

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA QUIMICA, PETROQUIMICA, AMBIENTAL Y ALIMENTOS



PROYECTO DE GRADO

**“DISPOSICIÓN FINAL DE LÁMPARAS MUNICIPALES DE ALUMBRADO
PÚBLICO EN DESUSO CON CONTENIDO DE MERCURIO, MEDIANTE LA
ESTABILIZACIÓN DEL MISMO CON AZUFRE ELEMENTAL”**

**PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

POSTULANTE:

SONIA MAMANI MACHACA

TUTOR:

ING. JORGE ALBERTO VASQUEZ PEÑARANDA

LA PAZ – BOLIVIA

2023



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

INDICE

Capítulo I	3
1. Introducción.....	3
Capítulo II	4
2. Objetivos.....	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
Capítulo III	5
3. Justificación.	5
3.1. Justificación Técnica	5
3.2. Justificación Académica	5
3.3. Justificación Ambiental	6
3.4. Justificación Social.....	6
Capítulo IV	8
4. Marco Teórico	8
4.1. Mercurio.....	8
4.2. Contaminación por mercurio gaseoso	9
4.3. Lámparas de descarga.....	10
4.4. Partes de una lámpara de descarga	11
4.5. Industria de las lámparas de descarga	12
4.6. Métodos de estabilización de mercurio.....	13
4.7. Legislación respecto al desecho lámparas	14
Capítulo V	16
5. Ingeniería del Proyecto.	16
5.1. Metodología.....	16

5.2.	Recolección de lámparas en desuso.	19
5.3.	Metodo para la Estabilización del mercurio.	20
5.4.	Diagrama del proceso a realizar.....	21
5.5.	Revisión de métodos analíticos para determinar Sulfuro de mercurio	22
5.6.	Pruebas experimentales.....	23
5.7.	Respuestas de laboratorio	31
5.8.	Análisis ANOVA	33
5.9.	Cálculo de masa de mercurio.....	37
5.10.	Balance de materia para el tanque	38
5.11.	Determinación del volumen del tubo de descarga	40
5.12.	Cálculo de las dimensiones del agitador	42
5.13.	Cálculo del diámetro del eje del agitador	42
5.14.	Cálculo del espesor del tanque (Uribe, 2013).....	44
5.15.	Masa de mercurio estabilizado en el reactor calculado.	45
5.16.	Rendimiento del proceso	48
Capítulo VI	.....	50
6.	Costos.	50
Capítulo VII	.....	52
7.	Conclusiones.....	52
8.	Recomendaciones	53
9.	Bibliografía	53
Capítulo VIII	.....	55
8.	Anexos.	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de exposición al vapor de mercurio, gestión de residuos-lámparas en desuso.....	10
Tabla 2. Datos obtenidos por el INE hasta el año 2018- importaciones realizadas por año.....	13
Tabla 3. Características técnicas del tubo de descarga.....	24
Tabla 4. Peso de tubos de descarga.....	24
Tabla 5. Datos de peso de cada componente de la lámpara.....	29
Tabla 6. Cantidad de experimentos que debe realizarse - Diseño Factorial 2k.....	32
Tabla 8. Resultados del Análisis Anova.....	33
Tabla 9. Resultados de sulfuro de mercurio.....	37
Tabla 10. Parámetros óptimos en la estabilización de mercurio	37
Tabla 11. Rendimiento del proceso.....	48
Tabla 12. Costo por tratamiento	50
Tabla 13. Costo por tratamiento, equipo y material.....	51
Tabla 14. Matriz de impacto ambiental por residuos de mercurio.....	55
Tabla 15. Factores de probabilidad y gravedad.....	56
Tabla 16. Diagrama de probabilidad y gravedad.....	56
Tabla 17. Ficha técnica del acero inoxidable.....	59
Tabla 18. Tratamiento termico.....	66
Tabla 19. Taladro con broca HSS.....	66
Tabla 20. Torneado con metal duro	67
Tabla 21. Fresado con metal duro	67
Tabla 23. Hoja de especificaciones Azufre en polvo AGR	78

INDICE DE GRAFICAS

Figura 1. Elementos y materiales contenidos en los RAEE	7
Figura 2. Constitución de la lámpara de vapor de sodio a alta presión	11
Figura 3. Esquema con arrancador independiente y esquema con arrancador semiparalelo. ...	12
Figura 4. Esquema de componentes recuperados en el ciclo de reciclaje de las lámparas	14
Figura 5. Esquema de envase para almacenar un pack de lámparas (desde fabrica)	18
Figura 6. Esquema de almacenamiento temporal	19
Figura 7. El presente proyecto se basará en la metodología de Batrec:	20
Figura 8. Método batrec.....	21
Figura 9. Difraccion de rayos X	23
Figura 10. Lamparas en desuso	25
Figura 11.Lámpara de alumbrado público de 250w con un peso aproximado de 146.9 gramos.	26
Figura 12. Quebrado del vidrio exterior con una prensa plana	26
Figura 13. Ampolla exterior de vidrio con un peso aproximado de 111.7 gramos	27
Figura 14.Casquillo y material ferroso de soporte con peso aproximado 34.8 gramos	27
Figura 15. Tubo de descarga con contenido de mercurio con peso aproximado de 8.7 gramos	28
Figura 16. Azufre comercial.....	28
Figura 17. Proceso de Estabilización.....	30
Figura 18. Diseño experimental - Factorial 2k.....	31
Tabla 7. Resultados del diseño experimental	32
Figura 19. 3D Surface factor actual de 15 minutos	35
Figura 20. Uso de Design Expert a los 15 minutos	35
Figura 21. 3D Surface Factor Actual Tiempo de 30 minutos.....	36
Figura 22.Uso de Design Expert a los 30 minutos	36

Figura 23. Estabilización del mercurio.....	38
Figura 24. Tubos.....	46
Figura 25. Gráfica obtenida con el programa Design Expert 11.0.- Masa de azufre y Temperatura.....	57
Figura 26. Gráfica obtenida con el programa Design Expert 11.0.- Masa de azufre, Temperatura y Tiempo	57
Figura 27. diagramas donde se observan las pérdidas de peso, tratadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura	61
Figura 29. Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas.....	62
Figura 30. diagramas donde se observan las pérdidas de peso, tratadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura	64
Figura 31. Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas	65
Figura 32. Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas.....	65
Figura 33.a)-Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo.....	70
Figura 34.b) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo.....	71
Figura 36.Figura 34.d) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo	73
Figura 37.e) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo.....	74
Figura 38.f) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo	75
Figura 40.h) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo.....	77
Figura 41. Hoja de especificaciones de azufre en polvo AGR.....	78
Figura 42. a) Ficha de datos de seguridad de Mercurio.....	79
Figura 43.b) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	80
Figura 44.c) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	81
Figura 45. d) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	82
Figura 46.e) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	83
Figura 47. f) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	84

Figura 48. g) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	85
Figura 49. h) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	85
Figura 50. i) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	87
Figura 51. j) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	88
Figura 52. k) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	89
Figura 53. l) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	90
Figura 54. m) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	91
Figura 55. n) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	92
Figura 56. o) Ficha de datos de seguridad de Mercurio	93
Figura 57. a) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y	94
Figura 58. b) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y	95
Figura 59. c) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y	96
Figura 60. d) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y	97
Figura 58. d) Hoja de datos de producto TUNGSRAM LU250/XO/T/40	98
Figura 59. d) Hoja de datos de producto TUNGSRAM LU250/XO/T/40	99
Figura 60. d) Hoja de datos de producto TUNGSRAM LU250/XO/T/40	100
Figura 61. Informe de laboratorio de rayos X - DRX	101

ANEXOS

Anexo 1.....	55
Matriz de impactos ambientales por residuos de mercurio.....	55
Anexo 2.....	57
Graficas y tablas obtenidas de la simulacion design expert.....	57
Anexo 3.....	59
Fichas tecnica del material para el diseño del reactor	59
Anexo 4.....	68
Ficha tecnica del azufre	68
Anexo 5.....	78
Especificaciones de azufre	78
Anexo 6.....	79
Ficha tecnica del mercurio	79
Anexo 7.....	94
Ficha tecnica de la lampara	94
Anexo 8.....	101
Informe de laboratorio de rayos x-drx	101

DEDICADO

A mis padres Delfina y Jorge, mis hermanos Israel y Jorge C. por el apoyo y la paciencia que me han tenido. A mi familia, amigos y docentes por su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con Dios y la Virgencita por permitirme tener momentos gratos en mi existir y disfrutar de mi familia.

Al Ingeniero Jorge Alberto Vásquez Peñaranda por el apoyo y asesoría. Me faltan palabras de agradecimiento hacia mi querida Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad y brindarme el conocimiento adquirido, por permitirme conocer a grandes amistades y colegas con los que estamos dando pasos para dar un aporte de desarrollo a la sociedad a la que nos debemos.

A la Empresa Letronic por darme la confianza y oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo, al técnico eléctrico Elvis Guachalla por su colaboración.

A mis amigos los Ing.: Teresa Huanca, Judith Vizcarra, Osmar Peñaloza, Gabriela Arce, Esther Balboa, Yesenia Morales, Claudia Torrejón, Enrique Espejo, Melissa Rocha, Daniel Álvarez, Luz Calani, Isaac Escalante, por las vivencias compartidas por estar ahí.

A la Universidad Mayor de San Andrés, al plantel docente y administrativo por ser parte artífice para la culminación de mi etapa en la Universidad.

RESUMEN

El documento se centra en un proyecto de tratamiento del vapor de mercurio presente en las lámparas de alumbrado público en desuso. El objetivo general es realizar un estudio básico para la disposición final de estas lámparas mediante la estabilización del mercurio con azufre elemental. Los objetivos específicos incluyen cuantificar la cantidad de mercurio inicial y obtenido en el sulfuro de mercurio, diseñar el reactor para la estabilización de la reacción y determinar el rendimiento del proceso y los costos involucrados.

El proyecto consta de etapas como la recolección de lámparas de alumbrado público, el pretratamiento de las lámparas para obtener el tubo de descarga con contenido de mercurio y la estabilización del mercurio con azufre elemental. Es un proyecto experimental en el cual se determinó los parámetros óptimos donde se estableció: El uso de 2 gramos de azufre, 15 minutos de estabilización a una temperatura de 50 grados centígrados para el tratamiento de 5 tubos de descarga, obteniendo un rendimiento del 65,22 % de mercurio estabilizado en el proceso, y como una etapa complementaria se diseñó un reactor de 20 litros para la estabilización de la reacción donde se realizó cálculos de dimensionamiento considerando el balance másico dando como resultado: El tratamiento es de aproximadamente 1.800,00 tubos de descarga con una masa de azufre de 3 kilogramos.

Se realizó pruebas de laboratorio paralelamente utilizando el programa Design Expert 11.0 como apoyo para analizar los parámetros involucrados en el diseño experimental, como el tiempo de contacto, la temperatura y la masa de azufre.

Destaca la importancia de abordar la estabilización de los residuos de mercurio debido a su alta toxicidad y los impactos negativos que pueden tener en el ambiente y los seres vivos. se menciona que en el país aún se utilizan luminarias con tecnología SAP que contienen mercurio, lo que genera una acumulación de residuos sin una disposición final adecuada, dando alternativas para esta problemática.

ABSTRACT

The document focuses on a project for treating mercury vapor present in decommissioned public lighting lamps. The overall objective is to conduct a basic study for the final disposal of these lamps by stabilizing mercury with elemental sulfur. Specific objectives include quantifying the initial and obtained amount of mercury in mercury sulfide, designing the reactor for the reaction stabilization, and determining the process performance and associated costs.

The project consists of stages such as the collection of public lighting lamps, the pretreatment of lamps to obtain the discharge tube with mercury content, and the stabilization of mercury with elemental sulfur. It is an experimental project in which optimal parameters were determined: the use of 2 grams of sulfur, 15 minutes of stabilization at a temperature of 50 degrees Celsius for the treatment of 5 discharge tubes, resulting in a 65.22% yield of stabilized mercury in the process. As a complementary stage, a 20-liter reactor was designed for the reaction stabilization, with calculations considering mass balance resulting in the treatment of approximately 1,800.00 discharge tubes with a sulfur mass of 3 kilograms.

Laboratory tests were conducted simultaneously using the Design Expert 11.0 program to support the analysis of parameters involved in the experimental design, such as contact time, temperature, and sulfur mass.

The document highlights the importance of addressing the stabilization of mercury waste due to its high toxicity and the negative impacts it can have on the environment and living organisms. It is mentioned that the country still uses luminaires with SAP technology containing mercury, leading to an accumulation of waste without proper disposal, offering alternatives to address this issue.

Capítulo I

1. Introducción.

Los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado de manera considerable desde el inicio de la era industrial. Es así que el mercurio se encuentra actualmente en diversos medios. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio.

Con el aumento de la conciencia acerca de los efectos adversos del mercurio, se ha reducido significativamente el uso de este mineral elemento en muchos países industrializados. Hay alternativas para la mayoría de los usos que se pueden adquirir en el mercado a precios competitivos. Dado que los reglamentos y las restricciones relativas al mercurio son menos exigentes y no se hacen cumplir como es debido en muchas regiones menos desarrolladas, estas tendencias han contribuido a que, en algunas zonas se concentren de manera desproporcionada, los riesgos que entraña el mercurio para la salud y el medio ambiente son de consideración y esto hace que el estudio para su remediación sea tomado como un accionar a contratiempo. Entretanto, las grandes cantidades de mercurio que permanecen en desechos de minería, depósitos de basura y sedimentos, siguen constituyendo un peligro. En consecuencia, tal vez sea conveniente la adopción de medidas para reducir, manejar y ordenar los usos, las existencias y el comercio para prevenir o reducir las futuras liberaciones.

Sin embargo, en nuestro país el cambio a luminarias con tecnología LED (diodos emisores de luz, productos amigables con el medio ambiente) se realiza paulatinamente y aun las luminarias SAP(sodio de alta presión) siguen siendo vigentes como un producto común (teniendo a uno de sus principales componentes al mercurio), las luminarias SAP generalmente son de uso para el alumbrado público y en menor proporción en zonas industriales, así también la generación de los residuos provoca una gran acumulación de dichas luminarias las cuales no cuentan con una disposición final adecuada. La Empresa Letronic brinda servicios en el área de iluminación pública y ve esta problemática, tomando una iniciativa de responsabilidad para ser parte de la solución buscando un estudio básico, adecuado y simple para la remediación a esta problemática.

Capítulo II

2. Objetivos.

2.1. Objetivo General

- Realizar un estudio básico para la disposición final de las lámparas de descarga con contenido de mercurio en desuso de alumbrados públicos mediante la estabilización del mismo con azufre elemental.

2.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar la cantidad de mercurio inicial.
- Cuantificar la cantidad de mercurio obtenido en el sulfuro de mercurio
- Diseñar el reactor para la estabilización de la reacción del mercurio con azufre elemental.
- Determina rendimiento del proceso y costos involucrados.



Capítulo III

3. Justificación.

3.1. Justificación Técnica

Conociendo la problemática relacionada con el manejo del vapor de mercurio contenido en las lámparas del alumbrado público en desuso, se ve la necesidad de recurrir a soluciones ingenieriles que puedan encontrar una utilización adecuada de este elemento nocivo para la salud y el ambiente. Muchos estudios han fundamentado el uso de azufre para captar mercurio en aguas residuales o lixiviados, es así que el presente proyecto se respalda en la formación del sulfuro de mercurio como un compuesto de mayor estabilidad, mediante la absorción de vapor de mercurio a través de parámetros controlados para poder generar la mayor recuperación de éste y sustentar una respuesta ante la acumulación de lámparas en desuso al no tener un tratamiento adecuado.

3.2. Justificación Académica

Es importante contribuir a la sociedad científica con proyectos que respondan a problemáticas actuales. Mediante todo el conocimiento adquirido en la carrera de Ingeniería Ambiental se debe presentar proyectos innovadores que puedan mostrarse como proyectos a largo plazo, proyectos que sean factibles, asimismo, que tengan rendimientos notables y que el beneficio esté por encima del costo, de modo que puedan ser proyectos replicables a mayores escalas.

Siendo Bolivia un país en vía de desarrollo, (según datos de la OMS, los países en vías de desarrollo, son los principales usuarios de focos ahorradores), lamentablemente cuenta con pocas empresas que cuentan con la tecnología adecuada para tratar los remanentes generados con la utilización de dichas lámparas. De esta manera, el proyecto pretende generar una metodología de tratamiento para el vapor de mercurio basado en las reacciones con azufre y con base en los conocimientos de Ingeniería para, con ello, brindar resultados que sean interesantes para su replicación en el país a mayores escalas, para ello se utilizará los conocimientos adquiridos en la carrera como Cinética, Diseño de Reactores Químicos, Análisis Cualitativo y Cuantitativo y otras necesarias para culminar el proyecto.

3.3. Justificación Ambiental

En cumplimiento a la Ley 755, que en su Sección II habla del aprovechamiento de residuos, y todas las acciones necesarias para promover el máximo aprovechamiento de éstos, antes de su disposición final, es que el presente proyecto, responde ante la escasez de empresas o tecnologías que puedan ofrecer un reutilizamiento sostenible del vapor de mercurio presente en las lámparas de alumbrado público en desuso dispuestos en depósitos, brindando un estudio científico práctico de la estabilización de este vapor nocivo.

Es de gran importancia plantear la manera de estabilizar este tipo de residuos, ya que los efectos resultan de gran toxicidad. Las lámparas con contenido de mercurio (Hg), cuando se rompen, liberan de su interior vapores de mercurio altamente tóxico que afectan peligrosamente a la salud humana y al ambiente, con la posibilidad de contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneas (infiltración de lixiviados), del suelo, aire y seres vivos. Como ejemplo determinante de su alto impacto negativo sobre el ambiente y los seres vivos tenemos el caso trágico ocurrido en la población de Minamata (Japón) dando lugar al Convenio de Minamata con el objetivo de proteger la salud humana y el ambiente de emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y sus compuestos de formación.

3.4. Justificación Social

En tema de salud para la OMS, el mercurio es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública.

El mercurio elemental y el metil mercurio son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico. La inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo y los pulmones y riñones, con consecuencias a veces fatales. Las sales de mercurio inorgánicas son corrosivas para la piel, los ojos y el tracto intestinal y, al ser ingeridas, pueden resultar tóxicas para los riñones.

