diluciones

A la muestra sintética entregada se realiza la medición de la absorbancia, con este valor y con la curva de calibración obtenida anteriormente se calcula la dilución apropiada de la muestra para que su absorbancia caiga en el centroide de la curva.

c.- Tratamiento de la Muestra Real. Disolución de Acero:

El acero debe picarse en pequeñas lajitas y luego se limpia con HCl diluido, se seca en la estufa. Después se pesa por triplicado 1 g de acero en un vaso de precipitados, se disuelve en agua regia 3:1 HCl : HNO_3 (aproximadamente 20 mL), añadiendo lentamente con un gotero y colocando jinetillas y un vidrio de reloj, una vez disuelto se enrasa a 100 mL.

d.- Preparación de Patrones de Manganeso. Curva de Adición Estándar

Se prepara una solución patrón de 1 000 ppm de Mn a partir de la sal MnSO_4 y de allí se hacen las respectivas diluciones para obtener cuatro patrones de concentraciones diferentes a los cuales se les añade un volumen fijo de la solución de la muestra real de acero, a cada uno y luego se enrasa al volumen final deseado. Se miden sus absorbancias en el equipo, con estos datos se construye la curva de adición estándar.

G.4.-Laboratorio de Fisicoquímica Integrado ^[88]

Práctica: Cinética

Experimento: Oxidación del Alcohol Bencílico.

Se va a estudiar la cinética de la oxidación del Alcohol Bencílico con Permanganato de Potasio siguiendo el curso de la reacción por un método espectrofotométrico.

a.- Se utilizan las siguientes soluciones:

P: 0,0020 molar en KMnO_4

A: 0,0400 molar en Alcohol Bencílico

H: 1,40 molar en H_2SO_4

b.- Se realizan 6 corridas con 5,0 mL de P y las mezclas indicadas abajo. Para ello, después de termostatizadas, ambas soluciones se mezclan rápidamente (disparar el cronómetro) y se determina el % T (%A) (a 535 nm) de muestras tomadas aproximadamente cada 2 minutos en las corridas a, c y d y cada minuto en las otras tres. Entre una y otra medida del % T para aquellas medidas a Temperatura diferentes

a la ambiente, es necesario mantener la mezcla dentro del baño termostático para que la temperatura se mantenga constante

Tabla 79. Serie de corridas ($[KMnO_4]_0 = 5 \times 10^{-4} M$).

Corrida	V _A (ml)	V _H (ml)	V _{H₂O} (ml)	Temperatura (°C)
A	10	10	--	25
B	10	10	--	10, 35 y 40
C	5	10	5	25
D	3	10	7	25
E	10	5	5	25
F	10	7	3	25

Práctica: Catálisis Homogénea.

Experimento de Cinética Enzimática: Descomposición del Agua Oxigenada

Se va a estudiar la cinética de la descomposición del agua oxigenada, por la enzima catalasa y se va a determinar como se afecta la actividad enzimática por la temperatura y el pH. Las velocidades (iniciales) de reacción se hallaran mediante volumetría redox.

a.- Se utilizan las siguientes soluciones:

S: Agua Oxigenada de 10 volúmenes (aproximadamente 0,89 M en H₂O₂)

E: 1,0 mL de sangre en 2 litros de agua destilada

H: 1,0 M en H₂SO₄

P: 0,10 M en KMnO₄

B: Buffer de pH aproximadamente 3, 5, 7, 9 y 11

b.- Una muestra de solución S se acidifica con 25 mL de H y se titula con P (por duplicado).

c.- Se hacen 4 series de corridas (e, s, t y h) en las que sucesivamente se varía la concentración de enzima, la concentración de sustrato, la temperatura y el pH. Para todas las corridas se usa el siguiente procedimiento:

- 1.- La solución S se diluye con el volumen adecuado de agua (buffer en la serie h) y se termostatiza
- 2.- Se agrega la solución E
- 3.- A los cinco minutos (exactos) se agregan 25 mL de solución H, para detener la reacción y proveer los H^+ necesarios para la titulación
- 4.- Se titula con la solución P

d.- En las series “e” y “s” se hacen 2 determinaciones para cada corrida (indicadas como b y c). La determinación b es un blanco en el que los pasos 2 y 3 se invierten, de manera que no haya reacción. La determinación c se hace según el procedimiento indicado arriba

e.- Para las series “t” y “h” se toma como blanco la corrida “s 3-b” En la serie “h” se determina el pH de mezclas de 5 mL de solución S con 20 mL de solución B del pH indicado

f.- Las diferentes series se llevan a cabo en las siguientes condiciones:

Tabla 80. Serie e ($V_S = 5$ mL , Temperatura = ambiente, pH = 7)

CORRIDA	e1(b/c)	e2(b/c)	e3(b/c)	e4(b/c)	e5(b/c)	e6(b/c)
V_{H_2O} (mL)	18	15	12	8	4	0
V_E (mL)	2	5	8	12	16	20

Tabla 81. Serie s ($V_E = x$ mL , Temperatura = ambiente, pH = 7)

CORRIDA	s1(b/c)	s2(b/c)	s3(b/c)	s4(b/c)	s5(b/c)	s6(b/c)
V_{H_2O} (mL)	22-x	21-x	20-x	18-x	15-x	10-x
V_S (mL)	3	4	5	7	10	15

Tabla 82. Serie t ($V_S = 5$ mL , $V_{H_2O} = 20-x$ mL , $V_E = x$ mL , pH = 7)

CORRIDA	t1	t2	t3	t4	t5
Temp. (°C)	0	Ambiente	35	45	55

Tabla 83. Serie h ($V_S = 5$ mL , $V_B = 20-x$ mL, $V_E = x$ mL, Temperatura = ambiente.).

CORRIDA	h1	h2	h3	h4	h5
pH	3	5	7	9	11

g.- Con los datos de la serie “e” se hará un gráfico de ΔV_P vs V_E , y a partir de él se halla el volumen “x” de la solución E que se usará en las otras corridas. El valor de “x” debe caer en la parte lineal del gráfico (no muy cercano a la región donde la pendiente comienza a disminuir)

h.- También se hará un gráfico de v_0 (calculada) vs $[E]_0$ y se evaluará la pendiente de la parte lineal de la curva para obtener a partir de ella k_3

i.-Con los datos de la serie “s” se obtienen los valores de v_0 para un gráfico de $1/v_0$ vs $1/[S]_0$ (Linewaver-Burk) y de allí se determinan k_M y $v_{max.}$ (k_M = cte. de Michaelis)

j.-A partir de los valores de k_M y $v_{max.}$ se obtiene el valor de k_3

k.-Con los datos de la serie “t” se hace un gráfico de a_E vs Temperatura y se evalúa (aproximadamente) la temperatura óptima para esas condiciones

l.-Con los datos de la serie “h” se hace un gráfico de a_E vs pH

G.5.-Laboratorio de Analítica ^[89]

Práctica de Análisis Cualitativo: Identificación de Cationes en Muestra Líquida.