Tras la inhalación o ingestión de distintos compuestos de mercurio o tras la exposición cutánea ellos se pueden observar trastornos neurológicos y del comportamiento, con síntomas como temblores, insomnio, pérdida de memoria, efectos neuromusculares, cefalea o disfunciones cognitivas y motoras. En trabajadores expuestos durante varios años a niveles atmosféricos de al menos 20 µg/m³ de mercurio elemental se pueden observar signos

subclínicos leves de toxicidad para el sistema nervioso central. Se han descrito efectos en los riñones que van de la proteinuria a la insuficiencia renal. (salud, 2017)

En la actualidad no se cuenta con investigaciones realizadas con los desechos de las lámparas del municipio de Viacha, la ciudad de La Paz cuenta con ciertos puntos de acopio para entregar focos fluorescentes en desuso a nivel domiciliario, a nivel Bolivia existe una iniciativa privada en el departamento de Cochabamba donde trata focos a nivel domiciliario, existen alguna empresas como Kiosco verde que realiza la estabilización de estos desechos, para ello el cobro no está definido, solo identificado, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. Elementos y materiales contenidos en los RAEE



Nota. Adaptado de Elementos y materiales contenidos en los RAEE, de autor Goreling y Burbeza, 2009, Fuente. Acaldia de La Paz

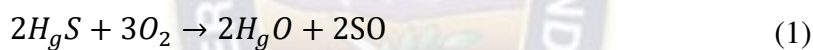
Capítulo IV

4. Marco Teórico

4.1. Mercurio

El mercurio es el único metal que se presenta en estado líquido a temperatura ambiente, siendo 15.5 veces más denso que el agua. Normalmente se encuentra en menor proporción que el plomo y consecuentemente su ciclo geoquímico tiene flujos menores, siendo su abundancia de 80 ppb en la capa terrestre y en el océano de 0.15 ppb. Se presenta en tres estados de oxidación: estado elemental (Hg^0 , líquido de color plata) y formas iónicas Hg^+ y Hg^{2+} , como $HgCl$, HgS y $HgCl_2$. También se encuentra en forma de compuestos orgánicos como metilmercurio (CH_3-Hg^+) y dimetilmercurio ($CH_3-Hg-CH_3$) (O'Neill, 1993).

La mayoría de los compuestos del mercurio son relativamente volátiles, aún el sulfuro mercúrico (HgS) que es la principal forma mineral del mercurio, propicia una concentración de 10 mg Hg /metro cúbico de aire seco. Dicho mineral puede ser reducido fácilmente por medio de calentamiento:



Adicionalmente, para entender el comportamiento del mercurio en el ambiente, hay que considerar que la formación de diferentes especies químicas se debe a la velocidad en que se deposita este elemento y por lo tanto se convierte en un factor que determina la eficiencia de los controles para removerlo. Sin embargo, la detección de las diferentes especies del mercurio en emisiones atmosféricas no ha sido fácil, por lo que se han desarrollado diferentes métodos para la determinación correcta de las mismas: EPA-29 (Environmental Protection Agency), RTI (Research Triangle Institute) y MESA (Mercury Speciation Adsorption Method) (Dennis et al, 1997) (USEPA, 1996).

El mercurio puede extraerse de las minas como sulfuro de mercurio, el cual se muele, tamiza y refina para los procesos térmicos en los que se liberan vapores de mercurio metálico. Los usos principales son en baterías, industria de cloro-álcali, equipo eléctrico y de medición, pintura, amalgamas dentales y otros usos como termómetros, en laboratorios, etc. La producción

del mercurio ha disminuido debido a que es reciclado y su uso es menor para evitar mayor contaminación del ambiente (INE, 2000-A).

Existe una producción secundaria significativa de mercurio a nivel mundial, la cual se estima que equivale al 40% de la producción primaria, la cual resulta de su reciclado, recuperación y reprocesamiento industrial. El reciclado del mercurio a partir de chatarra de origen industrial es muy amplio, sin embargo, en lo que respecta al de la mayoría de los productos de consumo, no es económico en virtud a las pequeñas cantidades de mercurio que contiene.

Aunque el mercurio se recicle repetidas veces, el ambiente es el receptor final y ahí se mantiene de forma permanente e independientemente de que cambie su forma química, ya sea por mecanismos físicos, químicos o biológicos (Albert, 1990).

4.2. Contaminación por mercurio gaseoso

En el año 2017, la revista científica ECOCIENCIA, ha realizado un estudio sobre la cantidad de emisiones de mercurio provenientes de lámparas con contenido de mercurio, este estudio concluyó que en Argentina, Bolivia, Ecuador y Venezuela, en promedio y por persona se incorporaron 0.61; 0.88; 1.11 y 5.49 luminarias, respectivamente. La liberación de mercurio al ambiente se incrementa para los cuatro países analizados con la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas de descarga, sin el debido reciclaje y tratamiento para recuperación del mercurio de las lámparas de descarga gastadas. Sin una estructura legal y organizativa para la gestión de las Lámparas de descarga usadas, los planes de sustitución masiva de los focos incandescentes por Lámparas de descarga generan un problema ambiental por el incremento de las emisiones de mercurio al medio ambiente.

Límites de exposición al vapor de mercurio

Dónde: (promedio ponderado en el tiempo - time weighted average – TWA) es el promedio de la exposición a lo largo de un periodo, por ejemplo 8 hr o 1 año calendario, umbral límite de valor – threshold limit value – TLV, límite de exposición recomendado – recommended exposure limit – REL, Inmediatamente peligroso para la vida o la salud – immediately dangerous to life or health – IDLH es la máxima concentración ambiental de un

contaminante del cual una persona podría escapar dentro de los 30 min sin ningún síntoma de desmejora en el escape o efectos irreversibles a la salud.

OSHA: Administración de la seguridad y salud ocupacional

ACGIH: Conferencia americana de higienistas gubernamentales e industriales

NIOSH: Instituto nacional para la seguridad ocupacional y salud.

Tabla 1. Límites de exposición al vapor de mercurio, gestión de residuos-lámparas en desuso

OSHA	ACGIH		NIOSH		UE	
PEL TWA 8 h	TLV TWA 8 h	Límite de excursión 30 min	Límite de excursión instantánea	REL TWA hasta 10 h	IDLH escape en 30 min	Límite de exposición ocupacional
mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
0,1 (Piel)	0,025 (Piel)	0,075 (Piel)	0,125 (Piel)	0,05 (Piel)	10	0,02

Nota. Adaptado de Límites de exposición al vapor de mercurio, gestión de residuos-lámparas en desuso, IBNORCA, 2015, Pág. 26, Fuente. NB 69022.

4.3.Lámparas de descarga.

Las lámparas de vapor de mercurio de alta presión consisten en un tubo de descarga hermético de cerámica translucido de alúmina relleno con vapor de mercurio, el cual tiene dos electrodos principales y uno auxiliar para facilitar el arranque.

La luz que emite es color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra añadir sustancias con contenido de sodio que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara, aunque también están disponibles las lámparas completamente transparentes las cuales iluminan bien en zonas donde no se requiera estrictamente una exacta reproducción de los colores.

Para su operación las lámparas de descarga con contenido de vapor de mercurio requieren de un balasto, ignitor y condensador, a excepción de las llamadas lámparas mezcladoras.

Una de las características de estas lámparas es que tienen una vida útil muy larga, ya que rinde las 32.000 horas de vida, aunque la depreciación lumínica es considerable.

4.4. Partes de una lámpara de descarga.

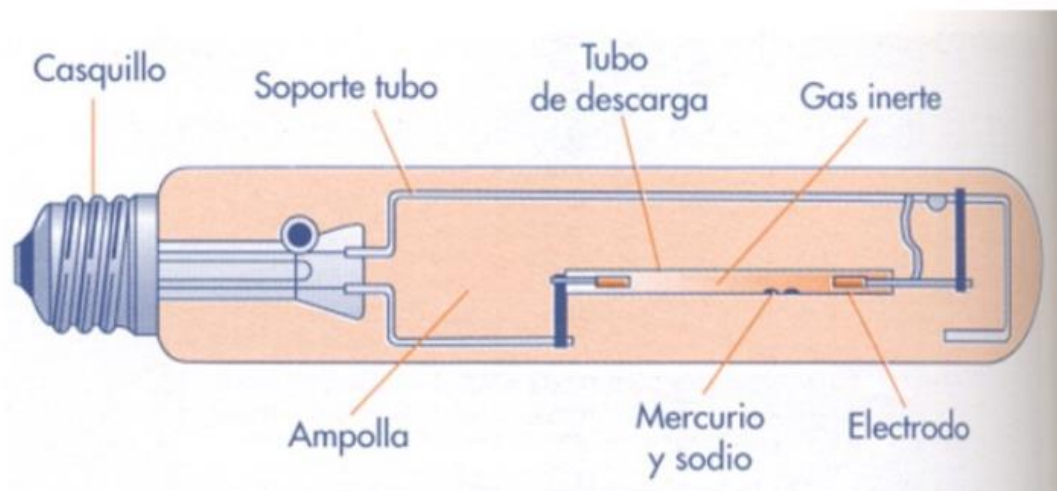
En estas lámparas, la descarga tiene lugar en un tubo provisto de dos electrodos principales y uno o dos auxiliares, en cuyo interior se encuentra una pequeña cantidad de mercurio y un gas inerte que ayuda al encendido. Los electrodos auxiliares llevan una resistencia en serie que limita la intensidad que circula por ellos.

Este tubo de descarga está contenido en una ampolla de vidrio de mayor tamaño que lo protege.

Por tanto, una lámpara de mercurio de alta presión consta de las siguientes partes principales:

- Tubo de descarga y soporte
- Electrodo
- Ampolla exterior
- Gas inerte
- Casquillo
- Mercurio y sodio

Figura 2. Constitución de la lámpara de vapor de sodio a alta presión

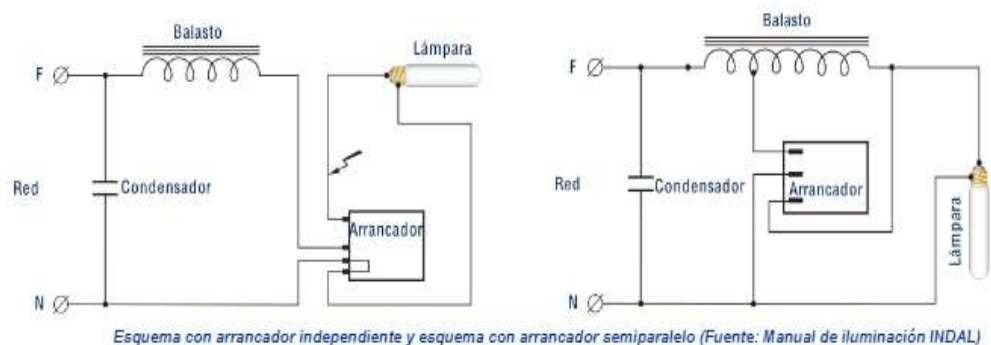


Fuente: Adaptado de Lámparas de vapor de sodio a alta presión (VSAP), Slideplayer (<https://slideplayer.es/slide/166657/>).

El encendido se realiza por ignición mediante los electrodos auxiliares de arranque, mientras que un electrodo principal ioniza el gas inerte contenido en el tubo. La duración del encendido es de aproximadamente cinco minutos, tiempo que necesita la lámpara para vaporizar la totalidad del mercurio.

El encendido de estas lámparas se hace directamente con la tensión de la red gracias a la ayuda del electrodo auxiliar, una vez encendida la lámpara se necesita un balasto externo que limite la tensión sobre ella. Se conecta un condensador en paralelo para compensar el bajo factor de potencia ocasionado por la reactancia. Circuito de lámpara de vapor de sodio con contenido de mercurio. Como mostramos a continuación:

Figura 3. Esquema con arrancador independiente y esquema con arrancador semiparalelo.



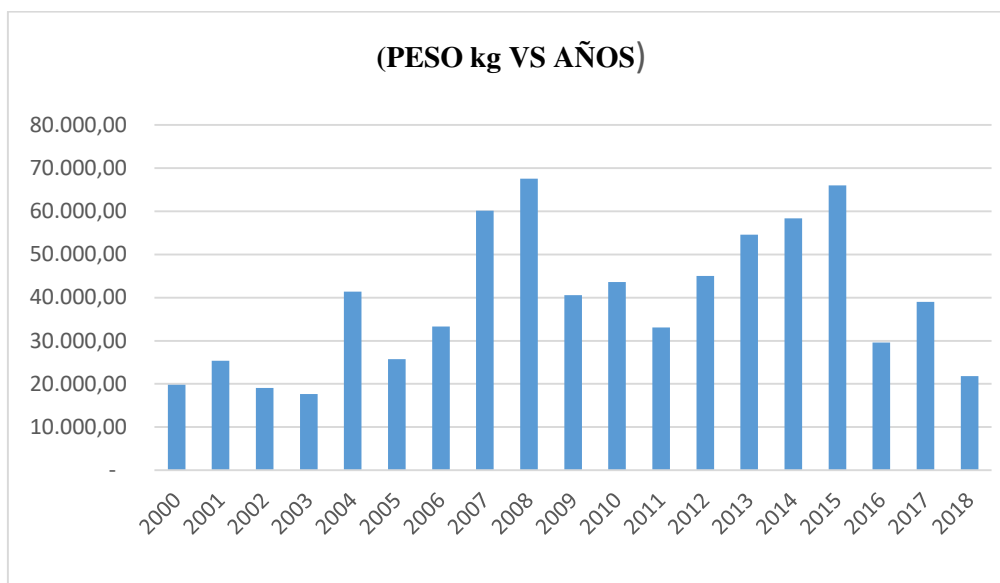
Nota. Adaptado de Esquema con arrancador independiente y esquema con arrancador semiparalelo. Fuente. Manual de iluminación INDAL

4.5. Industria de las lámparas de descarga

Las luminarias han sido usadas principalmente para iluminar avenidas principales, carreteras, autopistas, parques, naves industriales y lugares poco accesibles ya que el periodo de mantenimiento es muy largo. Actualmente, las lámparas de aditivos metálicos (o Lámpara de haluro metálico), particularmente, las que encienden por pulso o pulse start, proveen mejores características a lo largo de su vida útil.

A la fecha no se ha establecido un programa de recolección y reciclado en el país que sea de iniciativa por parte del estado. En forma general, el consumo de lámparas de descarga consumidos registrados por el INE-BOLIVIA son los datos que a continuación mostramos:

Tabla 2. Datos obtenidos por el INE hasta el año 2018- importaciones realizadas por año



Nota. Adaptado de Datos obtenidos por el INE hasta el año 2018 – Importaciones realizadas por año, Fuente. Elaboración propia

Datos: Tabla realizada con datos obtenidos por el INE hasta el año 2018, muestra las importaciones realizadas por año.

Así mismo mostramos en forma general, el consumo de mercurio para la producción de lámparas ha sido los siguientes datos:

920 kg de mercurio para producir 26 millones de lámparas, 1996

1,050 kg de mercurio para producir 30 millones de lámparas, 1997

1,005 kg de mercurio para producir 33 millones de lámparas, 1998

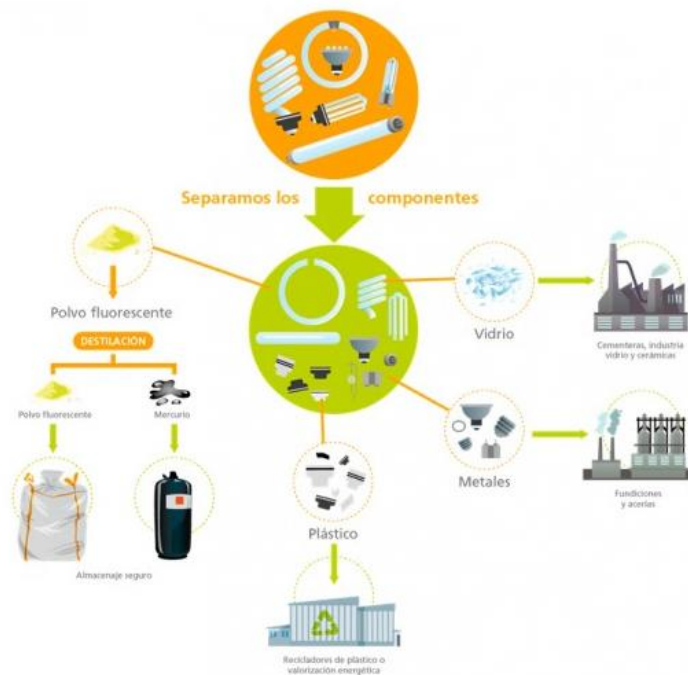
935 kg de mercurio para producir 37 millones de lámparas, 1999 (INE, 2000-A).

4.6. Métodos de estabilización de mercurio

Existen diferentes alternativas de tratamiento para las lámparas con contenido de mercurio como residuo peligroso. La primera alternativa es el aprovechamiento y valorización del residuo. Este proceso se basa en el reciclado que consiste en revalorizar las lámparas al fin de su vida útil para que retornen al mercado a través de los componentes recuperados. Estos

componentes recuperados son: vidrio, cabezales de aluminio y mercurio que puede regresar al ciclo de vida del producto o como materia prima de otros procesos productivos.

Figura 4. Esquema de componentes recuperados en el ciclo de reciclaje de las lámparas



Nota. Adaptado de Ambilamp (fotografía), por Reciclaje de lámparas y luminarias, Fece (<https://fece.org/blog/2022/05/04/reciclaje-de-lamparas-y-luminarias/>).

4.7. Legislación respecto al desecho lámparas

Si bien Bolivia no cuenta con una ley promulgada, se tiene el Proyecto de norma boliviana - PNB 69022, Gestión de residuos - Lámparas de descarga en desuso – Requisitos, la cual es de aplicación para la gestión de lámparas fluorescentes compactas (LFC), lámparas fluorescentes rectas (tubos fluorescentes) y circulares, de uso residencial, comercial e industrial, lámparas de sodio de alta presión y lámparas de halogenuros metálicos y demás lámparas y tubos de descarga, cuya composición incorpore mercurio y que se encuentren en desuso.

El proyecto de norma establece para el tratamiento que:

a) previamente a su disposición final, las lámparas de descarga en desuso deben recibir el tratamiento técnico correspondiente y cumplir con los parámetros de control vigentes.

b) Para efectos de aplicación de esta norma, el reciclaje se considera como una alternativa de tratamiento.

c) Una instalación de tratamiento debe disponer de una zona de almacenamiento, en la que las lámparas de descarga en desuso permanezcan, durante un tiempo que no exceda su capacidad de almacenamiento, en contenedores cerrados y en buenas condiciones de tal manera que se impida su rotura y/o algún flujo elemental, para facilitar su tratamiento o disposición apropiados.

d) La separación del mercurio por el método de destilación u otro, incluya o no un proceso de trituración, debe asegurar que la liberación de mercurio en el aire, no exceda los límites permisibles.

e) Las instalaciones de tratamiento deben incluir sistemas o equipos (monitores) necesarios para la medición de los niveles de vapor de mercurio, en el ambiente.

f) Para efectos del tratamiento, los efluentes líquidos, lodos, desechos sólidos y gases producto de los sistemas de tratamiento de lámparas de descarga en desuso, serán considerados como peligrosos, a menos que se demuestre lo contrario mediante el análisis realizado en un laboratorio acreditado, o en ausencia de acreditación en un parámetro, se realice fuera del país en un laboratorio reconocido y aprobado.

g) Los efluentes líquidos, lodos, desechos sólidos y gases producto del tratamiento deben cumplir con lo estipulado en la reglamentación ambiental vigente.

Capítulo V

5. Ingeniería del Proyecto.

5.1. Metodología

Para la metodología del presente proyecto recolectó experiencias de diversos autores, sin embargo, la que representa mayor simpleza y mejor eficiencia es la desarrollada por la empresa BATREC, esta metodología no es limitativa y se pueden experimentar con diversas especies que contengan azufre.

5.1.1. Tipo de investigación

Se trata de un proyecto de tipo experimental, en el cual se determinarán los parámetros necesarios para validar la hipótesis presentada. El proyecto consta de las siguientes fases:

- Recolección de lámparas de alumbrado público de los depósitos de Municipios como Viacha.
- Pretratamiento (desarmado) de lámparas para obtener el tubo de descarga con contenido de mercurio que se encuentra en la parte interna de la lámpara.
- Estabilización del mercurio con azufre elemental.

5.1.2. Matriz de impactos ambientales.

La matriz de impacto ambiental identifica los impactos de una actividad o proyecto sobre el ambiente y propone las acciones requeridas para su atención y manejo. Por lo tanto, es el instrumento fundamental para cualquier proyecto o actividad. La matriz propuesta se encuentra en Anexos.

5.1.3. Pasos para la elaboración de una Matriz de impactos ambientales

Para elaborar una matriz de impactos ambientales, se debe tener conocimiento pleno de la actividad, los pasos a seguir son los siguientes:

- Identificar la actividad
- Identificar los aspectos ambientales de la actividad
- Identificar los impactos ambientales de la actividad
- Identificar las condiciones en las que se desarrolla esta actividad
- Determinar la probabilidad con la que ocurre

- Determinar la gravedad del impacto
- Multiplicar Probabilidad X Gravedad
- Determinar la significancia del impacto

5.1.4. Almacenamiento temporal/ centro de transferencia

Este esquema de almacenamiento temporal propuesto se basa como referencia en la Norma Boliviana 69022, donde claramente menciona “ Todo poseedor de lámparas de descarga en desuso, sea una persona natural o jurídica, está obligada, mientras se encuentren en su poder, a mantenerlas en condiciones ambientalmente adecuadas, así como de higiene y seguridad ocupacional y entregarlas al responsable establecido en el sistema de gestión. ”, bajo esta mención se aplicará tanto en los almacenes de los Gobiernos Municipales y para el operador encargado del reciclaje.

Las características físicas de las lámparas de uso para el alumbrado público son de similar forma física, y las marcas que generalmente cubren la demanda son OSRAM, PHILIPS y GENERAL ELECTRIC en este entendido. Para su almacenamiento se propone conservar la envoltura de material cartón (mostrado en la **Figura 5.**) con las que hacen entrega por parte del proveedor a la cliente/institución. Al momento de culminar la vida útil de la lámpara, recurrir a la misma envoltura con el que hizo entrega el proveedor, pues así se evitara el quiebre de las lámparas en el almacén temporal y al momento de realizar la transferencia. Esto se basa en pruebas mecánicas que incluyen:

- prueba de compresión, prueba de distribución, prueba de vibración, prueba de caída, prueba de impacto inclinado y prueba de impacto horizontal, datos ya fijados desde la entrega de fábrica.

Figura 5. Esquema de envase para almacenar un pack de lámparas (desde fabrica)



Fotografía tomada en el almacén de la empresa Letronic.

Las lámparas de descarga en desuso deben colocarse en recipientes que cumplan con los siguientes requisitos:

- ser de material rígido y resistente
- ser utilizados únicamente para este fin
- deberá estar ubicados en un lugar aislado de actividades que impliquen circulación de personas
- ser fácilmente manipulables
- garantizar que el contenido se mantenga en condiciones seguras para la manipulación de las lámparas de descarga en desuso; principalmente deben evitar roturas debido a la fragilidad del material.
- estar identificado logrando se conozca su contenido

Figura 6. Esquema de almacenamiento temporal



Palet caja palet acero, <https://es.logistictool.com/cage-pallet/euro-pallet-cage.html>

Para el almacenamiento:

Los envases deben apilarse de tal forma que no se dañen unos con otros, sin exceder la capacidad de apilamiento establecida para el tipo de recipiente empleado, de acuerdo a sus características. En el envoltorio que llega de fábrica indican no exceder de cuatro filas el apilamiento de cada pack de lámparas, tomando en cuenta esas indicaciones se sugiere elaborar un contenedor (mostrado en la Figura 6.) esto con el fin de evitar rupturas posteriores.

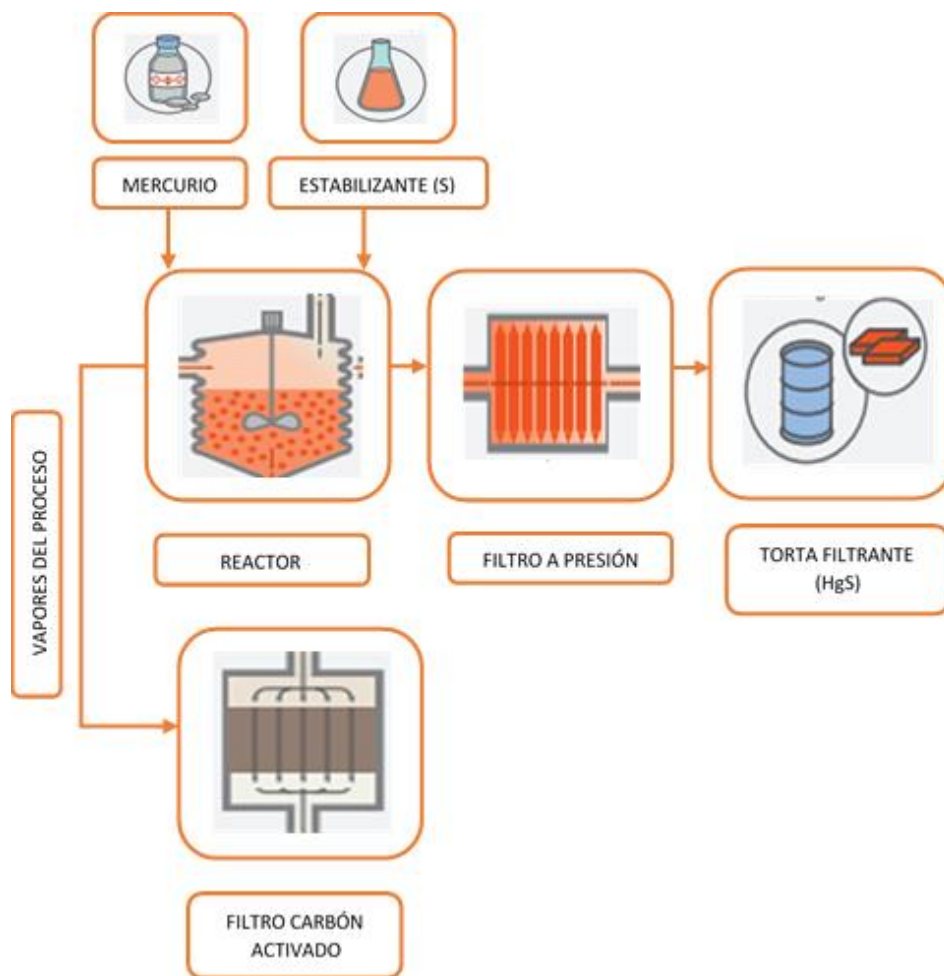
5.2.Recolección de lámparas en desuso.

Del Gobierno Autónomo Municipal de Viacha los técnicos en el área eléctrica realizan el mantenimiento de luminarias de alumbrado público, los repuestos eléctricos de las luminarias tienen un tiempo de vida y tras cumplir su vida útil se requiere el reemplazo de los mismos, teniendo el residuo los van acumulando en ambientes para su disposición temporal, eso hace que exista acumulación de estos residuos esperando el tratamiento y disposición final, al tratarse de un residuo especial y peligroso, por lo que requieren una gestión especializada con costos en reactivos y equipos de protección, por ello se acudirá a esta institución para solicitar accesos a estas lámparas acopiadas y realizar el presente estudio.

5.3. Metodo para la Estabilización del mercurio.

Batrec es una empresa del Grupo Veolia y se especializa en servicios de reciclaje responsable, esta empresa procesa baterías, productos que contienen mercurio, filtros de carbón activo y catalizadores usados para usuarios de todo el mundo, y suministran mercurio de alta pureza como materia prima.

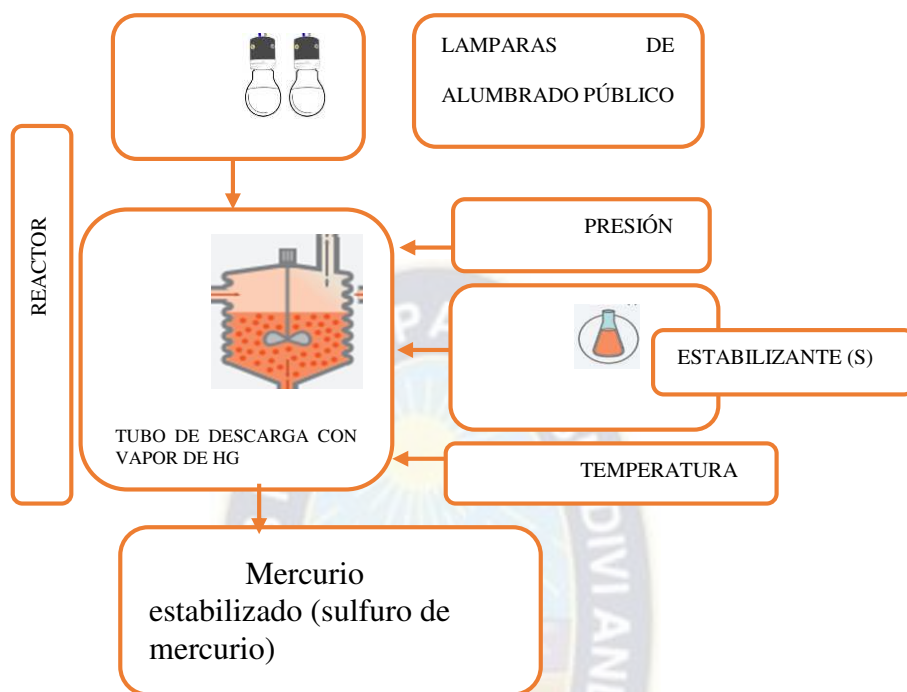
Figura 7. El presente proyecto se basará en la metodología de Batrec:



El Sulfuro de Mercurio es la forma más estable e insoluble del mercurio y es la forma natural del mismo. Además, el proceso no es húmedo y no acuoso por lo que es un proceso con más alta estabilidad.

5.3.1. Modificaciones al método BATREC

Figura 8. Método batrec



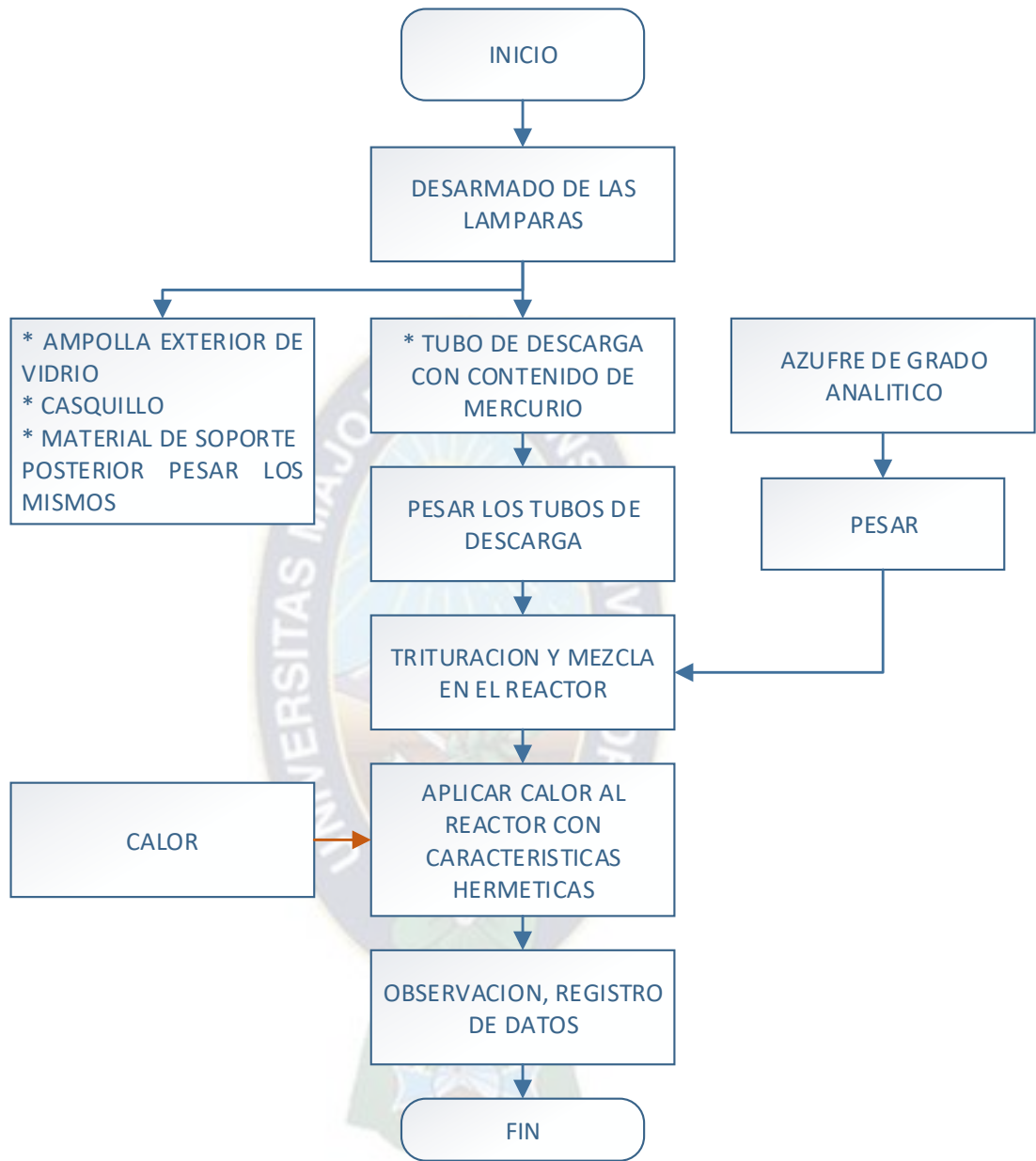
Para la aplicación del método BATREC a la estabilización de vapor de mercurio de las lámparas de alumbrados públicos en desuso, se realizará un paso previo, que es la ruptura del tubo de descarga que contiene el vapor de mercurio en el reactor hermético, en el mismo reactor para evitar pérdidas, y se deberá manipular parámetros de temperatura (tener disponible una estufa), para beneficiar el proceso.

El agente estabilizante utilizado será el azufre elemental (polvo amarillento), ya que está recomendado y ha sido utilizado en las investigaciones de estabilidad de mercurio de los autores A.R. M. Fuhrmann, Kadama, Govind B. Nairb y S.J. Dhoble.

5.4. Diagrama del proceso a realizar

Para establecer la cantidad de azufre a reaccionar con los residuos de las lámparas, se procedió según el siguiente diagrama:

Diagrama 1. Proceso de estabilización del mercurio



Fuente: Elaboración Propia

5.5.Revisión de métodos analíticos para determinar Sulfuro de mercurio

El método a ser empleado para la cuantificación del sulfuro de mercurio es el DRX o Difracción por Rayos X; La difracción de rayos-x es un método de alta tecnología no destructivo para el análisis de una amplia gama de materiales, incluso fluidos, metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina,

cerámicas y semiconductores. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina.

La Difracción de Rayos X está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación. Los Rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, del mismo orden que las distancias interatómicas de los componentes de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a analizar, los Rayos X se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas.

Figura 6. Difracción de rayos X



Nota. Adaptado de difracción de rayos X, por Servicios técnicos de investigación, stti (<https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/difraccion-de-rayos-x.html>)

5.6. Pruebas experimentales

5.6.1. Características técnicas principales del tubo de descarga.

Para determinar el volumen se requiere el dato de la densidad, este dato fue obtenido bibliográficamente.

Tabla 3. Características técnicas del tubo de descarga

Parámetro	Valor
Densidad tubo cerámico translucido de alúmina Al ₂ O ₃ [g/ml]	3,7
Dureza tubo cerámico translucido de alúmina Al ₂ O ₃ [escala Mohs]	9
Fuerza de fractura para el tubo cerámico translucido de alúmina Al ₂ O ₃ [MPa]	350

Nota. Adaptado de Características técnicas del tubo de descarga, alibaba (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/99-9-alumina-transparent-tube-alumina-translucent-60148224172.html>)

Dimensiones del tubo de descarga:

Longitud aproximada = 9 cm

Diámetro EXTERNO = 0.7 cm

Diámetro INTERNO = 0.5 cm

Al realizar una serie de pesadas de los tubos de descarga se obtiene que en promedio que cada tubo de descarga pesa 10 gramos.

Tabla 4. Peso de tubos de descarga

N°	Peso del tubo de descarga gr.
1	8.7
2	9.3
3	11.1
4	10.5
5	11.3
6	9.7
7	8.5
8	8.7

9	10.1
10	10.5
11	11
12	10.5
13	9.7
14	10.15
15	10.95
Promedio	10.0

Fuente. Elaboración propia

5.6.2. Lámparas en desuso disponibles para su tratamiento

Figura 7. Lámparas en desuso



Fuente. Elaboración propia

Figura 8. Lámpara de alumbrado público de 250w con un peso aproximado de 146.9 gramos.



Fuente: Elaboración propia

5.6.3. Desarmado de las lámparas.

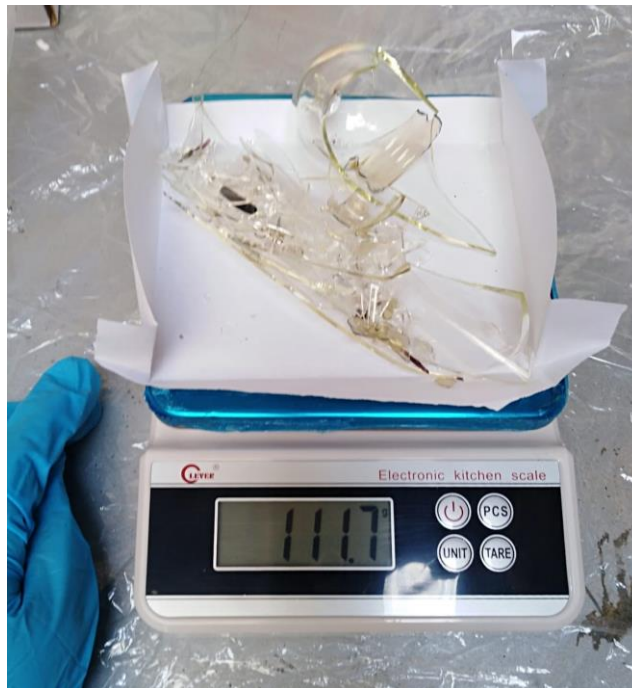
Quebrado del vidrio exterior con prensa plana

Figura 9. Quebrado del vidrio exterior con una prensa plana



Fuente. Elaboracion propia

Figura 10. Ampolla exterior de vidrio con un peso aproximado de 111.7 gramos



Fuente. Elaboración propia

Figura 11. Casquillo y material ferroso de soporte con peso aproximado 34.8 gramos



Fuente. Elaboración propia

Figura 12. Tubo de descarga con contenido de mercurio con peso aproximado de 8.7 gramos



Fuente. Elaboración propia

Figura 13. Azufre comercial



Fuente: Elaboración propia

5.6.4. Componentes de una lámpara expresada en porcentaje.

Datos aproximados de una lámpara de alumbrado público:

A partir de los datos mostrados, referimos que gracias al desensamblado de la lámpara nos permite recuperar partes que no serán expuestos al mercurio y azufre en el reactor, así liberarnos del 94% en masa de una lámpara y solo se tratara al tubo de descarga con 6% en masa de la lámpara. Siendo este procedimiento un beneficio que trae el realizar el paso previo a la trituración y exposición en el reactor.

$$m_{\text{vidrio exterior}} = 111,70 \text{ g} \quad (3)$$

$$m_{\text{casquillo y material de soporte}} = 34,80 \text{ g} \quad (4)$$

$$m_{\text{tubo de descarga}} = 8,70 \text{ g} \quad (5)$$

$$m_{\text{total aproximado}} = m_{\text{vidrio exterior}} + m_{\text{casquillo y material de soporte}} + m_{\text{tubo de descarga}} \quad (6)$$

$$m_{\text{total aproximado}} = 111,70 \text{ g} + 34,80 \text{ g} + 8,70 \text{ g} \quad (7)$$

$$m_{\text{total aproximado}} = 155,20 \text{ g} \quad (8)$$

Tabla 5. Datos de peso de cada componente de la lámpara

Peso de cada componente de la lámpara de alumbrado publico	(g)	m_i/m_t	100%
$m_{\text{vidrio exterior}}$	111,70	0,72	72%
$m_{\text{casquillo y material de soporte}}$	34,80	0,22	22%
$m_{\text{tubo de descarga}}$	8,70	0,06	6%
$m_{\text{total aproximado}}$	155,20	1	100%

5.6.5. Cuantificación del mercurio inicial.

Para la cuantificación del mercurio inicial se recurre a la hoja técnica de la lámpara, este dato nos facilita para la verificación de la cantidad de mercurio que se encuentra en cada tubo de descarga de una lámpara.

$$M_{Hg} = 23 \text{ mg} \quad (9)$$

Mercurio teórico en cada tubo de descarga aproximadamente 23 miligramos, valor que se verifica en la hoja técnica de la lámpara, mostrado en anexos.