Experimento del Grupo No Anfotérico: Separación y Reconocimiento del Manganeso (II)

A 2 mL de la solución remanente de la precipitación de los fluoruros, añadir 1 mL de NaOH 6M y calentar a ebullición. Agitar vigorosamente. Lavar el precipitado con 1 mL de agua. Centrifugar y combinar los centrifugados.

La solución remanente se reserva para el análisis de cationes del grupo anfotérico. El precipitado se disuelve en HCl 6M, añadir en exceso NH_4OH 15M. Agitar, Lavar el precipitado con NH_4OH 3M. Centrifugar. Unir el centrifugado y los lavados. La solución se reserva para el reconocimiento de los cationes Cu, Co, Ni y Cd.

Al precipitado añadir 5 gotas de H_2O_2 , disolver en HNO_3 6M y dividir en tres porciones. A una de ellas se hierve y se añade una pizca de NaBiO_3 sólido. Hervir y centrifugar. Una solución violeta indica la presencia de iones MnO_4^- .

Práctica de Análisis Cualitativo: Identificación de Aniones en Muestra Líquida.

Experimento del Grupo III: Prueba para el Ión Permanganato

El color violeta del ión Permanganato el cual es reducido al ión Mn(II) incoloro por acción del Peróxido de Hidrógeno en solución ácida, es suficiente prueba para determinar la presencia del ión Permanganato en la solución.

Tomar 1 mL de la Muestra líquida problema y agregar entre 3 y 5 gotas de H_2SO_4 2 M y 1 gota de H_2O_2 al 10%. Observar los cambios.

Práctica de Análisis Cualitativo: Identificación de Aniones en Muestra Líquida.

Experimento de Pruebas Preliminares: Prueba para el Iones Reductores.

- 1) Colocar 1 mL de la muestra desconocida en un tubo de ensayo. Añadir gota a gota H_2SO_4 3M hasta que la solución sea ácida, entonces añadir 10 gotas en exceso.
- 2) Agitar, añadir 1 gota de KMnO_4 0,01M y agitar otra vez. Una inmediata decolorización de la gota de permanganato indica un agente reductor.
- 3) Si la primera gota de permanganato es decolorizada, añadir una segunda y tercera gota de KMnO_4 0,01M, éstas deberían ser decolorizadas también si el agente reductor esta presente.
- 4) Si la primera gota de permanganato no reacciona, caliente la solución (con la gota de permanganato en ella) hasta ebulir. Si el color del permanganato desaparece al calentar, añada una segunda y tercera gota de KMnO_4 . La inmediata desaparición de esas gotas indican agente reductor (probablemente oxalato).

Experimento de Pruebas Preliminares: Prueba para Compuestos Azufrados.

- 1) Colocar 1 mL de la muestra desconocida en un tubo de ensayo. Añadir NaOH 2M hasta que la solución sea básica y añada 1 mL en exceso.
- 2) Añada 1 mL de KMnO_4 0,3M y caliente a ebullición por 1 minuto.
- 3) Enfríe y añada 3 mL de HCl 6M.
- 4) Añada H_2O_2 al 3% gota a gota a la solución ácida hasta que empiece aclarar.
- 5) Añada 1 mL de una solución de BaCl_2 1M. un precipitado blanco finamente dividido indica la presencia de un compuesto azufrado.

G.6.-Laboratorio I de Química Orgánica ^[90]

Práctica: Aplicación de las pruebas de Clasificación.

Experimento: Prueba para Insaturaciones Etilénicas y Acetilénicas. Prueba de Baeyer.

Colocar en un tubo de ensayo 0,2 mL (ó 0,1 g disuelto en 2 mL de H_2O o Etanol) del Compuesto a examinar y entonces añadir gota a gota de Solución de KMnO_4 al 2% con agitación, hasta que persista el color púrpura del Permanganato de Potasio

Si el color no cambia entre 0,5 y 1 minuto, deje reposar el tubo por 5 minutos con ocasional agitación vigorosa. No se engañe con una reacción débil ya que ésta puede deberse a la presencia de impurezas.

G.7.-Laboratorio II de Química Orgánica ^[90 y 91]

Práctica 6: Reacciones de Oxidación. Síntesis de Ciclohexanona y Acido Adípico a partir de Ciclohexanol. Síntesis del Nylon 6-6

Experimento 7: Oxidación de Ciclohexanona hasta Acido Adípico con Permanganato de Potasio

Procedimiento macroescala: /Emplear 1/5 de las cantidades para escala pequeña)

- a) Para una reacción en un período corto, mezcle la Ciclohexanona (10,0 g) y el Permanganato de Potasio (30,5 g) con 250 mL de agua en una fiola de 500 mL, ajuste la temperatura a 30°C. Note que no hay aumento espontáneo de temperatura, luego añada 2 mL de solución de Hidróxido de Sodio 10%. La temperatura aumentará pronto. Cuando la temperatura alcance 45°C (15 minutos) retarde el proceso de oxidación colocando brevemente en baño de hielo y mantenga la temperatura en 45°C por 20 minutos. Espere un segundo aumento de temperatura (47°C) y una eventual caída (25 minutos) y luego caliente la mezcla moviéndola sobre un mechero para completar la oxidación y coagular el precipitado de Dióxido de Manganeso. Realice una prueba tomando una gota de la solución y colocándola en un papel de filtro para verificar si todavía hay Permanganato presente, si es así aparecerá como un anillo alrededor de la mancha de Dióxido de Manganeso. Si hay Permanganato, agregue pequeñas cantidades de Bisulfito de Sodio sólido hasta que la prueba resulte negativa. Luego filtre la mezcla por succión con un embudo Büchner, lave el precipitado marrón con agua, agregue unas conchas para ebullición y evapore el filtrado la llama en un beaker grande hasta la mitad del volumen inicial. Si la solución no es clara e incolora, clarifique con carbón decolorante antes de evaporar y filtre en

caliente. Acidifique la solución con Ácido Clorhídrico concentrado hasta pH 1 - 2, añada 10 mL de ácido en exceso y deje reposar la solución para que cristalice. Recolecte los cristales con embudo Büchner pequeño y lávelos con pequeñas cantidades de agua fría. Presione los cristales entre dos hojas de papel filtro para remover el exceso de agua y deje aparte para secar. El rendimiento típico de Ácido Adípico es de 6,9 g, $P_f = (152-153)^\circ\text{C}$.