De 5 unidades de tubos teóricos de cada experimento:

Mercurio inicial para cada experimento

$$5 \times 0,023\text{g} = 0,115\text{g} \quad (10)$$

5.6.6. Estabilización.

La estabilización se realizó en una campana de gases, utilizando un frasco con tapa Schot, para el control de la temperatura se utilizó termocupla y para proveer calor a la reacción se utilizó una hornilla.

Figura 14. Proceso de Estabilización



Fuente. Elaboración propia

5.7. Respuestas de laboratorio

Para las pruebas de laboratorios se trabajó paralelamente con el programa Design Expert 11.0, este programa de índole estadístico nos brinda un análisis Anova y Gráficas de contorno que brindarán mayor solidez en las conclusiones experimentales y a partir de dichas conclusiones podremos realizar el diseño del tanque con datos específicos.

Datos para el Diseño Experimental:

Para el diseño experimental los parámetros involucrados fueron

- Tiempo de contacto
- Temperatura
- Masa de Azufre.

Se procedió con un diseño Factorial 2^K

Figura 15. Diseño experimental - Factorial 2^k

		Number of Factors															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Runs	4	2^2	2^{3-1} III														
	8		2^3	2^{4-1} IV	2^{5-2} III	2^{6-3} III	2^{7-4} III										
	16			2^4	2^{5-1} V	2^{6-2} IV	2^{7-3} IV	2^{8-4} IV	2^{9-5} III	2^{10-6} III	2^{11-7} III	2^{12-8} III	2^{13-9} III	2^{14-10} III	2^{15-11} III		
	32				2^5	2^{6-1} VI	2^{7-2} IV	2^{8-3} IV	2^{9-4} IV	2^{10-5} IV	2^{11-6} IV	2^{12-7} IV	2^{13-8} IV	2^{14-9} IV	2^{15-10} IV	2^{16-11} IV	2^{17-12} III
	64					2^6	2^{7-1} VII	2^{8-2} V	2^{9-3} IV	2^{10-4} IV	2^{11-5} IV	2^{12-6} IV	2^{13-7} IV	2^{14-8} IV	2^{15-9} IV	2^{16-10} IV	2^{17-11} IV
	128						2^7	2^{8-1} VIII	2^{9-2} VI	2^{10-3} V	2^{11-4} V	2^{12-5} IV	2^{13-6} IV	2^{14-7} IV	2^{15-8} IV	2^{16-9} IV	2^{17-10} IV
	256							2^8	2^{9-1} IX	2^{10-2} VI	2^{11-3} VI	2^{12-4} VI	2^{13-5} V	2^{14-6} V	2^{15-7} V	2^{16-8} V	2^{17-9} V

Fuente: Elaboracion propia

Donde $K=3$ (Temperatura, tiempo y masa de azufre)

Tabla 6. Cantidad de experimentos que debe realizarse - Diseño Factorial 2k

Parámetro	Mínimo	Máximo
Tiempo [min]	15	30
Temperatura [° c]	50	100
Masa [g]	1	2

Fuente. Elaboración propia

El diseño factorial nos determina la cantidad de experimentos que deben realizarse:

$$2^k = \text{Número de corridas experimentales}$$

$$2^3 = 8 \text{ corridas experimentales}$$

Se realizaron las 8 corridas experimentales, variando tiempos, cantidad de masa de azufre y temperatura, la masa obtenida fue analizada mediante pruebas DRX, los resultados son los presentados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resultados del diseño experimental

		Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response 1
Std	Run	A: Masa Azufre	B: Temperatura	C: Tiempo	Masa de HgS
		gr	° C	min	gr
8	1	2	100	30	0.02
3	5	1	100	15	0
1	3	1	50	15	0.02
7	4	1	100	30	0
2	2	2	50	15	0.09
6	6	2	50	30	0.09
5	7	1	50	30	0.06
4	8	2	100	15	0.02

Fuente. Elaboracion propia

Donde:

$$0.09 \text{ g HgS} * \frac{200.59 \text{ g Hg}}{232.66 \text{ g HgS}} = 0.078 \text{ g Hg} \quad (11)$$

$$0.09 \text{ g HgS} * \frac{32,07 \text{ g S}}{232.66 \text{ g HgS}} = 0,012 \text{ g S} \quad (12)$$

Al tratarse de un experimento donde se usaron 5 tubos de descarga el valor de 0.078 g Hg se dividirá en cinco para indicar que en un tubo de descarga con 0.023 mg teóricos se han podido recuperar 0.015 g de mercurio por cada tubo de descarga.

Cuando se ingresan los valores obtenidos de HgS, bajo los parámetros establecidos, el programa nos brinda todo un análisis estadístico. Se obtiene un análisis Anova.

5.8. Análisis ANOVA

En la siguiente tabla se tiene los resultados del programa Design Expert 11.0, que nos indica que las variables son significantes para la formación de Hg S.

5.8.1. Respuesta: Masa de HgS

Tabla 8. Resultados del Análisis Anova

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0058	3	0.0019	14.06	0.0137	significant
A-Masa Azufre	0.0050	1	0.0050	36.36	0.0038	
B-Temperatura	0.0008	1	0.0008	5.82	0.0734	
C-Tiempo	0.0000	1	0.0000	0.0000	1.0000	
Residual	0.0005	4	0.0001			
Cor Total	0.0063	7				

Fuente: Elaboración propia utilizando el programa Design Expert 11.0.

La suma de cuadrados es Tipo III - Parcial

El valor F del modelo de 14,06 implica que el modelo es significativo. Solo existe un 1,37% de probabilidad de que un valor F tan grande se produzca debido al ruido.

Los valores de p inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso, A es un término modelo significativo. Los valores superiores a 0,1000 indican que los términos del modelo no son significativos. Si hay muchos términos de modelo insignificantes (sin contar los necesarios para admitir la jerarquía), la reducción del modelo puede mejorar su modelo.

5.8.2. Ecuación en factores actuales

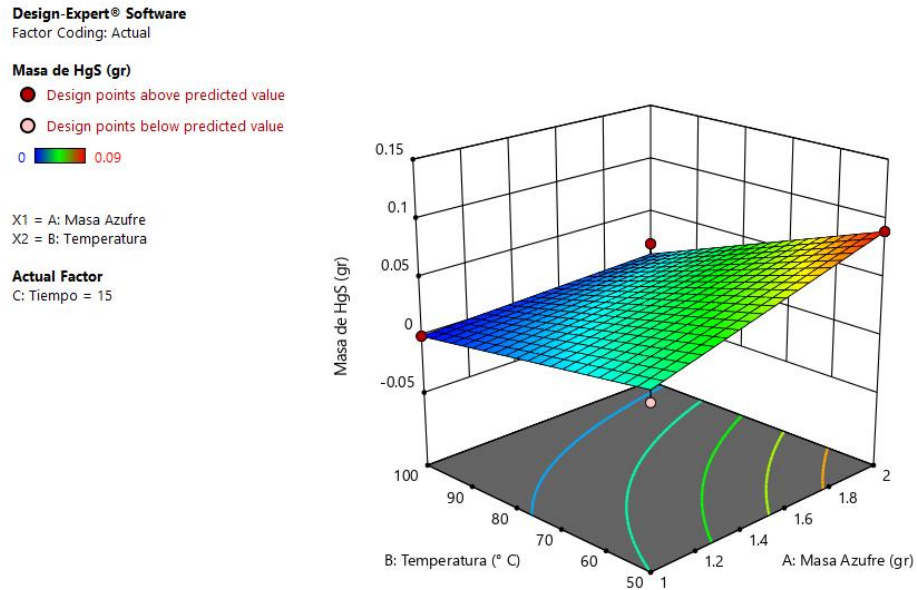
Los coeficientes de la fórmula están relacionados principalmente a la masa de azufre disponible para que ocurra la reacción y a la temperatura, en menor proporción al tiempo.

Masa de HgS	=	
-0.047500		
+10.00000		Masa Azufre
-0.000400		Temperatura
+1.79906E-18		Tiempo

5.8.3. Análisis de los parámetros significantes en la estabilización del mercurio.

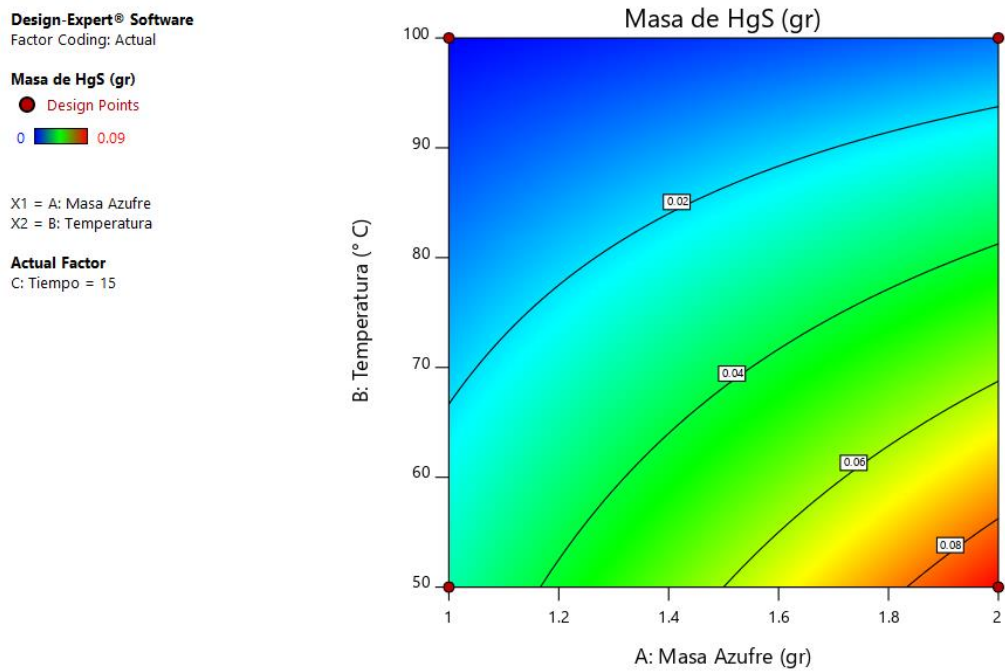
Del análisis estadístico del programa podemos concluir que los parámetros de masa de azufre, temperatura y tiempo son significantes para la reacción de estabilización del mercurio, del mismo modo entre los tres parámetros el que menos significancia tiene, es el tiempo. Las gráficas a continuación muestran que la generación máxima de estabilización de mercurio se genera tanto a los 15 minutos de reacción como a los 30 minutos por lo que por reducir el tiempo de estabilización se podría realizar el proceso con 15 minutos.

Figura 16. 3D Surface factor actual de 15 minutos



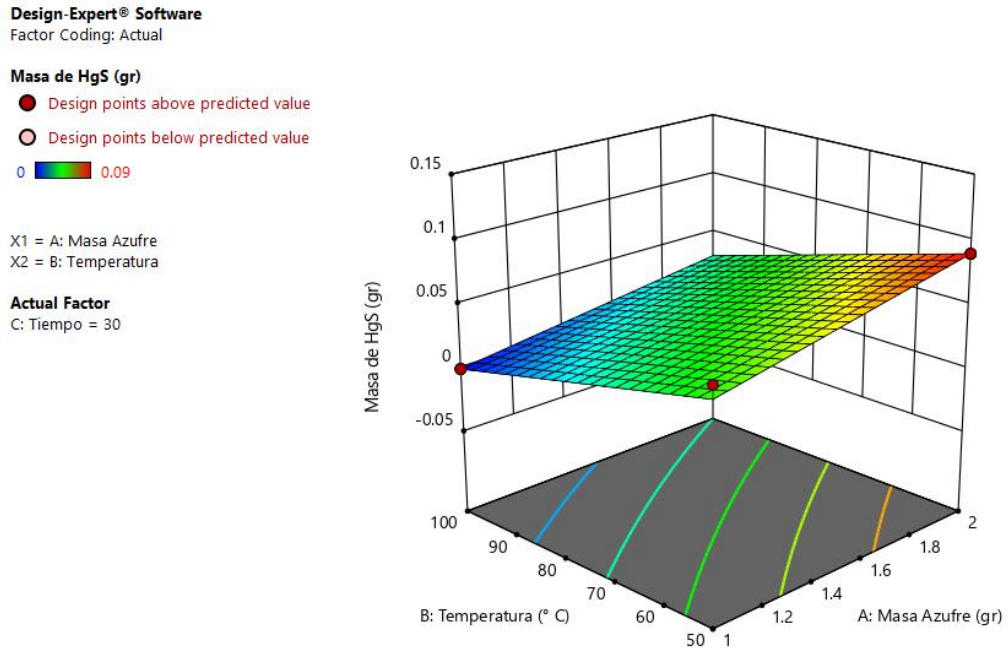
Fuente. Elaboración propia utilizando el programa Design Expert 11.0.

Figura 17. Uso de Design Expert a los 15 minutos



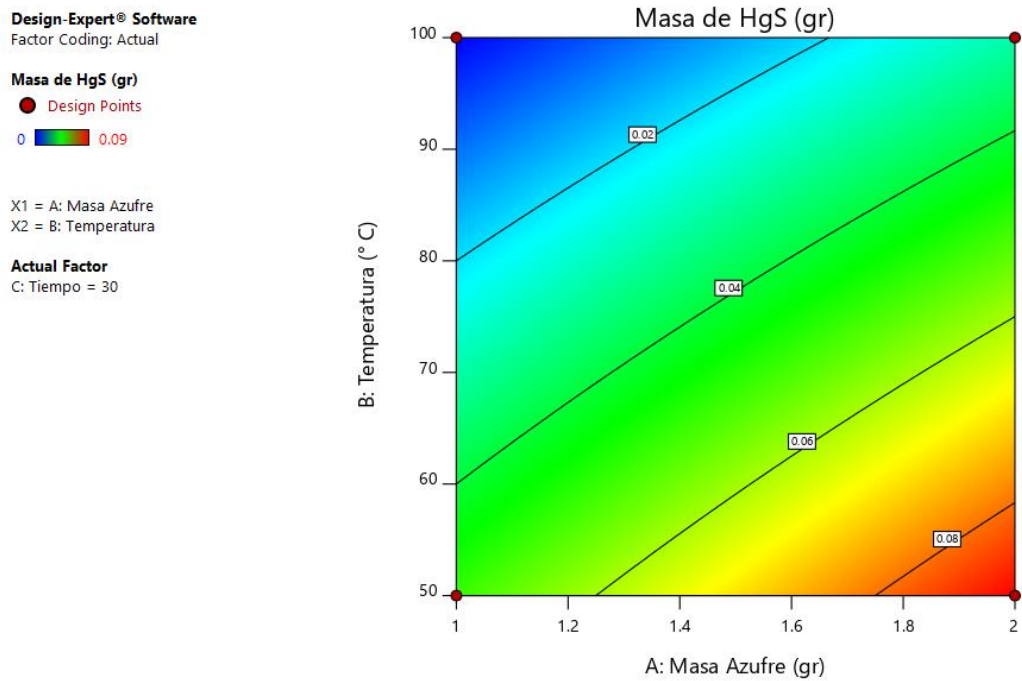
Fuente: Elaboración propia utilizando el programa Design Expert 11.0.

Figura 18. 3D Surface Factor Actual Tiempo de 30 minutos



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa Design Expert 11.0.

Figura 19. Uso de Design Expert a los 30 minutos



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa Design Expert 11.0.

5.8.4. Parámetros óptimos de laboratorio para la estabilización del mercurio

De la tabla de resultados tenemos que el rendimiento máximo de formación de sulfuro de mercurio fue en la corrida 2 y 6.

Tabla 9. Resultados de sulfuro de mercurio

N°	Masa Azufre[gr]	Temperatura ° C	Tiempo [min]	Masa de HgS[gr]
2	2	50	15	0.09
6	2	50	30	0.09

Fuente. Elaboracion propia

La masa de azufre en ambos ensayos ha sido 2 gramo de azufre, y la Temperatura de 50 °C, tanto a 15 minutos como a 30 minutos la masa final de sulfuro de mercurio es de 0,09 gramos.

Tabla 10. Parámetros óptimos en la estabilización de mercurio

Parámetros óptimos en la estabilización de mercurio		
Masa Azufre[gr]	Temperatura ° C	Tiempo [min]
2	50	15

Fuente. Elaboracion propia

5.9.Cálculo de masa de mercurio.

Para el cálculo de la masa de mercurio se utilizó la reacción del mercurio y azufre junto con balance estequiométrico.



De los resultados de DRX se obtuvo la cantidad de 0.09 gramos de HgS en 5 tubos de descarga tratados, y realizando el cálculo para cada tubo de descarga la relación sería el siguiente:

$$\frac{0.09 [g] HgS}{5 [tubos de descarga]} = 0,018[g]HgS$$

$$0,018[g]HgS * \frac{200,59 [g] Hg}{232,66[g]HgS} = 0,015[g] Hg \quad (14)$$

La cantidad de mercurio estabilizado en 10 gramos (1 tubos de descarga) es de 0,015 gramos de mercurio estabilizado.

5.10. Balance de materia para el tanque

A continuación, se procede a realizar el balance para la estabilización con los datos obtenidos en las corridas experimentales para establecer las cantidades obtenidas tratando 5 tubos de descarga, cada tubo de descarga con un peso aproximado de 10gramos:

En esta etapa complementaria requiere los cálculos del diseño de tanque agitador donde se formará la reacción entre el azufre y el contenido de mercurio de los tubos de descarga, para el dimensionamiento del tanque se requiere contar con un volumen de capacidad del tanque, previamente en los cálculos de laboratorio:

Masa para el ensayo de laboratorio.

Figura 20. Estabilización del mercurio



Fuente. Elaboración propia

donde:

$$M_1 + M_{s1} = M_{HgS} + M_{s2} + M_{Hg} + M_{INERTE} \quad (15)$$

$$M_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO} = 50 [g] = M_1$$

$$M_{HgS} = 0.09[g]$$

$$M_{s2} = 1,988[g]$$

$$M_S = 2 [g] \quad (16)$$

Se despeja la masa inicial tomando en cuenta la siguiente relación:

0,078 gramos de mercurio de los tubos de descarga.

De las corridas experimentales tenemos las siguientes relaciones:

Se requirió 2 gramos de azufre para obtener el rendimiento máximo de estabilización de mercurio y su reacción como sulfuro de mercurio, obteniéndose 0.09 g de sulfuro de mercurio del cual 0,078 g corresponde al mercurio y 0.012 g de azufre. En este caso para tratar 1 gramo de mercurio se requerirá:

$$1 g Hg * \frac{0.012 g S}{0.078 g Hg} = 0.15 g \text{ de azufre} \quad (17)$$

La relación de 1 gramo de mercurio requiere 0,15 gramos de azufre nos ayuda

Sin embargo, se debe incorporar azufre en exceso ya que se corre el riesgo de que la reacción de estabilización el mercurio no se complete, y debido a la toxicidad del mercurio este puede liberarse, por lo que para asegurar que no se corran riesgos se colocará realizará un balance con azufre en exceso, esta práctica se realiza en las plantas de estabilización ya que colocando una cantidad teórica exacta puede desencadenar en el riesgo de que se tenga mercurio no estabilizado.

5.11. Determinación del volumen del tubo de descarga

Con el dato de masa obtenido de la parte experimental y la densidad obtenida bibliográficamente se obtuvo el dato de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (18)$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{10[g]}{3,8 \left[\frac{g}{ml} \right]}$$

$$V = 2,6 [ml] = 0,0026[L] \quad (19)$$

Sin embargo, el volumen de cada tubo de descarga no representa el volumen a considerar para el reactor, se procederá a un escalamiento con datos obtenidos de las corridas experimentales, este dato será referencial en caso de requerir datos referenciales.

De las corridas experimentales tenemos las siguientes relaciones:

Se requirió 2 gramos de azufre para obtener el rendimiento máximo de estabilización de mercurio y su reacción como sulfuro de mercurio, obteniéndose 0.09 g de sulfuro de mercurio del cual 0,078 g corresponde al mercurio y 0.012 g de azufre.

Para fines del presente proyecto se busca diseñar un tanque de volumen de 20 litros, entonces:

$$V_{total} = V_{cilindro} = 20 [L]$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * (D_1)^2}{4} * H_1 = 20 [L]$$

La relación diámetro / altura del tanque:

$$1,5D=H$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * (D_1)^2}{4} * 1,5 * D_1 = 20 [L]$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi * (D_1)^3}{4} * 1,5 = 20 [L]$$

Cálculo del diámetro del tanque

$$\sqrt[3]{\frac{20000[cm^3] * 4}{1,5 * \pi}} = D_1 \quad (20)$$

$$D_1 = 24,71[cm]$$

Para fines de diseño se redondeará al número superior.

$$D_1 = 25[cm]$$

Cálculo de la altura del tanque

$$H_1 = 1,5 * D_1$$

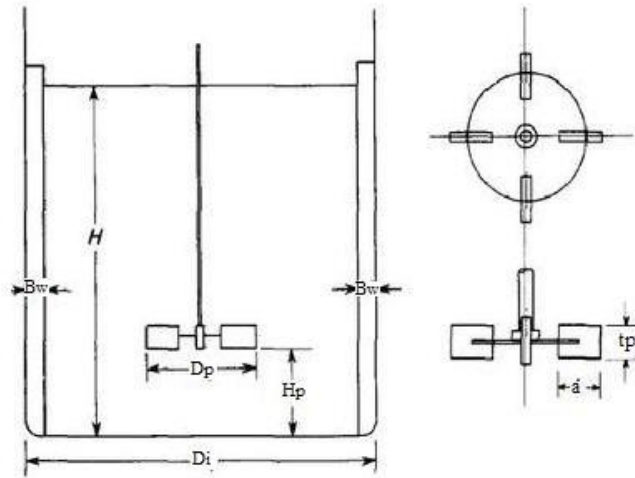
$$H_1 = 37,5[cm] \quad (21)$$

El tanque es un recipiente circular con utilizado para favorecer la reacción, bajo el concepto de reacción entre el azufre y el mercurio.

Habiendo realizado los cálculos necesarios para determinar el diámetro y altura del tanque en los anteriores puntos. Balance de materia para la etapa de formación del sulfuro de mercurio.

5.12. Cálculo de las dimensiones del agitador

Según las ecuaciones establecidas por Treybal en su libro Operaciones de transferencia de masa (1980):



$$\frac{B_w}{D_i} = \frac{1}{12} \quad \rightarrow \quad B_w = \frac{1}{12} * 25[cm] = 2[cm] \quad (22)$$

$$\frac{H_p}{D_i} = \frac{1}{3} \quad \rightarrow \quad H_p = \frac{25[cm]}{3} = 8,3[cm] \quad (23)$$

$$D_p = 0,7 * H_p \quad \rightarrow \quad D_p = 0,7 * 8,3[cm] = 5,8[cm] \quad (24)$$

$$\frac{t_p}{D_p} = \frac{1}{5} \quad \rightarrow \quad t_p = \frac{5,8[cm]}{5} = 1,16 [cm] \quad (25)$$

$$\frac{a}{D_p} = \frac{1}{4} \quad \rightarrow \quad a = \frac{5,8[cm]}{4} = 1,45 [cm] \quad (26)$$

5.13. Cálculo del diámetro del eje del agitador

Según Uribe, se considera la siguiente ecuación para determinar el diámetro del eje del agitador (2013).

$$D^3 = \frac{16}{\pi * \tau_d} * \sqrt{(k_s * T)^2 + \left(\frac{1 * F * D}{8}\right)^2} \quad (27)$$

Se utiliza el acero inoxidable recocido N° 304, norma AISI, se obtienen los siguientes valores de Budynas & Nisbett (2008), que se adjunta en Anexos.

$$\sigma_{fluencia} = 227,5 \text{ MPa} = S_y$$

$$\sigma_{ruptura} = 558,4 \text{ MPa} = S_r$$

Para calcular τ_d :

$$\tau_{d1} = 0,3 * S_y = 68,25 \text{ MPa}$$

$$\tau_{d2} = 0,18 * S_r = 100,51 \text{ MPa}$$

Eligiendo el valor menor, se tiene:

$$\tau_d = 68,25 * 0,75 = 51,19 \text{ MPa} \quad (28)$$

Por otro lado, según Uribe, los valores del coeficiente del momento flector k_s y momento torsor k_m para un agitador en sólidos (2013): $k_s = 1,5 - 2$ y $k_m = 1 - 1,5$. Se elige el valor de $k_s = 2$ para asegurar la integridad del agitador.

Estableciendo que la mezcla debe agitarse a 120 RPM,

$$\text{Torque} = T = \frac{7162000 * H_p}{RPM} = \frac{7162000 * 0,07}{120} = 4177,83 \text{ N} - \text{mm}$$

Reemplazando valores,

$$D^3 = \frac{16}{\pi * 51,19} * \sqrt{(2 * 4177,83)^2 + \left(\frac{1 * 60,7 * D}{8}\right)^2}$$

$$D = 9,4 \cong 10 \text{ mm} \quad (2916)$$

5.14. Cálculo del espesor del tanque (Uribe, 2013)

Del estudio de Uribe (2013), se obtiene la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P_i * r}{\sigma_{adm} * e - 0,6 * P_i}$$

Se establece $e = 0,7$ como coeficiente de junta de tabla por ser una soldadura tope unida con soldadura por ambos lados.

Cálculo de la presión en el tanque

$$P_0 = P_{atm} + P_H = P_{atm} + \rho * g * H$$

Sabiendo que la presión en La Paz es

$$P_{atm} = 65994.6 \text{ Pa} \quad (31)$$

$$P_0 = 65994.6 + 2500,1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,18[\text{m}]$$

$$P_0 = 70409,3 \text{ Pa} = 7,18 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \quad (32)$$

Se comparan las consideraciones de seguridad para la presión:

$$P_0 < 2,11 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \rightarrow P_i = P_0 + 2,11 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$P_0 > 2,11 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \rightarrow P_i = 1,1 * P_0$$

Como $P_0 > 2,11 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$, entonces:

$$P_i = 1,1 * P_0$$

$$P_i = 7,9 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} = 7.747e + 6 [\text{Pa}] = 7747[\text{KPa}]$$

La presión en el tanque:

$$P_i = 7747[\text{KPa}] \quad (33)$$

a) Cálculo de la tensión admisible del material y espesor del tanque

Se utiliza la tensión de fluencia establecido en acápites anteriores y se establece como coeficiente de seguridad un valor igual a 2,5.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{fluencia}}{c.s.} = \frac{227,5 * 10^6}{2,5} = 91000kPa$$

$$t = \frac{P_i * r}{\sigma_{adm} * e - 0,6 * P_i} = \frac{7747kPa * \frac{1,77m}{2} * \frac{1000mm}{1m}}{91000kPa * 0,7 - 0,6 * 7747kPa}$$

$$t = 4,65mm \quad (34)$$

b) Cálculo del espesor de la base semiesférica

Según León Estrada (2001), se reemplazan datos en la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P_i * r}{2 * \sigma_{adm} * e - 0,2 * P_i} = \frac{7747kPa * \frac{1,77m}{2} * \frac{1000mm}{1m}}{2 * 91000kPa * 0,7 - 0,2 * 7747kPa}$$

$$t = 2,32 mm \quad (35)$$

Se obtiene el promedio del espesor para el tanque y para la base semiesférica y se define que 3,48 será el espesor de todo el tanque.

5.15. Masa de mercurio estabilizado en el reactor calculado.

El reactor calculado tendría un volumen de:

$$D_1 = 25[cm]$$

$$H_1 = 37,5 \approx 40[cm]$$

$$V_{REACTOR} = \frac{\pi * (25 \text{ cm})^2}{4} * 40[\text{cm}] = 19634.95 [\text{cm}^3]$$

$$V_{REACTOR} = 19,63 [\text{L}] \approx 20[\text{L}] \quad (36)$$

Para no sobresaturar el reactor se utilizará 2/3 del volumen del reactor:

$$V_{R2/3} = \frac{2 * V_{REACTOR}}{3}$$

$$V_{R2/3} = 13.3 [\text{L}] \quad (37)$$

Figura 21. Tubos



Fuente. Nota. Adaptado de Características técnicas del tubo de descarga, alibaba (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/99-9-alumina-transparent-tube-alumina-translucent-60148224172.html>)

Radio externo

$$R = 0.35 \text{ cm}$$

Radio interno

$$r = 0.25 \text{ cm}$$

Altura

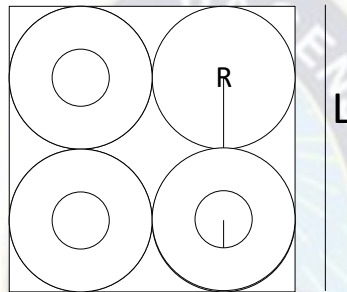
$$h = 9 \text{ cm}$$

$$V_{UNIDAD\ TUBOS\ DE\ DESCARGA} = \pi(R^2 - r^2)h$$

$$V_{UNIDAD\ TUBOS\ DE\ DESCARGA} = \pi(0.35^2 - 0.25^2)9$$

$$V_{UNIDAD\ TUBOS\ DE\ DESCARGA} = 1.69 [cm^3] \quad (38)$$

ESPACIOS VACIOS ENTRE LOS TUBOS DE DESCARGA EN EL REACTOR



$$L = 0.7 * 2 = 1.4 \text{ cm} \quad (39)$$

$$V_L = L * L * h = 1.4 * 1.4 * 9 = 17.64 \text{ cm}^3$$

$$V_{UNIDAD\ TUBOS\ DE\ DESCARGA} = 1.69 [cm^3] \quad (40)$$

$$V_{4TD} = 4 * V_{UNIDAD\ TUBOS\ DE\ DESCARGA} = 4 * 1.69$$

$$V_{4TD} = 6.76 \text{ cm}^3 \quad (41)$$

$$V_V = V_L - V_{4TD} = 17.64 - 6.76 = V_V = 10.88 [cm^3] \quad (42)$$

$$\epsilon = V_V / V_{4TD} = 10.88 [cm^3] / 6.76 [cm^3] = \epsilon = 1.6$$

$$V_{R2/3} = V_{TD} + V_V \quad , \quad V_{R2/3} = V_{TD} + \epsilon * V_{TD} \quad , \quad V_{R2/3} = V_{TD} + \epsilon * V_{TD}$$

$$V_{TD} = \frac{V_{R2/3}}{(1+\epsilon)} = \frac{13.3 [L]}{(1 + 1.6)} = 5.11 [L]$$

Transformando a masa:

$$m_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO} = 3,7 \left[\frac{g}{cm^3} \right] * 5110,00 [cm^3] \quad (43)$$

$$m_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO} = 18.907,00 [g] \quad (44)$$

Del balance de masa

$$18.907,00 [g]_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO} * \frac{0,0155 [g]_{HG}}{10 [g]_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO}} = 29,30 [g]_{HG}$$

$$18.907,00 [g]_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO} * \frac{2 [g]_S}{10 [g]_{TUBO DE DESCARGA TRITURADO}} = 3.181,00 [g]_S \quad (45)$$

5.16. Rendimiento del proceso

Para el rendimiento del proceso de acuerdo a los objetivos planteados se describen en la siguiente tabla:

Tabla 11. Rendimiento del proceso

HG teórico	HG estabilizado	Rendimiento respecto al dato teórico
0,023	0,015	65,22 %

Fuente. Elaboracion propia

Tomando como base el contenido de mercurio teórico que contiene una lámpara de alumbrado de 250 W, y el valor del mercurio estabilizado mediante la reacción con azufre se tiene un rendimiento de 65.22 %.

El 65,22 % de mercurio estabilizado en el proceso realizado deja un 34,78% de mercurio sin estabilizar al ser el mercurio un elemento toxico, es imprescindible llegar a un 100% de estabilización, según el estudio realizado por los autores Natalia Rey-Raap, Antonio Gallardo, hay una adherencia del mercurio en el vidrio que lo contiene y en las otras sustancias que se encuentran en el tubo de descarga como ser sodio, plomo, estroncio y tierras raras.

Se puede realizar tratamientos posteriores al residuo del reactor para optimizar el proceso de estabilización del mercurio. Al no obtener el cien por ciento de estabilización del mercurio por las razones mencionadas anteriormente, se establece conservar y mantener los residuos del reactor (sulfuro de mercurio, azufre, material inerte refiriéndonos al vidrio y toda sustancia que se encuentre en el tubo de descarga triturado en la que pueda ser adherido el mercurio) en un contenedor herméticamente cerrado. Esto con el fin de evitar cualquier tipo de fuga de mercurio restante que no se estabilizo.

Sin duda el proceso previo que es el desarmado de la lámpara para obtener el tubo de descarga da una gran significancia al proyecto, puesto que se libera de contaminación por mercurio a más del 94% en masa que ingresaría al reactor sin ese paso previo, así también el no recurrir a mas reactivo como es el azufre. Y sin duda este procedimiento previo libera y da espacio a los lugares de almacenamiento temporal de los municipios. Por tanto, no se desmerece el porcentaje obtenido.

Capítulo VI

6. Costos.

De acuerdo al alcance del presente proyecto se establecen los costos asociados a la estabilización del mercurio, se toma en cuenta el tratamiento de 50 unidades de lámparas en desuso.

Resultados del diseño de experimento se estableció que se requieren 2 gr de azufre para el tratamiento de cinco tubos de descarga.

Con dichas consideraciones se han determinado los siguientes costos. En la tabla 11. Mencionamos equipo, material y herramientas que se han dispuesto a comprar para el experimento.

Tabla 12. Costo por tratamiento

Item	Marca	Cantidad	Precio (bs)	Precio tratamiento [bs]
Azufre	Labkem	500 gr	350,00	70,00
Pruebas de laboratorio	IGEMA	1	250,00	250,00
Frascos de laboratorio	....	2	180,00	360,00
Frascos de muestreo	....	12	7,50	90,00
Energía eléctrica	de lapaz	kw/hr	0,63	11,00
Balanza electronica	Lever	0,01-2000 gr	370,00	370,00
Mascara full face	3M	1	650,00	650,00
Filtro para vapor de mercurio	3M	1	450,00	450,00
Accesorios de seguridad	....	12 pares	230,00	230,00
			total bs	2.481,00

Fuente. Elaboración propia

La lista que se observa en la tabla 12. Menciona a los equipos y material que se dispuso del laboratorio y taller de la empresa Letronic.

Tabla 13. Costo por tratamiento, equipo y material

Item	Marca	Cantidad	Precio (bs)	Precio tratamiento [bs]
INFRARED THERMOMETER	3M	1	3.000,00	3.000,00
TERMOCUPLA	TERMOKEW	1	350,00	350,00
PRESA PLANA	DAROS TOOLS INDUSTRIAL		330,00	330,00
ALICATE	TRAMONTINA		75,00	75,00
ALICATE DE CORTE	TRAMONTINA		75,00	75,00
VENTILADOR AXIAL	MAERS SPAIN		380,00	380,00
TOTAL BS				4.210,00

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 13 realizamos una lista de materiales que no fue necesario realizar la compra puesto que son materiales con las que cuenta la empresa.

Capítulo VII

7. Conclusiones.

- Para el estudio básico de disposición de las lámparas de alumbrado público con contenido de mercurio, se validó el método propuesto en el presente Proyecto de las investigaciones de estabilidad de mercurio de los autores M. FUHRMANN, D. MELAMED, ZIMMERMANN, A.R. Kadama, Govind B. Nairb y S.J. Dhoble, el método Bartrec modificado y utilizado a nivel laboratorio, fue reproducible y se efectuó la estabilización del mercurio contenido en el tubo de descarga de lámparas de alumbrado público, con lo que se valida el método seleccionado para la estabilización.
- El uso del programa Design expert 11.0, y la utilización del diseño factorial 2K, establece un número de corridas razonable y específico para la determinación de los valores de los parámetros óptimos en el proceso de estabilización y que para determinar los parámetros de operación óptimos se requieren 8 corridas experimentales, mismas que fueron realizadas de acuerdo a la propuesta del programa. Los parámetros óptimos para la estabilización de mercurio con azufre comercial han establecido el uso de 2 gramos de azufre, 15 minutos de estabilización a una temperatura de 50 grados centígrados para el tratamiento de cinco tubos de descarga de lámparas.
- Para la cuantificación del mercurio inicial se recurre a la hoja técnica de la lámpara, la hoja de datos de la lámpara nos facilita para concluir la cantidad de mercurio que se encuentra en el tubo de descarga, sin recurrir a los análisis analíticos para su determinación.
- Se trabajó con cinco tubos de descarga que teóricamente contienen 0,115g de mercurio inicial y dos gramos de azufre que previamente se hicieron pruebas para obtener mayor superficie de contacto entre el azufre y los tubos de descarga. Con estos datos se realizó el dimensionamiento del reactor con un volumen de 20 litros.
- El rendimiento por cada tubo de descarga estabilizado es de aproximadamente un 65%. Asumiendo y corroborando a los autores consultados que el resto del mercurio se encuentra en el vidrio que lo encapsula.
- Se trabajó en los ambientes de la empresa Letronic, y se usó instrumentos y herramientas disponibles del lugar así aminorando los costos del proyecto, así también se realizó un presupuesto de equipos, material, herramientas y reactivos con las que requería para la

realización del experimento, llegando a costar bs 6.691,00 aproximadamente para todo el proceso.