- b) En un procedimiento alternativo las cantidades anteriores de Ciclohexanona y Permanganato de Potasio se colocan en 500 mL de agua para moderar la reacción; de esta manera el control de temperatura es innecesario. Todo el Permanganato debe disolverse antes de que comience la reacción. Caliente el frasco y mueva el contenido vigorosamente. Haga una prueba para Permanganato no disuelto con la varilla de vidrio. Después de ajustar la temperatura a 30°C , se agregan 10 mL de solución de Hidróxido de Sodio al 10% y se mueve un poco. Deje la mezcla hasta el otro día (temperatura máxima $45-46^\circ\text{C}$). los demás pasos son como en el procedimiento anterior.

Limpiar los residuos: Coloque el Dióxido de Manganeso en el recipiente para residuos de metales pesados. Neutralice la solución acuosa con Carbonato de Sodio y descarte por la cañería.

Práctica: Análisis Orgánico de una Muestra Problema

Experimento de Aplicación de las Pruebas de Clasificación: Prueba de Baeyer.

Colocar en un tubo de ensayo 0,2 mL (ó 0,1 g disuelto en 2 mL de H₂O o Etanol) del Compuesto a examinar y entonces añadir gota a gota de Solución de KMnO₄ al 2% con agitación, hasta que persista el color púrpura del Permanganato de Potasio

Si el color no cambia entre 0,5 y 1 minuto, deje reposar el tubo por 5 minutos con ocasional agitación vigorosa. No se engañe con una reacción débil ya que ésta puede deberse a la presencia de impurezas.

ANEXO H. Cálculos de las concentraciones teóricas de Manganeso en los residuos de los laboratorios de Química Analítica y de Química Orgánica I y II:

H.1. Laboratorio de Química Analítica.

H.1.1. Cálculo de la concentración de Manganeso en el residuo de la Prueba para Iones Reductores (código R. Iones Red.)

En el experimento se emplean: 1 mL de muestra desconocida, 12 gotas ó 0,6 mL de H₂SO₄ 3 M y 3 gotas ó 0,15 mL de KMnO₄ 0,01 M.

Volumen total = 1,75 mL

$$\text{Mn (ppm)} = \frac{0,01 \text{ mol KMnO}_4}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mol de Mn}}{1 \text{ mol de KMnO}_4} \times \frac{54,938 \text{ g Mn}}{1 \text{ mol de Mn}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{0,15 \text{ mL}}{1,75 \text{ mL}} =$$

$$\text{Mn} = 47 \text{ mg/L}$$

H.1.2. Cálculo de la concentración de Manganeso en el residuo de la Prueba para Compuestos Azufrados (código R. Comp. Azufrados)

En el experimento se emplean: 1 mL de muestra desconocida, 1,5 mL de NaOH 2 M, 1 mL de KMnO₄ 0,3 M, 3 mL de HCl 6 M, 1 mL de H₂O₂ al 3% y 1 mL de BaCl₂ 1 M

Volumen total = 8,5 mL

$$\text{Mn (ppm)} = \frac{0,3 \text{ mol KMnO}_4}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mol de Mn}}{1 \text{ mol de KMnO}_4} \times \frac{54,938 \text{ g Mn}}{1 \text{ mol de Mn}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ mL}}{8,5 \text{ mL}} =$$

$$\text{Mn} = 194 \text{ mg/L}$$

H.2. Laboratorio de Química Orgánica I y II.

G.2.2. Cálculo de la concentración de Manganeso en el residuo de la Prueba de Baeyer (códigos Lab. QO-I. R. Prueba Baeyer y Lab. QO-II. Prueba Baeyer)

En el experimento se emplean: 0,1 g ó 0,2 mL del compuesto a examinar, 2 mL de H₂O o Etanol y 2 gotas ó 0,10mL de KMnO₄ al 2 %.

Volumen total = 2,30 mL

$$\text{Mn (ppm)} = \frac{2 \text{ g KMnO}_4}{100 \text{ mL}} \times \frac{54,938 \text{ g Mn}}{158,03 \text{ g KMnO}_4} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ mL}}{10^{-3} \text{ mL}} \times \frac{0,10 \text{ mL}}{2,30 \text{ mL}} =$$

$$\text{Mn} = 302 \text{ mg/L}$$

ANEXO I. Etiquetas empleadas en los residuos de Permanganato de Potasio:

Figura 83. Etiqueta del Residuo 1.






	ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
<p>Práctica N° 3 y N°9</p> <p>Residuo de soluciones de Permanganato de Potasio ácidas</p> <p>Códigos</p> <p>Lab PQ R 3.1 Lab PQ R 3.2.A.b Lab PQ R 9.1</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 1</p> <p>Laboratorio de Principios de Química</p> <p>Semestre II-2009</p> <p>$K^+_{(ac)} + MnO_4^-_{(ac)}$</p> <p>$H^+_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)}$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  O </div> <div style="text-align: center;">  X_n </div> <div style="text-align: center;">  N </div> </div>	<p>H5.1: Oxidante:</p> <p>Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>

Figura 84. Etiqueta del Residuo 2.






	ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
<p>Residuo de soluciones de Manganese (II) ácidas</p> <p>Códigos:</p> <p>Lab. PQ R.3.2.A.a Lab. QI-I R. 9.1.5.a Lab. QI-I R. 9.3.C.II Lab. QI-I R. 9.4 Lab. Inst. R. Patrones Mn Lab. Inst. R. Muestra sintética Mn</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 2</p> <p>Laboratorio de Principios de Química, Inorgánica I e Instrumental Analítico</p> <p>Semestre II-2009</p> <p>$Mn^{+2}_{(ac)} + K^+_{(ac)} Na^+_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)}, H^+_{(ac)}$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  X_n </div> <div style="text-align: center;">  N </div> <div style="text-align: center;">  C </div> </div>	<p>H8: Corrosivo:</p> <p>Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>

Figura 85. Etiqueta del Residuo 3.






 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Práctica N° 9 y Cinética enzimática</p> <p>Residuo de titulaciones, soluciones de Manganese (II)</p> <p>Códigos</p> <p>Lab PQ R 9,2 Lab FQ R Cin. Enz.</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 3</p> <p>Laboratorio de Principios de Química y Físicoquímica</p> <p>Semestre II-2009</p> <p>$Mn^{+2}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)}$ $+ K^{+}_{(ac)} + Sangre/EDTA$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>X_n</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>N</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> </div>	<p>H8: Corrosivo:</p> <p>Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>

Figura 86. Etiqueta del Residuo 4.