8. Recomendaciones

- La toxicidad del mercurio, hace que la estabilización deba realizarse en medios controlados, para la estabilización en laboratorio es importante contar con recipientes herméticos que minimicen la dispersión del mercurio a la temperatura de 50 °C.
- El presente Proyecto puede ser complementado con la incorporación del mercurio estabilizado en morteros con cemento.
- Tanto el vidrio exterior como el material ferroso se encuentran libre de mercurio, entraría al proceso de reciclaje.
- El método estudiado en el presente Proyecto Método Batrec modificado, puede ser optimizado, incorporando filtros en el reactor.
- Se recomienda no disminuir la cantidad de azufre ya que tener azufre en exceso asegura que el mercurio reaccione casi a totalidad.

9. Bibliografía

- José Antonio Ordaz Sanz, M. d. (2000). *Métodos estadísticos y econométricos*. Sevilla: Olavide.
- uribe, c. (2013). diseño y cálculo de un agitador de fluidos.
- sitting, m. (1976) "*toxic metals. pollution control and worker protection*" noyes data corporation. (204-276)
- skoog, d. a., west, d. m. and holler, f. j. (1995) química analítica. traducción: ramírez, m. c. y hidalgo, m. c., mc graw hill/interamericana de México, s. a. de c. v. (11-95 y 305-379)
- sloss, l. l. (1998), "mercury emissions and control from coal-fired power stations in countries outside united states of America", iea coal research. London, u.k., science experts workshop on mercury. (1-24)
- Fuhrman, m, melamed, d, kalb, p.d., adams, j.w. & milian, l.w. (2002), sulfur polymer solidification/stabilization of elemental mercury waste. waste management, v., 22, 327-333
- minae (1998a). decreto n° 27000-minae. (1998). reglamento sobre las características y el listado de los desechos peligrosos industriales. la gaceta n° 124.

- Ming, j., loa, t., walsh, t. & lamb t. (2004). stabilization of high mercury contaminated brine purification sludge. journal of hazardous materials, b113, 157-164.
- USEPA. Method 1311. (1991). Toxicity Characteristic Leaching Procedure. Code of Federal Regulations, 40 CFR parts 261, Appendix II.
- Zhang, J. & Bishop P. (2002). Stabilization/solidification (S/S) of mercury-containing wastes using reactivated carbon and Portland cement. Journal of Hazardous Materials, B92, 199-212
- Hazardous waste management system; Modification of the hazardous waste program; Hazardous waste lamps; Final Rule. US EPA, 1999.
- Lámparas de descarga como residuo industrial y urbano. Legislación. Procedimientos posibles de actuación. Garcia Ruiz, Juan Antonio (U.P.C), Moreno, Jordi Coves (U.P.C), Certain, Frederic (MOSECA), 1993.
- Lighting waste, hazardous waste, Compliance Bulletin. Colorado Department and Public Health and Environment, 2002.
- National Mercury- Lamp recycling rate and availability of lamp recycling services in the U.S. Association of lightning and mercury recyclers, 2004.
- Tecnologías de tratamiento de sólidos. Los residuos en el contexto de la luminotecnía. Ing. Químico. R. Iribarne. 2002 www.dsostenible.com.ar
- Perspectivas sobre la extracción de mercurio de las lámparas fluorescentes, AR Kadama, Govind B. Nairb, SJ Dhoblea.
- Comparación orientada al reciclaje de la distribución de mercurio en lámparas fluorescentes nuevas y usadas y su riesgo potencial, Julia Hobohma ,
- Mejora del entorno laboral en el sector del reciclaje de lámparas fluorescentes mediante la optimización de la eliminación de mercurio, Marie-Therese Lecler ,François Zimmerman, Eric Silvent, alain maso, Alain Chollo.
- Determinación de la distribución de mercurio dentro de lámparas fluorescentes compactas gastadas por espectrometría de absorción atómica, Natalia Rey-Raap, Antonio Gallardo.

Capítulo VIII

8. Anexos.

Anexo 1

Matriz de impactos ambientales por residuos de mercurio.

La matriz fue diseñada en función a las actividades una vez que la vida útil de la lámpara ha culminado y se debe realizar la disposición del residuo:

Tabla 24. Matriz de impacto ambiental por residuos de mercurio

proceso/ operación	actividad	aspecto ambiental	impacto ambiental	normal condición	condición anormal	condición emergencia	probabilidad	gravedad	valoración del	clasificación
residuos de lámparas	residuo de lámparas sin rotura	generación de residuos sólidos	acumulación de desechos	x			3	3	9	significativo con plan de acción a mediano plazo
	residuo de lámparas por rotura en el lugar de acopio	generación de vapor de mercurio	contaminación atmosférica	x			4	4	16	significativo con plan de acción a corto plazo
	residuo de lámparas por rotura durante el uso	generación de vapor de mercurio	contaminación atmosférica	x			2	4	8	significativo con plan de acción a corto plazo

Fuente. Elaboración propia

Cuantificación de probabilidad y gravedad

Para poder evaluar la significancia del impacto ambiental es necesario cuantificar los factores de probabilidad y gravedad para ello se elaboró un diagrama de ambos factores:

Tabla 15. Factores de probabilidad y gravedad

Probabilidad		Gravedad	
Constante	4	Insignificante	1
Seguido	3	Baja	2
Casi nunca	2	Media	3
Nunca	1	Alta	4

Fuente. Elaboracion propia

Tabla 36. Diagrama de probabilidad y gravedad

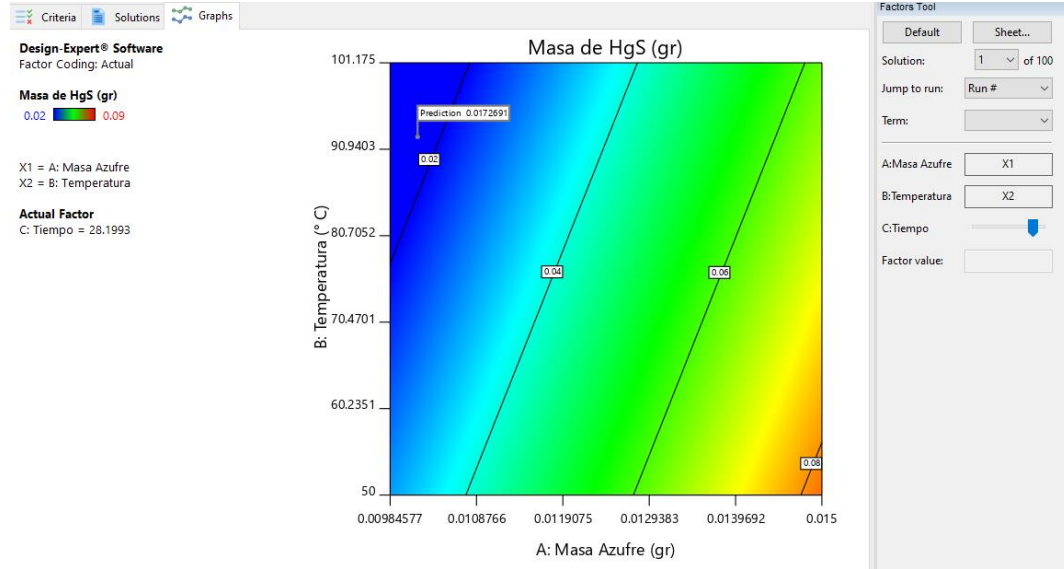
		G R A V E D A D			
		1	2	3	4
P R O B A B I L I D A D	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4

	No significativo con acciones de mejora
	Significativo con acción a mediano plazo
	Significativo con acción a corto plazo

Anexo 2

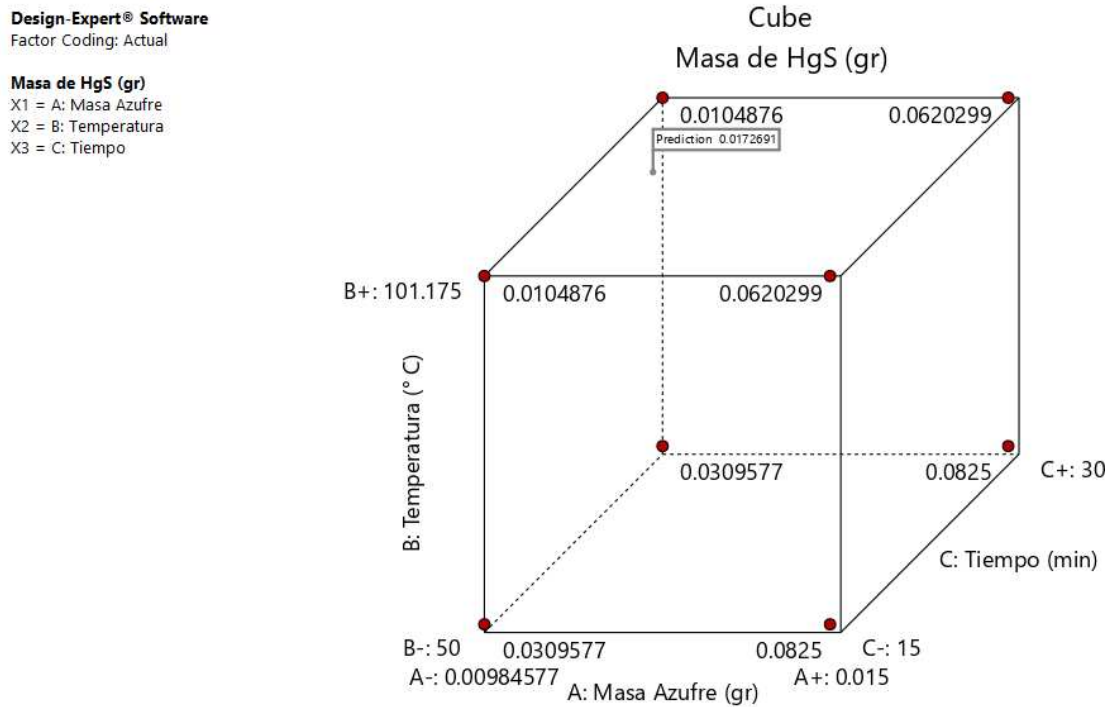
GRAFICAS Y TABLAS OBTENIDAS DE LA SIMULACION DESIGN EXPERT

Figura 22. Gráfica obtenida con el programa Design Expert 11.0.- Masa de azufre y Temperatura



Fuente. Elaboracion propia

Figura 23. Gráfica obtenida con el programa Design Expert 11.0.- Masa de azufre, Temperatura y Tiempo



Fuente. Elaboracion propia

Factores

Factor	Name	Units	Type	Minimum	Maximum	Coded Low	Coded High	Mean	Std. Dev.
A	Masa Azufre	gr	Numeric	0.0100	0.0150	-1 ↔ 0.01	+1 ↔ 0.01	0.0125	0.0027
B	Temperatura	° C	Numeric	50.00	100.00	-1 ↔ 50.00	+1 ↔ 100.00	75.00	26.73
C	Tiempo	min	Numeric	15.00	30.00	-1 ↔ 15.00	+1 ↔ 30.00	22.50	8.02

Build Information

File Version	11.1.2.0		
Study Type	Factorial	Subtype	Randomized
Design Type	2 Level Factorial	Runs	8
Design Model	3FI	Blocks	No Blocks
Center Points	0	Build Time (ms)	1.0000

Anexo 3

FICHAS TECNICA DEL MATERIAL PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

Tabla 47. Ficha técnica del acero inoxidable

tabla de características técnicas del acero inoxidable		serie 300		
		acero al cromo - níquel	acero al cromo - níquel - molibdeno	
designación	tipo aisi	304	316	
	composición química	c ≤ 0.08%* si ≤ 1.00% mn ≤ 2.00% cr 18% - 20%* ni 8% - 10,5%*	c ≤ 0.08%* si ≤ 1.00% mn ≤ 2.00% cr 16% - 18%* ni 10% - 14%* mo 2% - 2.5%*	
propiedades físicas	peso específico a 20 c (densidad)	(g/cm ³)	7.9	7.95 - 7.98
	módulo de elasticidad	(n/m ²)	193,000	193,000
	estructura		austenítico	austenítico
	calor específico a 20 c	(j/kg k)	500	500
	conductividad térmica a 20 c/ 100 c	(w/m k)	15 / 16	15 / 16
	coeficiente de dilatación a 100 c	(x 10 ⁶ c ⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5
	intervalo de fusión	(c)	13981454	13711398
propiedades eléctricas	permeabilidad eléctrica en estado soluble recocido		amagnético 1.008	amagnético 1.008
	capacidad de resistencia eléctrica a 20 c	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74
propiedades mecánicas a 20c	dureza brinell recocido hrb/con deformación en frío		130150 / 180330	130185 / -
	dureza rockwell recocido hrb/ con deformación en frío		7088 / 1035	7085 / -
	resistencia a la tracción recocido / deformación en frío	rm (n/m ²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	elasticidad recocido / con deformación en frío	rp (n/m ²)	210 / 230	205410 / -

	elongación (a ₅) min		(%)	≥ 45	
	resiliencia kcu _l / kv _l		(j/cm ²)	160 / 180	160 / 180
propiedades mecánicas en caliente	elasticidad	rp(0 . 2) a 300 c/400 c/ 500 c	(n/m ²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		rp(1) a 300 c/400 c/ 500 c	(n/m ²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	límite de fluencia a 500 c/600 c/ 700 c/800 c		σ _{1/10} ⁵ /t (n/m ²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5
tratamient. térmicos	recocido completo recocido industrial		(oc)	enfr. rápido 10081120	enfr. rápido 10081120
	templado			no es posible	no es posible
	intervalo de forja inicial / final		(c)	1200 / 925	1200 / 925
	formación de cascarilla, servicio continuo / servicio intermitente			925 / 840	925 / 840
otras propiedades	soldabilidad			muy buena	muy buena
	maquinabilidad comparado con un acero bessemer para a. b1112			45%	45%
	embutición			muy buena	buena
* son aceptables tolerancias de un 1%					

Nota. Adaptado de la ficha técnica del acero inoxidable, Cabone Stainless Steel, scribd (<https://es.scribd.com/document/375779997/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable-pdf#>)

Propiedades del acero inoxidable aisi 304

Aplicaciones

Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para arquitectura, industria automotriz y para la fabricación de utensilios domésticos. Además es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de alimentación y para la industria química de producción del nitrógeno.

Características del acero aisi 304

Acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templeable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.) Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.

Resistencia a la corrosión

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0 gr/m²-hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m²-hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.

Figura 24. diagramas donde se observan las pérdidas de peso, tratadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura.

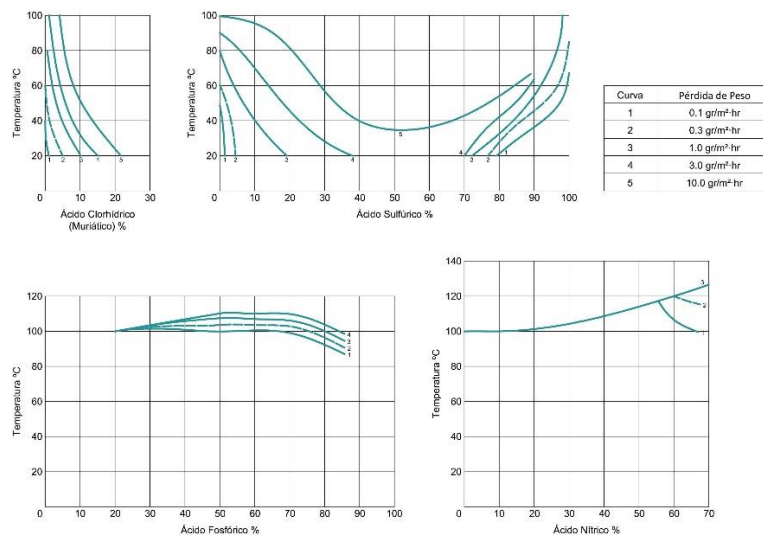


Figura 25. Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas

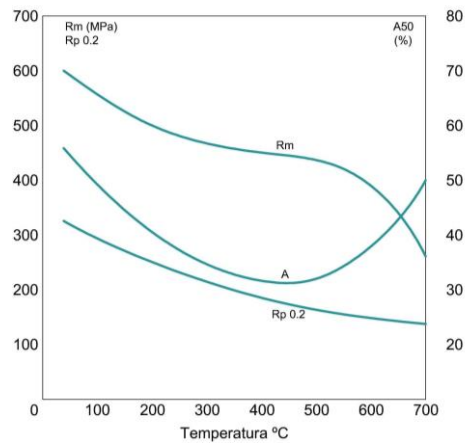
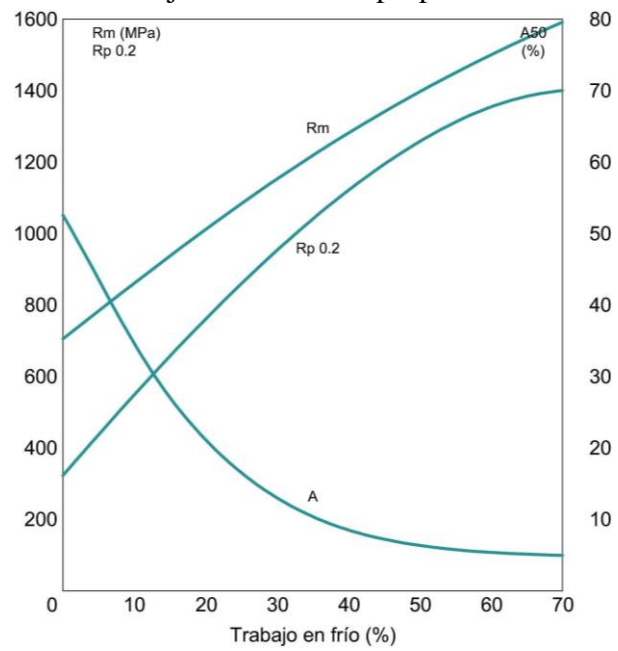


Figura 26. Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas



Propiedades del acero inoxidable aisi 316

Aplicaciones

Acero resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300°C bajo condiciones de operación continua. Con la adición de molibdeno se le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidables y corrosión por picado. El acero AISI 316 es utilizado en piezas y elementos de la industria de la celulosa, textiles, seda artificial, equipos para el desarrollo de fotografía, ejes de hélices, acoples. Usualmente utilizado en industria química y farmacéutica. Ideal para ser usado en piezas y elementos expuestos a la corrosión localizada originada por el ácido sulfuroso, baños de pinturas con ácido sulfúrico, baños clorados, etc.

características del acero aisi 316

El acero AISI 316 corresponde a un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas que los de la familia 304, debido principalmente a que se disminuye de forma importante la susceptibilidad a la corrosión por picado, dado que la capa pasiva formada es mucho más resistente.