 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Práctica N°9</p> <p>Residuo de soluciones de Permanganato de Potasio en medio básico</p> <p>Código</p> <p>Lab. QI-I R. 9.1.5.b</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 4</p> <p>Laboratorio I de Química Inorgánica</p> <p>Semestre II-2009</p> <p>$K^{+}_{(ac)} + MnO_4^{-}_{(ac)}$ $H^{+}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)}$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>O</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>N</p> </div> </div>	<p>H5.1: Oxidante:</p> <p>Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>

Figura 87. Etiqueta del Residuo 5.






 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Práctica N°9</p> <p>Residuo de soluciones de Permanganato y Peroxisulfato de Potasio en medio básico</p> <p>Código</p> <p>Lab. QI-I R. 9.3.C.I</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 5</p> <p>Laboratorio I de Química Inorgánica</p> <p>Semestre II-2009</p> $\text{MnO}_4^- (\text{ac}) + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} (\text{ac}) \text{K}^+ (\text{ac})$ $\text{H}^+ (\text{ac}) + \text{SO}_4^{2-} (\text{ac})$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  O </div> <div style="text-align: center;">  C </div> <div style="text-align: center;">  N </div> </div>	<p>H5.1: Oxidante:</p> <p>Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>

Figura 88. Etiqueta del Residuo 6.





 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Práctica Cinética. Oxidación del Alcohol Bencílico</p> <p>Residuo de soluciones de Manganeso (II) y Benzaldehído en medio ácido</p> <p>Código</p> <p>Lab. FQ R. Ox Al Ben</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 6</p> <p>Laboratorio de Físicoquímica</p> <p>Semestre II-2009</p> $\text{Mn}^{+2} (\text{ac}) + \text{PhCOH} (\text{ac}) +$ $\text{PhCH}_2\text{OH} (\text{ac}) + \text{H}^+ (\text{ac}) +$ $\text{K}^+ (\text{ac}) + \text{SO}_4^{2-} (\text{ac})$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  X_n </div> <div style="text-align: center;">  N </div> </div>	<p>H9. Miceláneos:</p> <p>Misceláneos de mercancía peligrosas, sustancias peligrosas al medio ambiente y desechos peligrosos</p>

Figura 89. Etiqueta del Residuo 7.






		ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
<p>Práctica N°6</p> <p>Residuo de la Síntesis de Acido Adípico en medio ácido</p> <p>Código Lab. QO-II R. 6.7</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 7</p> <p>Laboratorio II de Química Orgánica</p> <p>Semestre II-2009</p> <p>$\{Mn^{+2}_{(ac)} + HO_2C(CH_2)_4CO_2H_{(ac)}\}$remanentes</p> <p>$H^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)} + Na^{+}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)}$</p> <p>  C  X_n  X_i </p>	<p>H8: Corrosivo:</p> <p>Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>	

Figura 90. Etiqueta del Residuo 8.






		ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
<p>Práctica N° 10</p> <p>Residuo de la Síntesis de Yodato de potasio</p> <p>Código Lab. QI-I R. 10.3.II</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 8</p> <p>Laboratorio I de Química Inorgánica</p> <p>Semestre II-2009</p> <p>$Mn^{+2}_{(ac)} + IO_3^{-}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + CH_3COO^{-}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)}$</p> <p>  O  X_i  C </p>	<p>H5.1: Oxidante:</p> <p>Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p>	

Figura 91. Etiqueta del Residuo 9.






		ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
<p>Práctica N° 9</p> <p>Residuo de soluciones de Manganeso (II) y Plata (I) en medio ácido</p> <p>Código Lab. QI-I R. 9.3.B.I Lab. QI-I R. 9.3.B.II (fase líquida) 0,950 L</p>	<p>RESIDUO 9</p> <p>Laboratorio I de Química Inorgánica Semestre II-2009</p> <p>$Mn^{+2}_{(ac)} + Ag^{+}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + NO_3^{-}_{(ac)}$</p> <p>    </p>	<p>H8: Corrosivo: Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>	

Figura 92. Etiqueta del Residuo 10.






		ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA	
<p>Práctica N° 6</p> <p>Residuo de titulaciones, soluciones de Manganeso (II) y Antimonio en medio ácido</p> <p>Código Lab. QI-I R. 6.5. 0,950 L</p>	<p>RESIDUO 10</p> <p>Laboratorio I de Química Inorgánica Semestre II-2009</p> <p>$Mn^{+2}_{(ac)} + Sb^{+5}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + Cl^{-}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} + K^{+}_{(ac)}$</p> <p>    </p>	<p>H8: Corrosivo: Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>	

Figura 93. Etiqueta del Residuo 11.





 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Práctica N° 3 y Cinética enzimática</p> <p>Residuo de soluciones de Manganeso (II) y Hierro (III) en medio ácido Códigos</p> <p>Lab PQ R 9.3</p> <p>Lab Inst. R. Solución de Acero</p> <p>Lab. Inst. R. Patrones Ad. Est. Mn.</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 11</p> <p>Laboratorio de Principios de Química e Instrumental Analítico</p> <p>Semestre II-2009</p> $\text{Mn}^{+2}(\text{ac}) + \text{Fe}^{+3}(\text{ac}) + \text{K}^{+}(\text{ac})$ $\text{SO}_4^{-2}(\text{ac}) + \text{PO}_4^{-3}(\text{ac}) + \text{H}^{+}(\text{ac})$ $\text{Cl}^{-}(\text{ac}) + \text{NO}_3^{-}(\text{ac})$ <p>  X_n  N  C </p>	<p>H8: Corrosivo:</p> <p>Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.</p>

Figura 94. Etiqueta del Residuo 12.






 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Práctica de Fotocolorimetría</p> <p>Residuo de soluciones de diversas especies en medio ácido Código:</p> <p>Lab. Inst. An. : R. Patrones MnO_4^-</p> <p>R. Muestra Sintética MnO_4^-</p> <p>R. Sol. Acero Oxidada</p> <p>0,950 L</p>	<p>RESIDUO 12</p> <p>Laboratorio de Instrumental Analítico</p> <p>Semestre II-2009</p> $\text{MnO}_4^{-}(\text{ac}) + \text{IO}_3^{-}(\text{ac}) + \text{Fe}^{+3}(\text{ac})$ $\text{K}^{+}(\text{ac}) + \text{PO}_4^{-3}(\text{ac}) + \text{H}^{+}(\text{ac}) +$ $\text{SO}_4^{-2}(\text{ac}) + \text{Cl}^{-}(\text{ac}) + \text{NO}_3^{-}(\text{ac})$ <p>  O  N  C </p>	<p>H5.1: Oxidante:</p> <p>Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.</p> <p>H8: Corrosivo:</p> <p>Sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente.</p>

Figura 95. Etiqueta del Residuo 13.



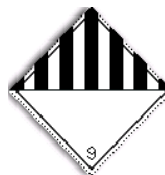



 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
Mezcla de todos los residuos de Manganeso 0,950 L	<p style="text-align: center;">RESIDUO 13</p> <p style="text-align: center;">Laboratorio de Docencia Semestre II-2009</p> <p style="text-align: center;"> $Mn^{+2}_{(ac)} + Fe^{+3} + Sb^{+5} + IO_3^{-}_{(ac)} + Ag^{+}_{(ac)}$ $NO_3^{-}_{(ac)} + SO_4^{-2}_{(ac)} + PO_4^{-3}_{(ac)} + Na^{+}_{(ac)}$ $K^{+}_{(ac)} + H^{+}_{(ac)} Cl^{-}_{(ac)} + CH_3CO_2H_{(ac)} +$ $PhCOH_{(ac)} + Sangre/EDTA +$ $HO_2C(CH_2)_4CO_2H_{(ac)}$ </p>	<p>H9. Miceláneos: Misceláneos de mercancía peligrosas, sustancias peligrosas al medio ambiente y desechos peligrosos</p> 

Figura 96. Etiqueta del Residuo 14.

 ESCUELA DE QUÍMICA. LABORATORIOS DE DOCENCIA		
<p>Residuo de sólido. Dióxido de Manganeso</p> <p>Código Lab. QI-IR. 9.3.B.II (fase sólida) Lab. QI-I R. 9. 4 (fase sólida) Lab. QI-I R. 10.3.I Lab. QO-II R. 6.7.1</p> <p>0,950 L</p>	<p style="text-align: center;">RESIDUO 14</p> <p style="text-align: center;">Laboratorio I de Química Inorgánica Semestre II-2009</p> <p style="text-align: center;">$MnO_2 (s)$</p> <p style="text-align: center;">  X_n </p>	<p>Producto No Peligroso.</p>

ANEXO J. Referencia de los patrones de difracción de Rayos X ^[92].

Figura 97. Patrón de difracción de Rayos X de la fase γ -MnO₂ hidratada o Nsutita reportado en la base de datos JCPDS-ICDD, PDF N° 17-0510.

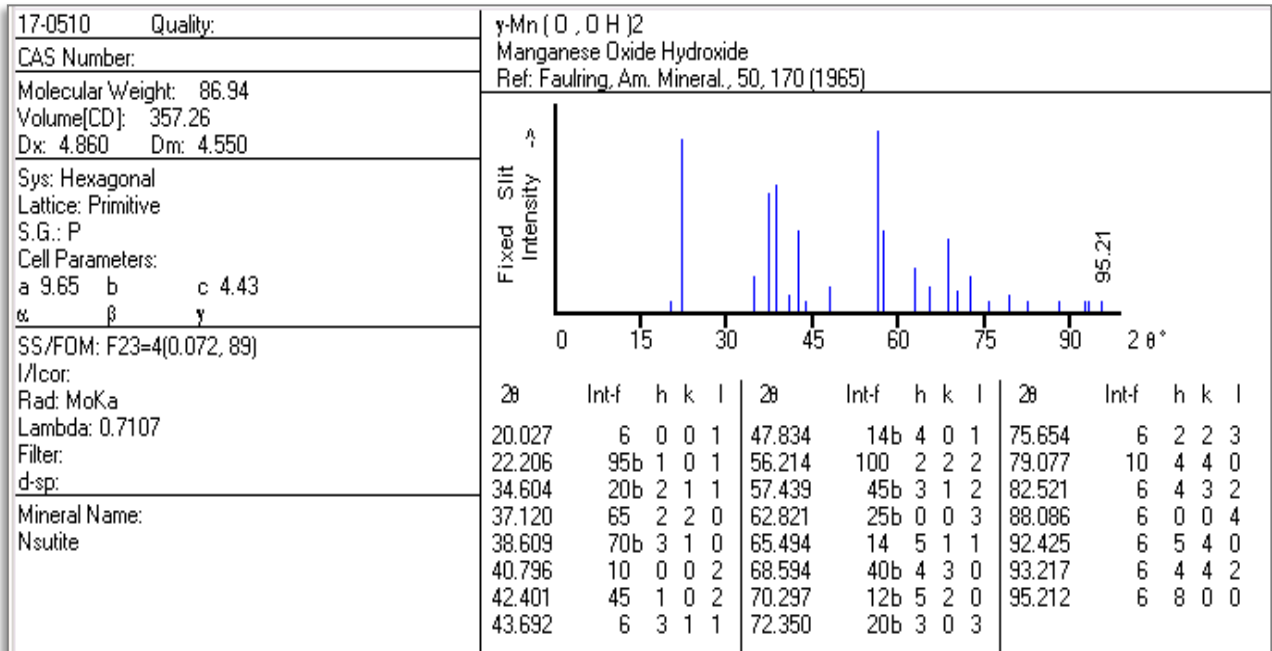


Figura 98. Patrón de difracción de Rayos X de Mn₃O₄ o Hausmanita reportado en la base de datos JCPDS-ICDD, PDF N° 24-0734.