Presenta una muy buena resistencia a la oxidación en condiciones intermitentes a temperaturas no superiores a 870 °C y en continuo a 930 °C. No se recomienda el uso de este acero en temperaturas que oscilen en el rango 420/860 °C, pero en valores por debajo y por encima de estos, su comportamiento es bueno, esto principalmente debido a la posibilidad de precipitaciones de carburos de cromo en los bordes de grano, lo que lo vuelve sensible y por ende su resistencia a la corrosión se ve drásticamente comprometida. Este acero no puede ser endurecido mediante templado. Presenta buenas condiciones de soldabilidad y se recomienda que en las secciones soldadas se realice recocido posterior con el objetivo de obtener la más alta resistencia a la corrosión

Resistencia a la corrosión

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0 gr/m²·hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m²·hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.

Figura 27. diagramas donde se observan las pérdidas de peso, tratadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura

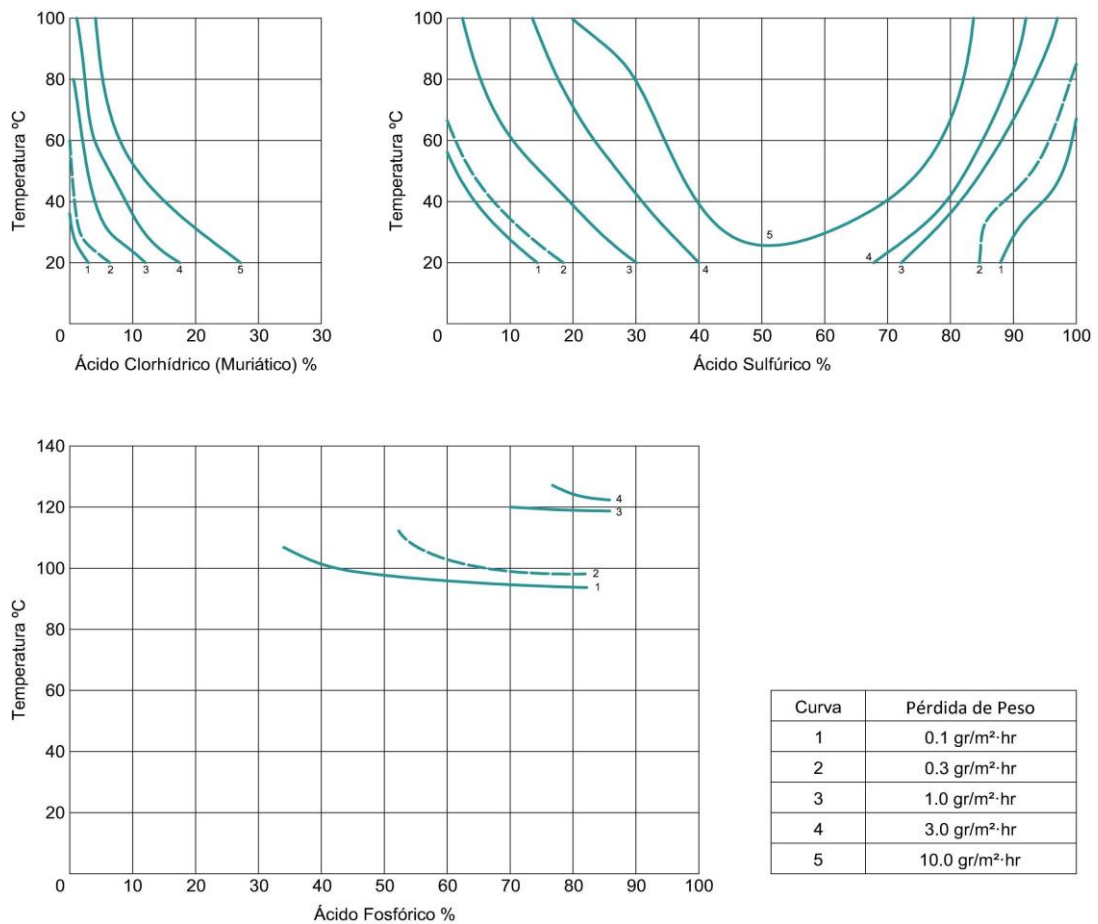


Figura 28. Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas

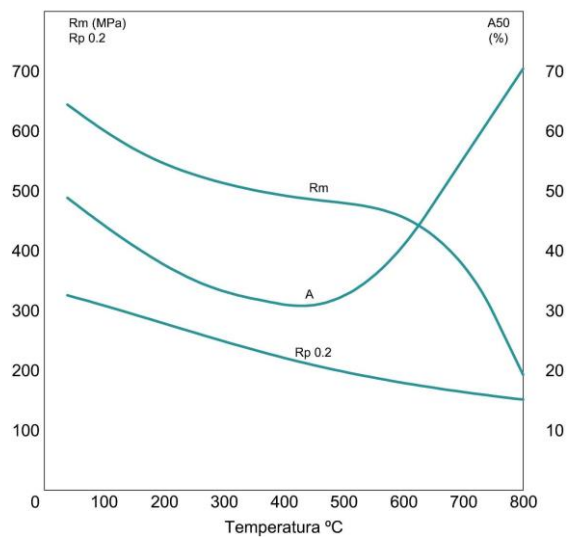
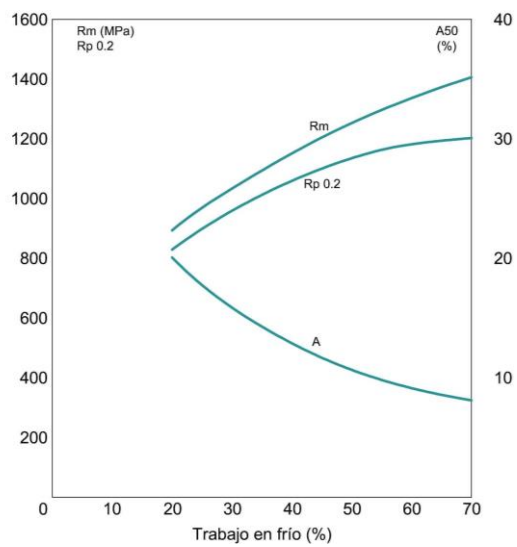


Figura 29. Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas



Recomendaciones para trabajar acero aisi 304 y 316

Tratamiento térmico

Tabla 58. Tratamiento termico

Trabajo en caliente (°C)	Enfriamiento	Tratamiento térmico (°C)	Enfriamiento	Estructura
1150 – 850	Aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado	Austenítica con un contenido menor de ferrita

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía.

Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales

Taladro con broca HSS

Tabla 69. Taladro con broca HSS

Díámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min	200	200	200
Avance (f) mm/r	0.01	0.12	0.15

Torneado

Tabla 20. Torneado con metal duro

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min	170 – 145	160 – 210	25 – 45
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.4	0.1 – 0.2	0.1 – 0.5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 – 4	0.5 – 1	0.5 -3
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10	-

Fresado con metal duro

Tabla 71. Fresado con metal duro

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado fino
Velocidad de corte (vc) m/min	60 – 120	100 – 155
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.3	0.2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0.6
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10

FICHA TECNICA DEL AZUFRE

Tabla 82.Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia/mezcla y de la empresa/empresa	
1.1. Identificador de Producto	
Forma del producto :	Sustancia
Nombre comercial :	Azufre en polvo AGR
Nombre químico :	azufre
EC Index-No. :	016-094-00-1
EC-No. :	231-722-6
No CAS. :	7704-34-9
Número de registro REACH:	01-2119487295-27
Código de producto :	SUPW-00A
Fórmula	S
1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o mezcla y usos desaconsejados	
1.2.1. Usos relevantes identificados	
Categoría de uso principal :	Uso en laboratorio
1.2.2. Usos desaconsejados	
No hay información adicional disponible	
1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad	
labbox labware s.l.	
Joan Peiró i Belis, 2	
CORREOS. Palco Barcelona (ESPAÑA)	
08339 Vilasar de Dalt - ES	
T +34 937 07 79 70 - F +34 937 909 532	
info@labbox.com - www.labbox.com	
1.4. número telefónico de emergencia	
Número de emergencias	+34 937 077 970 (Para información técnica_Horario de Oficina) Teléfono en caso de emergencia médica 112 (ESPAÑA) o al número de emergencias de tu localidad


SECCIÓN 2: Identificación de peligros		
2.1. clasificación de la sustancia o mezcla		
Clasificación según Reglamento (CE) No. 1272/2008 [CLP]	Sustancia	
Corrosión o irritación cutáneas, Categoría 2	H315	
Texto completo de las declaraciones H:	consulte la sección 16	
Efectos fisicoquímicos, para la salud humana y ambientales adversos		
No hay información adicional disponible		
2.2. Elementos de la etiqueta		
Etiquetado según el Reglamento (EC) n.º 1272/2008 [CLP]		
Pictogramas de peligro (CLP)		
Palabra de advertencia (CLP)	Advertencia	
Indicaciones de peligro (CLP) :	H315 - Provoca irritación cutánea.	
Consejos de prudencia (CLP) :	P332+P313 - Si se produce irritación de la piel: Consultar a un médico. P362+P364 - Quitarse la ropa contaminada y lavarla antes de volver a usarla.	
2.3. Otros peligros		
No hay información adicional disponible		
SECCIÓN 3: Composición/información sobre los ingredientes		
3.1. Sustancias		
Nombre	Identificador del producto	%
polvo de azufre	(CAS-No.) 7704-34-9 (EC-No.) 231-722-6 (EC Index-No.) 016-094-00-1 (REACH-no) 01-2119487295-27	>= 99,85
3.2. Mezclas		
No aplica		

Figura 30.a)-Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

labkem **Azufre en polvo AGR**
Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830
Fecha de emisión: 16/01/2013 Fecha de revisión: 24/04/2018 Reemplaza la ficha: 02/09/2016 Versión: 2.1

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1. Identificador del producto

Forma del producto	: Sustancia
Nombre comercial	: Azufre en polvo AGR
Nombre químico	: azufre
N° Índice	: 016-094-00-1
N° CE	: 231-722-6
N° CAS	: 7704-34-9
Número de registro REACH	: 01-2119487295-27
Código de producto	: SUPW-00A
Fórmula química	: S

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

1.2.1. Usos pertinentes identificados

Categoría de uso principal	: Uso en laboratorio
----------------------------	----------------------

1.2.2. Usos desaconsejados

No se dispone de más información

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

labbox labware s.l.
Joan Peiró i Belis, 2
Apartado Barcelona (SPAIN)
08339 Vilassar de Dalt - ES
T +34 937 07 79 70 - F +34 937 909 532
info@labbox.com - www.labbox.com

1.4. Teléfono de emergencia

Número de emergencia	: +34 937 077 970 (For technical information_Office Hours) In case of medical emergency phone 112 (SPAIN) or to your local emergency number.
----------------------	--

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]

Iritación o corrosión cutáneas, Categoría 2 H315

Texto completo de las frases H: véase la Sección 16


Efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y el medio ambiente

No se dispone de más información

2.2. Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) N° 1272/2008 [CLP]

Pictogramas de peligro (CLP) :



GHS07

Palabra de advertencia (CLP)	: Atención
Indicaciones de peligro (CLP)	: H315 - Provoca irritación cutánea.
Consejos de prudencia (CLP)	: P332+P313 - En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico. P362+P364 - Quitar las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas.

2.3. Otros peligros

No se dispone de más información

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1. Sustancias

Figura 31.b) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

Nombre	Identificador del producto	%
Azufre en polvo	(N° CAS) 7704-34-9 (N° CE) 231-722-6 (N° Índice) 016-034-00-1 (REACH-no) 01-2119487295-27	>= 99,85

Texto de las frases H: véase la sección 16.

3.2. Mezclas

No aplicable

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Medidas de primeros auxilios general	: Consultar a un médico en caso de malestar.
Medidas de primeros auxilios en caso de inhalación	: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Si se presentan síntomas: salir al aire libre y ventilar el área sospechosa. Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. En caso de malestar, consultar a un médico.
Medidas de primeros auxilios en caso de contacto con la piel	: Lavar las prendas contaminadas antes de volver a usarlas. Lavar con abundante agua/.... En caso de irritación o erupción cutánea: Consultar a un médico.
Medidas de primeros auxilios en caso de contacto con los ojos	: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Enjuagar inmediatamente con agua abundante. Consultar a un oftalmólogo.
Medidas de primeros auxilios en caso de ingestión	: Enjuagarse la boca. No provocar el vómito. Acudir urgentemente al médico.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Síntomas/efectos después de contacto con la piel : Provoca irritación cutánea.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente.

No se dispone de más información

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados	: Agua pulverizada. Espuma. Polvo seco. Dióxido de carbono. Arena.
Medios de extinción no apropiados	: Chorro de agua directo.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No se dispone de más información

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Protección durante la extinción de incendios : No intervenir sin equipo de protección adecuado.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Medidas generales : Evitar la formación de polvo.

6.1.1. Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

Medidas contra el polvo : No respirar los polvos.

6.1.2. Para el personal de emergencia

Equipo de protección : Aparato de protección respiratoria. No intervenir sin equipo de protección adecuado.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Evitar su liberación al medio ambiente. Evitar la penetración en alcantarillas y aguas potables.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Para retención	: Recoger el vertido.
Procedimientos de limpieza	: Cantidades importantes: depositar las sustancias sólidas en recipientes con tapa. Este producto y su recipiente deben eliminarse de manera segura, de acuerdo con la legislación local. Absorber el vertido para que no dañe otros materiales. Si está en el suelo, bárralo o échelo con una pala en recipientes apropiados. Recoger el vertido.

6.4. Referencia a otras secciones

No se dispone de más información

Nota. Adaptado de Safety data sheet Sulfur poder AGR, por labkem, 2013, labbox (www.labbox.com)

Figura 32.c) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Medidas de higiene : No comer, beber ni fumar durante su utilización. Lavarse las manos después de cualquier manipulación.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Productos incompatibles : Ácidos fuertes. Bases fuertes.
 Materiales incompatibles : Fuentes de calor. Fuentes de ignición. Luz directa del sol.
 Lugar de almacenamiento : Consérvese en un lugar seco. Consérvese en un lugar fresco y bien ventilado. Etiquetado.
 Normativa particular en cuanto al envase : Conservar únicamente en el recipiente original. Almacenar en un recipiente cerrado.

7.3. Usos específicos finales

Productos químicos de laboratorio.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1. Parámetros de control

Azufre en polvo AGR (7704-34-9)

Gibraltar	Anotación	OK FDS Proveedor
-----------	-----------	------------------

8.2. Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados:

El puesto de trabajo ha de estar bien ventilado.

Protección de las manos:

guantes de protección

Protección ocular:

Gafas bien ajustadas

Protección de la piel y del cuerpo:

Llevar ropa de protección adecuada

Protección de las vías respiratorias:

Llevar una máscara adecuada

Otros datos:

La presente ficha de datos de seguridad se corresponde con las condiciones específicas que justificaron el registro de la sustancia de conformidad con los artículos 17 o 18 del reglamento REACH. No comer, beber ni fumar durante la utilización. Lavarse las manos con agua como medida de precaución.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Forma/estado : Sólido
 Color : Amarillo.
 Olor : característico.
 Umbral olfativo : No hay datos disponibles
 pH : No hay datos disponibles
 Grado de evaporación (acetato de butilo=1) : No hay datos disponibles
 Punto de fusión : 113 - 119 °C
 Punto de solidificación : No hay datos disponibles
 Punto de ebullición : 444 °C
 Punto de inflamación : 168 - 207 °C
 Temperatura de autoignición : 235 °C
 Temperatura de descomposición : No hay datos disponibles
 Inflamabilidad (sólido, gas) : No hay datos disponibles
 Presión de vapor : No hay datos disponibles
 Densidad relativa de vapor a 20 °C : No hay datos disponibles
 Densidad relativa : 1,8 - 2,36
 Solubilidad : No hay datos disponibles
 Log Pow : No hay datos disponibles

Figura 33.Figura 34.d) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

Viscosidad, cinemática	: No hay datos disponibles
Viscosidad, dinámica	: 17 mPa.s
Propiedades explosivas	: No hay datos disponibles
Propiedad de provocar incendios	: No hay datos disponibles
Límite inferior de explosividad (LIE)	: 1 vol %
Límite superior de explosividad (LSE)	: 40 vol %

9.2. Otros datos

No se dispone de más información

SECCION 10: Estabilidad y reactividad

10.1. Reactividad

No se dispone de más información

10.2. Estabilidad química

Estable en condiciones normales.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

No se dispone de más información

10.4. Condiciones que deben evitarse

No se dispone de más información

10.5. Materiales incompatibles

No se dispone de más información

10.6. Productos de descomposición peligrosos

No se dispone de más información

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda (oral)	: No clasificado
Toxicidad aguda (cutánea)	: No clasificado
Toxicidad aguda (inhalación)	: No clasificado

Azufre en polvo AGR (7704-34-9)	
DL50 oral rata	> 5000 mg/kg
DL50 cutáneo conejo	> 2000 mg/kg
CL50 inhalación rata (mg/l)	> 9230 mg/l/4 h

Corrosión o irritación cutáneas	: Provoca irritación cutánea.
Lesiones oculares graves o irritación ocular	: No clasificado
Sensibilización respiratoria o cutánea	: No clasificado
Mutagenicidad en células germinales	: No clasificado
Carcinogenicidad	: No clasificado
Toxicidad para la reproducción	: No clasificado
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición única	: No clasificado
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición repetida	: No clasificado
Peligro por aspiración	: No clasificado

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1. Toxicidad

Toxicidad acuática aguda	: No clasificado
Toxicidad acuática crónica	: No clasificado

Azufre en polvo AGR (7704-34-9)	
CL50 peces 1	866 mg/l

12.2. Persistencia y degradabilidad

No se dispone de más información

Nota. Adaptado de Safety data sheet Sulfur poder AGR, por labkem, 2013, labbox (www.labbox.com)

Figura 34.e) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

12.3. Potencial de bioacumulación

No se dispone de más información

12.4. Movilidad en el suelo

No se dispone de más información

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

No se dispone de más información

12.6. Otros efectos adversos

No se dispone de más información

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

Legislación regional (residuos) : Eliminar de acuerdo con las prescripciones legales.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