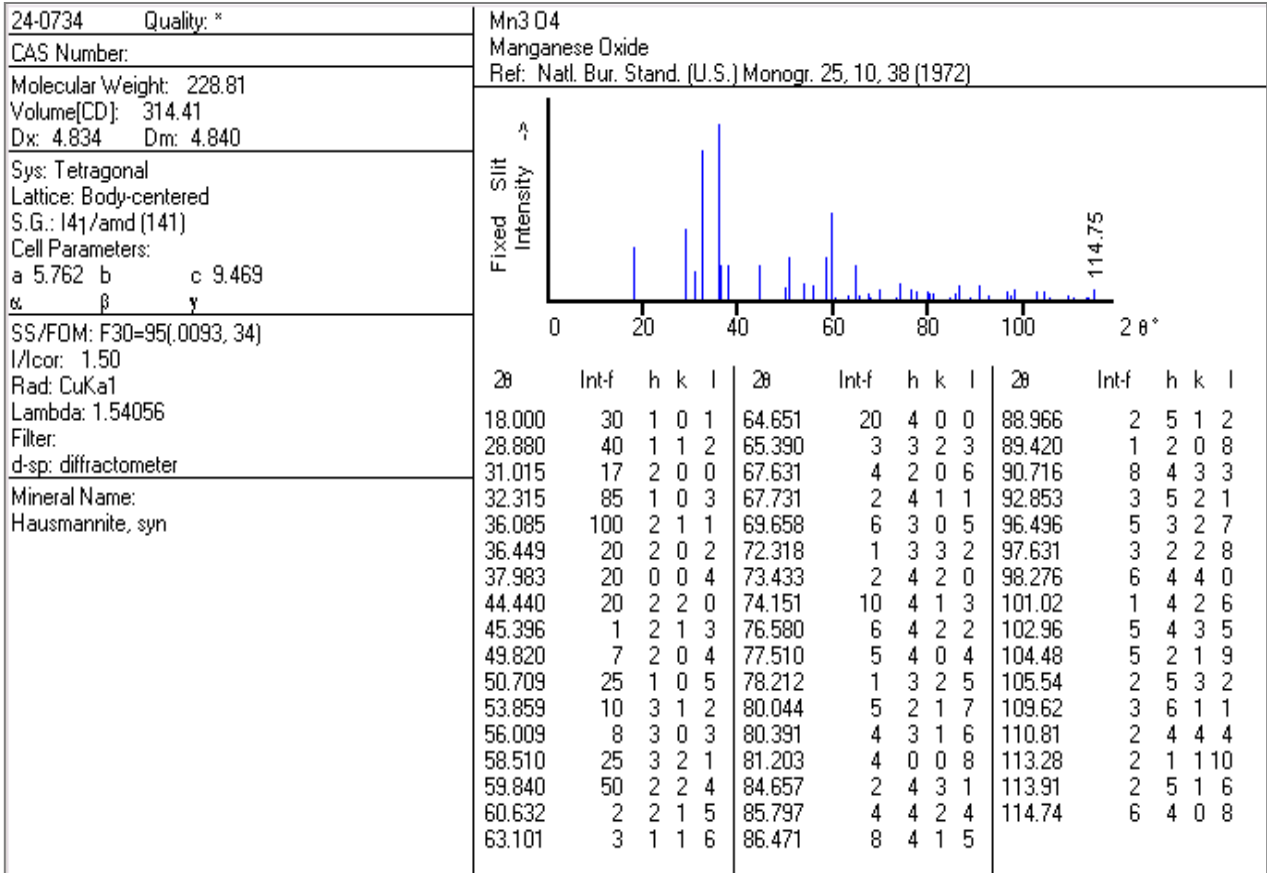
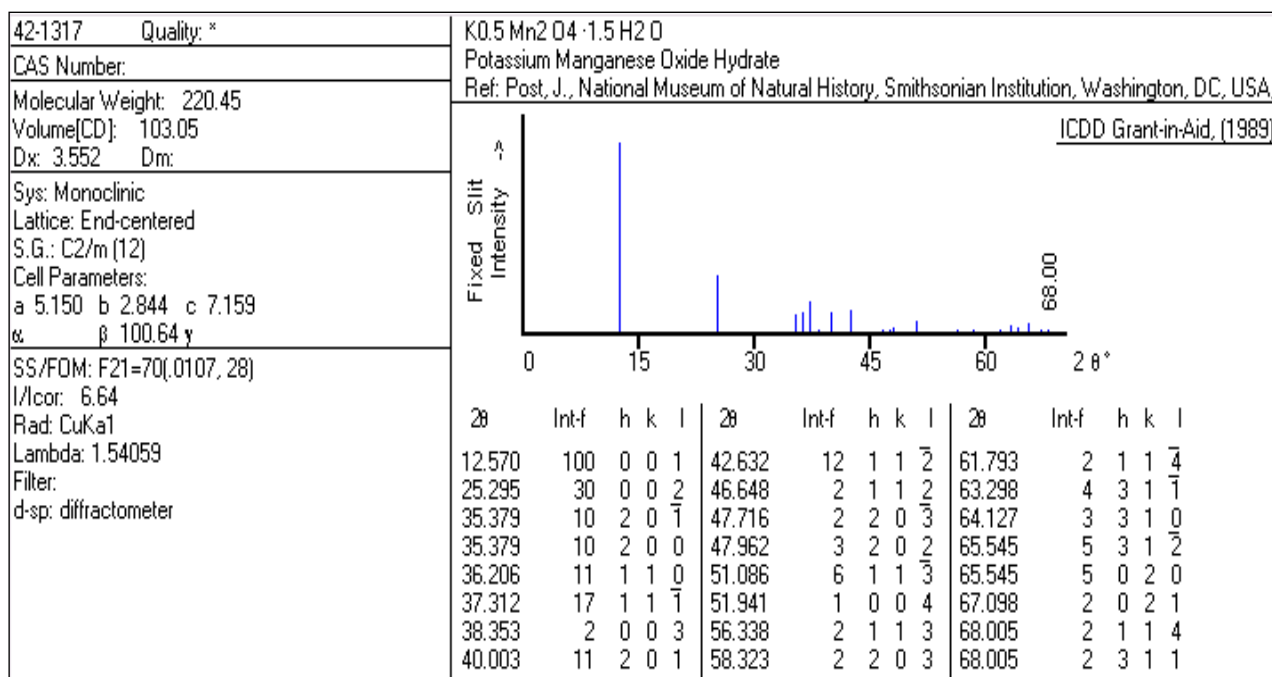


Figura 99. Patrón de difracción de Rayos X del Óxido de Manganeso Potasio Hidratado reportado en la base de datos JCPDS-ICDD, PDF N° 42-1317.



9.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.minamb.gob.ve>. Consultada en abril de 2009.
- [2] Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, publicada en Gaceta Oficial número 36.860 el 30 de Diciembre de 1999.
- [3] <http://www.basel.int/convention/about.html>. Consultada en abril de 2009.
- [4] <http://www.pic.int>. Consultada en abril de 2009.
- [5] <http://www.greenpeace.org>. Consultada en abril de 2009.
- [6] http://ozone.unep.org/spanish/Ratification_status/montreal_protocol.shtml. Consultada en abril de 2009.
- [7] <http://www.cambio-climatico.com/docs/pksp.pdf>. Consultada en abril de 2009.
- [8] <http://www.marpol.net/convenio1.htm>. Consultada en abril de 2009.
- [9] Ley Orgánica del Ambiente. Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria 5.833 de la República Bolivariana de Venezuela el 22 de diciembre de 2006.
- [10] Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT). Publicada en Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela 38 236 el 26 de julio de 2005.
- [11] Ley Penal del Ambiente. Publicada en Gaceta Oficial 4 358 de la República de Venezuela de fecha 3 de enero de 1992.
- [12] Ley sobre Sustancias, materiales y desechos Peligrosos. Publicada en Gaceta Oficial 5 554 de la República Bolivariana de Venezuela de fecha 13 de noviembre de 2001.
- [13] Decreto 1257. Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente Publicada en Gaceta Oficial 35.946 de la República Bolivariana de Venezuela de fecha 25 de abril de 1996.
- [14] Decreto 2289. Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5 212. Extraordinario del 12 de Febrero de 1998.

- [15] Decreto 2635. Norma para el Control de Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos. Publicada en Gaceta Oficial 5 245 de la República Bolivariana
- [16] Resolución 40. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela del 29 de mayo del 2003. Disponible en: <http://www.itu.int/pub/T-RES-T.40-2004/es>. Consultada en abril de 2009.
- [17] Decreto 883. Norma para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Publicado en Gaceta Oficial 5 021 de la República Bolivariana de Venezuela de fecha 18 de diciembre de 1995.
- [18] Normas COVENIN. Disponible en <http://www.sencamer.gov.ve>. Consultada en abril de 2009.
- [19] Normas venezolanas COVENIN 2670-2007. "Materiales Peligrosos". Guía de respuesta de emergencias con accidentes e incidentes.
- [20] Normas venezolanas COVENIN. 3060-93. "Materiales Peligrosos, Clasificación, Símbolos y Dimensiones de Señales de Identificación.
- [21] Normas Venezolanas COVENIN 3061-93. "Materiales Peligrosos". Guía para el entrenamiento de personas que manejan, almacenan y/o transportan materiales peligrosos.
- [22] LaGrega, Michael D., Phillip L. Buckingham y Jeffrey C. Evans. Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos. McGraw-Hill Interamericana de España S. A. España. Volumen I. Capítulo 7. La Prevención de la Contaminación. Páginas 413-470.
- [23] <http://www.epa.gov/espanol/> Consultada en abril de 2009
- [24] Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Eliassen, R. Solid Wastes. New York, Mac Graw-Hill, 1977
- [25] Lund, Herbert F. Manual de Mac Graw-Hill de reciclaje. Mac Graw-Hill/Interamericana d España S.A. España. 1996. Apéndice C. C-36. Glosario
- [26] Lund, Herbert F. Manual de Mac Graw-Hill de reciclaje. Mac Graw-Hill/Interamericana d España S.A. España. 1996. Apéndice C. C-45. Glosario

- [27] Gary W. Heinke y Glynn J. Henry. Ingeniería Ambiental. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México. 1999. Capítulo 15, Residuos peligrosos. Páginas 620-684
- [28] Abujar Joselin del Valle, Diseño una Metodología para la Minimización y/o Tratamiento de los Desechos. Trabajo Especial de Grado. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. (2002).
- [29] Portela Rodríguez, Raquel. Eliminación Fotocatalítica de H₂S en aire mediante TiO₂ soportado sobre sustratos transparentes en el UV. Tesis doctoral. Universidad Santiago de Compostela. España. Disponible en <http://books.google.es>.
- [30] <http://enciclopedia.us.es/index.php/Manganeso>. Consultada en abril de 2009
- [31] Cotton, Albert y Wilkinson G. Química Inorgánica Avanzada. Cuarta Edición. Editorial Limusa S.A. México. 2001. Páginas consultadas 889-904 Tabla 21.D.1. Páginas 890
- [32] http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/apquim-inorg1b/wilkinsonc01/24b.html. Consultada en abril de 2009
- [33] Boyero Macstre, J. y colaboradores. Influence of tile synthesis parameters on the structural and textural properties of precipitated manganese oxides. International Journal of Inorganic Materials 3 (2001) 889-899.
- [34] Baur, Werner H. Rutile-Type Compounds. Acta Cryst. (1976) B32, 2200.
- [35] <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Rutile-unit-cell-3D-balls.png>
- [36] C. M. Julien, M. Massot, C. Poinsignon. Lattice vibrations of manganese oxides Part I. Periodic structures. Spectrochimica Acta Part A 60 (2004) 689-700.
- [37] T. E. Moore, Marylannel Lisa y P. W. Selwood. Solid Oxides and Hydroxides of Manganese. Journal Am. Chem. Soc. 72 (1950) 856.
- [38] P. M. de Wolff. Interpretation of Some γ -MnO₂ Diffraction Patterns. Acta Cryst. (1959). 12, 341
- [39] Russell m. Potter y George R. Rossman. The tetravalent manganese oxides: identification, hydration and structural relationships by infrared spectroscopy. American Mineralogist, Volumen 64, pages 1199-1218, 1979.

- [40] <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>. Consultada en abril de 2009
- [41] CI 56B Seminario. Residuos Industriales Líquidos. Remoción de dureza, metales, cloruros, sulfatos, radioactivos. Enlace web: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/CI56B/1/material_docente/objeto/79222. Consultada en abril de 2009
- [42] Skoog, Douglas y colaboradores. Química Analítica. 7^{ma} Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 2000. Páginas 465-471
- [43] Unidad de Medio Ambiente. Universidad de Sevilla. <http://www.forpas.us.es/uma>. Consultada en abril de 2009
- [44] Universitat de València. http://www.uv.es/~giequim/tercero/pdf/Seminario_Residuos.pdf. Consultada en marzo de 2009.
- [45] Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2001) <http://www.gedlc.ulpgc.es>. Consultada en marzo de 2009.
- [46] Quesada Carvajal, Hilda y Salas Jiménez, Juan Carlos. Propuesta de Manejo de los Desechos Peligrosos en los Laboratorios del TEC. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). (2004)
- [47] Taboada Soraya y Araujo Nelson, Informe sobre la evaluación y eliminación de sustancias y desechos de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela. Trabajo de Investigación. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Universidad Central de Venezuela. (2000).
- [48] Materan Rinsky, Primer avance en propuesta de gestión con desechos peligrosos en la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la UCV. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. (2002).
- [49] Gainza Andrea, Primer Avance de Propuesta de Gestión de Riesgos y Manejo de Materiales Peligrosos. (Laboratorio Docente de Principios de Química de la Universidad Central de Venezuela). Trabajo especial de grado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad central de Venezuela. (2007)

- [50] Morocoima Dubravka, Primer Avance de Propuesta de Gestión de Riesgos y Manejo de Materiales Peligrosos. (Laboratorio Docente de Química Inorgánica II de la Universidad Central de Venezuela). Trabajo especial de grado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad central de Venezuela. (2007)
- [51] Méndez María T. Primer Avance de Propuesta de Gestión de Riesgos y Manejo de Materiales Peligrosos. (Laboratorio Docente de Química Inorgánica I de la Universidad Central de Venezuela). Trabajo especial de grado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad central de Venezuela. (2007)
- [52] Solano María E. Desarrollo Inicial del Estudio de Gestión de Riesgos como un Modelo de Estrategia para Minimizar los Riesgos Químicos en un Laboratorio de Docencia, tomando como prototipo el Laboratorio de Química Inorgánica I. Trabajo especial de grado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. (2008)
- [53] Ojeda Enrique, Propuesta de un plan de gestión de los residuos generados en la FACYT. Trabajo Especial de Postgrado. Decanato de Estudios de Postgrado. Maestría en Desarrollo y Ambiente. Universidad Simón Bolívar. (2004).
- [54] Rojas Juan, Estudio de Reducción de Riesgo en el Manejo de Sales Inorgánicas en un Laboratorio Toxicológico. Trabajo Especial de Grado. Coordinación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Simón Bolívar. (2004).
- [55] Armas Ana, Gestión de Desechos Químicos Generados en el Laboratorio de Físicoquímica del Departamento de Química de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Carabobo. (2004).
- [56] Soares María, Laboratorio de Química Orgánica: hacia Cero Residuos. Trabajo Especial de Grado. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. (2004).
- [57] Solórzano, Flor Utilización de Arena Verde (Cullisorb) y Antracita en un filtro Piloto para la Remoción de Hierro y Manganeso del Agua del Pozo "Diamante Dos" de la Planta de Bombeo "Ojo de Agua Diamante", de la Ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. (2001)

- [58] Roccaro, P., Barone, C. y G. Mancini. Removal of Manganese from Water Supplies Intended for Human Consumption: a case study. *Desalination* 210 (2007) 205-214
- [59] Cadornin, Luciana; Tabosa, Érico ; Paiva, Meise y Rubio, Jorge. Tratamiento de Riles Mineros Ácidos por Precipitación Química y Flotación por Aire Disuelto. Departamento de Ingeniería de Minas. Laboratorio de Tecnología Mineral y Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabajo presentado en el Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Habana, Cuba, Octubre 8 de 2006
- [60] Moon, Jooho y colaboradores. Synthesis of nanocrystalline manganese oxide powders: Influence of hydrogen peroxide on particle characteristics. *Journal of Materials Research*. Vol. 14, No. 12, Dec 1999.
- [61] Lamaita, Luciano y colaboradores. A theoretical and experimental study of manganese oxides used as catalysts for VOCs emission reduction. *Catalysis Today* 107-108 (2005) 133-138
- [62] Lamaita, Luciano y colaboradores. Synthesis and characterization of manganese oxides employed in VOCs abatement. *Applied Catalysis B: Environmental* 61 (2005) 114-119
- [63] Cellier, Caroline y colaboradores. Extent of the participation of lattice oxygen from γ -MnO₂ in VOCs total oxidation: Influence of the VOCs nature. *Catalysis Today* 117 (2006) 350-355.
- [64] Cellier, Caroline y colaboradores. Investigation of the preparation and activity of gold catalysts in the total oxidation of n-hexane. *Applied Catalysis B: Environmental* 70 (2007) 406-416.
- [65] <http://www.sigmaaldrich.com>. Consultada en enero de 2010.
- [66] <http://www.lenntech.es/eliminacion-hierro.htm>. Consultada en febrero de 2010.
- [67] <http://www.lenntech.es/eliminacion-antimonio.htm>. Consultada en febrero de 2010.
- [68] <http://www.lenntech.com/periodic/water/silver/silver-and-water>. Consultada en febrero de 2010.
- [69] <http://www.lenntech.es/sulfatos.htm>. Consultada en febrero de 2010.

- [70] Pütz, Petra. Eliminación y determinación de fosfato. Informe práctico de HACH LANGE. Laboratorio de Analítica y Sistema de Control de Procesos. Nutrientes fosfato. Marzo 2008.
- [71] <http://wapedia.mobi/es/Desnitrificación>. Consultada en febrero de 2010.
- [72] Ramos, Katuska. Obtención de tetraóxido de trimanganeso (hausmanita) y sulfato de potasio a partir de residuos de laboratorio. *Avances en Química*, 4 (1), 45-52 (2009).
- [73] <http://www.2spi.com.mx/catalog/chem/potassium-permanganate-additional-info.html>. Consultada en febrero de 2010.
- [74] Y. Chabre y J. Pannetier. *Prog. Solid State Chem.* 23 (1995) 1.
- [75] M. V. Ananth, S. Pethkar y K. Dakshinamurthi. *J. Power Sources.* 75 (1998) 278.
- [76] Xiuling Wang, Anbao Yuan y Yuqin Wang. Supercapacitive behaviors and their temperature dependence of sol-gel synthesized nanostructured manganese dioxide in lithium hydroxide electrolyte. *J. Power Sources* 172 (2007) 1001-1011.
- [77] Fan C y colaboradores. Synthesis, characterization and catalytic activity of cryptomelane nanomaterials produced with industrial manganese sulfate. *Journal of Colloid and Interface Science.* 327 (2), 393-402 (2008).
- [78] Li-Xia Yang y colaboradores. Synthesis of well-crystallized birnessite using ethylene glycol as a reducing reagent. *Materials Research Bulletin* 42 (2007) 159-164.
- [79] Vázquez-Olmos, América y colaboradores. One-step synthesis of Mn_3O_4 nanoparticles: Structural and magnetic study. *Journal of Colloid and Interface Science.* 291 (2005) 175-180
- [80] Santosh Kumar verma y Manas Kanti Deb. Direct and rapid determination of sulphate in environmental samples with diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy using KBr substrate. *Talanta.* 71 (2007) 1546-1552
- [81] R. A. Nyquist y R. O. Kagel. *Infrared Spectra of Inorganic Compounds.* Academic Press. New York. 1971.
- [82] Sistema de Clasificación y Etiquetado de la Unión Europea. <http://www.ilo.org/public/spanish/protection/safework/cis/products/safetytm/classify.htm>. Consultada en abril de 2009

- [83] <http://www.nfpa.org>. Consultada en abril de 2009
- [84] Clavero S., José María. La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España. 1998.
www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_480.pdf - 1998. Consultada en mayo del 2009.
- [85] De Sola, Valentina. Guía de Prácticas. Laboratorio de Principios de Química. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. 2002
- [86] Hernández, Lisette y colaboradores. Guía de Trabajo del Laboratorio I de Inorgánica. Unidad Docente de Química Inorgánica. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Septiembre 2002
- [87] Guía de Métodos de Análisis por Fotocolorimetría. Métodos Cuantitativos de Análisis en EAA y EEA con Llama. Guía de Preparación de Muestras. Laboratorio Instrumental Analítico. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Versión digital. 2003
- [88] Guía de Laboratorio de Físicoquímica Integrado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Versión digital.
- [89] Fernández, Alberto. Guía de Análisis Cualitativo. Marcha Analítica de Cationes. Marcha para Identificación de Aniones. Laboratorio de Química Analítica. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Octubre 2001.
- [90] Fuson, Shriner y Curtin. Identificación Sistemática de Compuestos Orgánicos. Editorial Limusa. México. 1997. Páginas 166-169.
- [91] Córdova, Tania. Guía de Prácticas. Laboratorio de Química Orgánica II. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Abril 2004.
- [92] Base de datos JCPDS-International Centre for Diffraction Data (ICDD). PCPDFWIN. Versión 2.02. Mayo 1999.