Según los requisitos de ADR / RID / IMDG / IATA / ADN

14.1. Número ONU

N° ONU (ADR)	: 1350
N° ONU (IMDG)	: 1350
N° ONU (IATA)	: 1350
N° ONU (ADN)	: 1350
N° ONU (RID)	: 1350

14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

Designación oficial de transporte (ADR)	: AZUFRE
Designación oficial de transporte (IMDG)	: AZUFRE
Designación oficial de transporte (IATA)	: Sulphur
Designación oficial de transporte (ADN)	: AZUFRE
Designación oficial de transporte (RID)	: AZUFRE
Descripción del documento del transporte (ADR)	: UN 1350 AZUFRE, 4.1, III, (E)
Descripción del documento del transporte (IMDG)	: UN 1350 AZUFRE, 4.1, III
Descripción del documento del transporte (IATA)	: UN 1350 Sulphur, 4.1, III
Descripción del documento del transporte (ADN)	: UN 1350 AZUFRE, 4.1, III
Descripción del documento del transporte (RID)	: UN 1350 AZUFRE, 4.1, III

14.3. Clase(s) de peligro para el transporte

ADR

Clase(s) de peligro para el transporte (ADR)	: 4.1
Etiquetas de peligro (ADR)	: 4.1



IMDG

Clase(s) de peligro para el transporte (IMDG)	: 4.1
Etiquetas de peligro (IMDG)	: 4.1



IATA

24/04/2018

ES (español)

5/8

Nota. Adaptado de Safety data sheet Sulfur poder AGR, por labkem, 2013, labbox (www.labbox.com)

Figura 35.f) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

Clase(s) de peligro para el transporte (IATA) : 4.1
Etiquetas de peligro (IATA) : 4.1



ADN

Clase(s) de peligro para el transporte (ADN) : 4.1
Etiquetas de peligro (ADN) : 4.1



RID

Clase(s) de peligro para el transporte (RID) : 4.1
Etiquetas de peligro (RID) : 4.1



14.4. Grupo de embalaje

Grupo de embalaje (ADR) : III
Grupo de embalaje (IMDG) : III
Grupo de embalaje (IATA) : III
Grupo de embalaje (ADN) : III
Grupo de embalaje (RID) : III

14.5. Peligros para el medio ambiente

Peligroso para el medio ambiente : No
Contaminante marino : No
Otros datos : No se dispone de información adicional

14.6. Precauciones particulares para los usuarios

- Transporte por vía terrestre

Código de clasificación (ADR) : F3
Disposiciones especiales (ADR) : 242
Cantidades limitadas (ADR) : 5kg
Cantidades exceptuadas (ADR) : E1
Instrucciones de embalaje (ADR) : P002, IBC08, LP02, R001
Disposiciones especiales de embalaje (ADR) : B3
Disposiciones particulares relativas al embalaje común (ADR) : MP11
Instrucciones para cisternas portátiles y contenedores para granel (ADR) : T1, BK1, BK2
Disposiciones especiales para cisternas portátiles y contenedores para granel (ADR) : TP33
Código cisterna (ADR) : SGAV
Vehículo para el transporte en sistema : AT
Categoría de transporte (ADR) : 3
Disposiciones especiales de transporte - Granel (ADR) : VC1, VC2
N° Peligro (código Kemler) : 40

24/04/2018

ES (español)

6/8

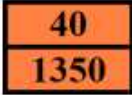
Nota. Adaptado de Safety data sheet Sulfur poder AGR, por labkem, 2013, labbox (www.labbox.com)

Figura 36. g) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

Panel naranja	:	
Código de restricción en túneles (ADR)	:	E
Código EAC	:	1Z
- Transporte marítimo		
Disposiciones especiales (IMDG)	:	242, 967
Cantidades limitadas (IMDG)	:	5 kg
Cantidades exceptuadas (IMDG)	:	E1
Instrucciones de embalaje (IMDG)	:	P002, LP02
Instrucciones de embalaje GRG (IMDG)	:	IBC08
Disposiciones especiales GRG (IMDG)	:	B3
Instrucciones para cisternas (IMDG)	:	T1, BK2, BK3
Disposiciones especiales para las cisternas (IMDG)	:	TP33
N.º FS (Fuego)	:	F-A
N.º FS (Derrame)	:	S-G
Categoría de carga (IMDG)	:	A
Estiba y Manipulación (IMDG)	:	SW1, SW23
Segregación (IMDG)	:	SG17
Propiedades y observaciones (IMDG)	:	When involved in a fire, evolves toxic, very irritating and suffocating gas. The dust forms an explosive mixture with air which may be ignited by static electricity. Forms explosive mixtures with oxidizing substances. Corrosive to steel, in particular in the presence of moisture. The provisions of this Code should not apply to sulphur when it is formed to a specific shape (such as prills, granules, pellets, pastilles or flakes).
- Transporte aéreo		
Cantidades exceptuadas para aviones de pasajeros y de carga (IATA)	:	E1
Cantidades limitadas para aviones de pasajeros y de carga (IATA)	:	Y443
Cantidad neta máxima para cantidad limitada en aviones de pasajeros y de carga (IATA)	:	10kg
Instrucciones de embalaje para aviones de pasajeros y de carga (IATA)	:	446
Cantidad neta máxima para aviones de pasajeros y de carga (IATA)	:	25kg
Instrucciones de embalaje exclusivamente para aviones de carga (IATA)	:	449
Cantidad máx. neta exclusivamente para aviones de carga (IATA)	:	100kg
Disposiciones especiales (IATA)	:	A105
Código GRE (IATA)	:	3L
- Transporte por vía fluvial		
Código de clasificación (ADN)	:	F3
Disposiciones especiales (ADN)	:	242
Cantidades limitadas (ADN)	:	5 kg
Cantidades exceptuadas (ADN)	:	E1
Transporte admitido (ADN)	:	B
Equipo requerido (ADN)	:	PP
Número de conos/luces azules (ADN)	:	0
- Transporte ferroviario		
Código de clasificación (RID)	:	F3
Disposiciones especiales (RID)	:	242
Cantidades limitadas (RID)	:	5kg
Cantidades exceptuadas (RID)	:	E1
Instrucciones de embalaje (RID)	:	P002, IBC08, LP02, R001
Disposiciones especiales de embalaje (RID)	:	B3

24/04/2018

ES (español)

7/8

Nota. Adaptado de Safety data sheet Sulfur poder AGR, por labkem, 2013, labbox (www.labbox.com)

Figura 37.h) -Ficha de datos de seguridad Azufre en polvo

Azufre en polvo AGR

Fichas de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) N° 1907/2006 (REACH), modificado por el Reglamento (UE) 2015/830

Disposiciones particulares relativas al embalaje común (RID)	: MP11
Instrucciones para cisternas portátiles y contenedores para granel (RID)	: T1, BK1, BK2
Disposiciones especiales para cisternas portátiles y contenedores para granel (RID)	: TP33
Códigos de cisterna para las cisternas RID (RID)	: SGAV
Categoría de transporte (RID)	: 3
Disposiciones especiales de transporte - Bultos (RID)	: W1
Disposiciones especiales relativas al transporte - Granel (RID)	: VC1, VC2
Paquetes exprés (RID)	: CE11
N.º de identificación del peligro (RID)	: 40

14.7. Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y el Código IBC

No aplicable

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

15.1.1. UE-Reglamentos

Sin restricciones según el anexo XVII de REACH

Azufre en polvo AGR no figura en la lista de sustancias candidatas de REACH

Azufre en polvo AGR no figura en la lista del Anexo XIV de REACH

15.1.2. Reglamentos nacionales

Alemania

Referencia a AwSV	: Clase de peligro para el agua (WGK) 1. Presenta poco peligro para el agua (Clasificación según VwVwS, Anexo 2: No ID 753)
12º orden de aplicación de la Ley Federal alemana sobre la limitación de molestias - 12.BImSchV	: No sujeto al 12o BImSchV (decreto de protección contra las emisiones) (Reglamento sobre accidentes graves)

Países Bajos

SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen	: La sustancia no figura en la lista
SZW-lijst van mutagene stoffen	: La sustancia no figura en la lista
NIET-limitatieve lijst van voor de voortplanting giftige stoffen – Borstvoeding	: La sustancia no figura en la lista
NIET-limitatieve lijst van voor de voortplanting giftige stoffen – Vruchtbaarheid	: La sustancia no figura en la lista
NIET-limitatieve lijst van voor de voortplanting giftige stoffen – Ontwikkeling	: La sustancia no figura en la lista

15.2. Evaluación de la seguridad química

No se dispone de más información

SECCIÓN 16: Información adicional

Texto íntegro de las frases H y EUH:

Skin Irrit. 2	Irritación o corrosión cutáneas, Categoría 2
H315	Provoca irritación cutánea.

SDS EU (Anexo II de REACH)

Esta información se basa en nuestro conocimiento actual y tiene como finalidad describir el producto para la tutela de la salud, seguridad y medio ambiente. Por lo tanto, no debe ser interpretado como garantía de ninguna característica específica del producto

Anexo 5

ESPECIFICACIONES DE AZUFRE

Tabla 93. Hoja de especificaciones Azufre en polvo AGR

Especificaciones	
Pureza: 99,9%	
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	
Apariencia	Polvo amarillo fino
Ceniza	≤ 0.02 %
Ácidos (H ₂ SO ₄)	≤ 0.005 %
Compuesto orgánico	≤ 0.015 %
Agua	≤ 0.1 %
As	≤ 0.00001 %
Solubilidad en NaO	pasa la prueba

Nota. Adaptado de fichas de seguridad y certificados de análisis, por labbox, labbox (<https://esp.labbox.com/>)

Figura 38. Hoja de especificaciones de azufre en polvo AGR

labkem

Specification Sheet
Hoja de especificaciones
Fiche de Spécifications

SUPW-00A
BASICEM, Analytical Grade

Sulfur powder AGR
Azufre en polvo AGR
Soufre en poudre AGR

MW: 32.06 CAS: 7704-34-8 EC: 231-722-8 Taric code: 28020000

ADR: 4.1 F3 II UN 1350 IMDG: 4.1 II UN 1350 IATA: 4.1 II UN 1350
HDIS: P240-P210-P280-P370+P378-P501

SPECIFICATIONS
Assay / Pureza / Pureté: 99.9%

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES:

Appearance	Fine yellow powder
Ash	≤ 0.02 %
Acids (H ₂ SO ₄)	≤ 0.005 %
Organic compound	≤ 0.015 %
Water	≤ 0.1 %
As	≤ 0.00001 %
Solubility in NaO	Passes test

Nota. Adaptado de fichas de seguridad y certificados de análisis, por labbox, labbox (<https://esp.labbox.com/>)

FICHA TECNICA DEL MERCURIO

Figura 39. a) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE

**Mercurio ≥99,999 %**número de artículo: **7593**
Versión: **1.0 es**

fecha de emisión: 15.03.2016

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa**1.1 Identificador del producto**

Identificación de la sustancia	Mercurio
Número de artículo	7593
Número de registro (REACH)	Esta información no está disponible.
No de índice	080-001-00-0
Número CE	231-106-7
Número CAS	7439-97-6

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**Usos identificados:** producto químico de laboratorio**1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**Carl Roth GmbH + Co KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania**Teléfono:** +49 (0) 721 - 56 06 0**Fax:** +49 (0) 721 - 56 06 149**e-mail:** sicherheit@carlroth.de**Sitio web:** www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad : Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente) : sicherheit@carlroth.de**1.4 Teléfono de emergencia**

Servicios de información para casos de emergencia

Poison Centre Munich: +49/(0)89 19240**SECCIÓN 2: Identificación de los peligros****2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla****Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)**

Clasificación según SGA			
Sección	Clase de peligro	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
3.1I	toxicidad aguda (por inhalación)	(Acute Tox. 1)	H330
3.7	toxicidad para la reproducción	(Repr. 1B)	H360D
3.9	toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas)	(STOT RE 1)	H372
4.1A	peligroso para el medio ambiente acuático - peligro agudo	(Aquatic Acute 1)	H400
4.1C	peligroso para el medio ambiente acuático - peligro crónico	(Aquatic Chronic 1)	H410

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 40.b) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad
 conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio $\geq 99,999$ %
 número de artículo: **7593**

Observaciones
 Véase el texto completo de las frases H y EUH en la SECCIÓN 16.

2.2 Elementos de la etiqueta
Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabra de advertencia **Peligro**

Pictogramas



Indicaciones de peligro

H330	Mortal en caso de inhalación.
H360D	Puede dañar al feto.
H372	Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de inhalación).
H410	Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Consejos de prudencia

Consejos de prudencia - prevención

P260	No respirar la niebla/los vapores/el aerosol.
P273	Evitar su liberación al medio ambiente.

Consejos de prudencia - respuesta

P304+P340	EN CASO DE INHALACIÓN: transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.
P310	Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.

Consejos de prudencia - almacenamiento

P405	Guardar bajo llave.
------	---------------------

Reservado exclusivamente a usuarios profesionales

Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 125 ml
 Palabra de advertencia: **Peligro**

Símbolo(s)



H330	Mortal en caso de inhalación.
H360D	Puede dañar al feto.
H372	Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de inhalación).
P260	No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol.
P304+P340	EN CASO DE INHALACIÓN: transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.
P310	Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.
P405	Guardar bajo llave.

España (es) Página 2 / 15

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 41.c) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: 7593

2.3 Otros peligros

No hay información adicional.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Nombre de la sustancia	Mercurio
No de índice	080-001-00-0
Número CE	231-106-7
Número CAS	7439-97-6
Fórmula molecular	Hg
Masa molar	200,6 g/mol

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios



Notas generales

Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso. Protección propia del primer auxiliante.

En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco. En caso de dificultades respiratorias o paro de respiración preparar respiración artificial. Llamar al médico inmediatamente.

En caso de contacto con la piel

En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con mucho agua. Llamar a un médico en caso de malestar.

En caso de contacto con los ojos

Lavar inmediatamente, cuidadosamente y minuciosamente con ducha ocular o con agua. Consultar al oculista.

En caso de ingestión

Lavar la boca inmediatamente y beber agua en abundancia. Llamar al médico inmediatamente.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Dolor abdominal, Náuseas, Vómitos, Diarrea, Arritmia cardíaca, Dificultades respiratorias, Colapso circulatorio

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

ninguno

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 42. d) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio $\geq 99,999$ %

número de artículo: 7593

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores
agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO₂)

Medios de extinción no apropiados

chorro de agua

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No combustible. Los vapores son más pesados que el aire.

Productos de combustión peligrosos

en caso de incendio y/o de explosión no respire los humos

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

No permitir al agua de extinción alcanzar el desagüe. Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No respirar los vapores/aerosoles. Evítese el contacto con los ojos y la piel. La utilización de equipos de protección adecuados (incluido el equipo de protección personal mencionado en la sección 8 de la ficha de datos de seguridad) con el fin de evitar toda posible contaminación de la piel, los ojos y la ropa.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Manteniendo el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.
Retener y eliminar el agua de lavado contaminada.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Consejos sobre la manera de contener un vertido

Cierre de desagües.

Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido

Recoger mecánicamente. For example: Mercurisorb-Roth® Art.9461 . Observe las instrucciones de uso.

Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas

Colocar en recipientes apropiadas para su eliminación. Ventilar la zona afectada.

Referencia a otras secciones

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

Figura 43.e) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Usar ventilador (laboratorio). Evitar: Formación de aerosol y niebla. Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia. Áreas sucias limpiar bien.

Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo

Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Consérvase únicamente en el recipiente de origen. Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

Sustancias o mezclas incompatibles

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.

Atención a otras indicaciones

Guardar bajo llave.

• Requisitos de ventilación

Utilización de ventilación local y general.

• Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento

Temperatura de almacenaje recomendada: 15 - 20 °C.

7.3 Usos específicos finales

No existen informaciones.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Valores límites nacionales

Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

País	Nombre del agente	No CAS	Identificador	VLA-ED [mg/m³]	VLA-EC [mg/m³]	Fuente
ES	mercurio	7439-97-6	VLA	0,02		INSHT
EU	mercurio	7439-97-6	IOELV	0,02		2009/161/UE

Anotación

VLA-EC Valor límite ambiental-exposición de corta duración (nivel de exposición de corta duración): valor límite a partir del cual no debe producirse ninguna exposición y que hace referencia a un período de 15 minutos, salvo que se ponga lo contrario

VLA-ED Valor límite ambiental-exposición diaria (límite de exposición de larga duración): tiempo medido o calculado en relación con un período de referencia de una media ponderada en el tiempo de ocho horas

Valores límite biológicos

País	Nombre del agente	Parámetro	Anotación	Identificador	Valor	Material	Fuente
ES	mercurio	mercurio		VLB	10 µg/l	sangre	INSHT
ES	mercurio	mercurio	crea	VLB	30 µg/g	orina	INSHT

Anotación

crea Creatinina

Figura 44. f) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

DNEL/DMEL/PNEC pertinentes y otros niveles umbrales

• valores relativos a la salud humana

Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
DNEL	0,02 mg/m ³	humana, por inhalación	trabajadore (industriale)	crónico - efectos sistémicos

• valores medioambientales

Parámetro	Niveles umbrales	Compartimiento ambiental	Tiempo de exposición
PNEC	0,057 µg/l	agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,067 µg/l	agua marina	corto plazo (ocasión única)
PNEC	2,25 µg/l	depuradora de aguas residuales (STP)	corto plazo (ocasión única)
PNEC	9,3 mg/kg	sedimentos de agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	9,3 mg/kg	sedimentos marinos	corto plazo (ocasión única)
PNEC	22 µg/kg	suelo	corto plazo (ocasión única)

8.2 Controles de exposición

Medidas de protección individual (equipo de protección personal)



Protección de los ojos/la cara

Utilizar gafas de protección con con protección a los costados.

Protección de la piel

• protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, la resistencia de éstos contra los productos químicos arriba mencionada.

• tipo de material

NBR (Goma de nitrilo)

• espesor del material

>0,11 mm.

• tiempo de penetración del material con el que están fabricados los guantes

>480 minutos (permeación: nivel 6)

• otras medidas de protección

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Protectores de la piel preventivos (cremas de protección/pomadas) están recomendados.

Figura 45. g) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

Protección respiratoria

Protección respiratoria es necesaria para: Formación de aerosol y niebla. Tipo: Hg-P3 (filtros combinados contra vapores de mercurio y partículas, código de color: rojo/blanco). El tiempo límite de uso según GefStoffV en combinación con las reglas sobre el uso de aparatos respiratorios (BGR 190) se deben respetar.

Controles de exposición medioambiental

Manteniendo el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Estado físico	líquido (fluido)
Color	metálico
Olor	inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	Esta información no está disponible.
Punto de fusión/punto de congelación	-39 °C a 1.013 hPa
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	357 °C a 1.013 hPa
Punto de inflamación	no es aplicable
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	no relevantes (fluido)
<u>Límites de explosividad</u>	
• Límite inferior de explosividad (LIE)	esta información no está disponible
• Límite superior de explosividad (LSE)	esta información no está disponible
Límites de explosividad de nubes de polvo	no relevantes
Presión de vapor	0,003 hPa a 25 °C 0,002 hPa a 20 °C
Densidad	13,55 g/cm ³ a 20 °C
Densidad de vapor	6,93 aire = 1
Densidad aparente	No es aplicable
Densidad relativa	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	0,06 mg/l a 25 °C

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)
Figura 46. h) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio $\geq 99,999$ %

número de artículo: **7593**

<u>Coeficiente de reparto</u>	
n-octanol/agua (log KOW)	0,62 (exp. Lit.)
Temperatura de auto-inflamación	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
Temperatura de descomposición	no existen datos disponibles
Viscosidad	
• viscosidad dinámica	1,55 mPa s a 20 °C
Propiedades explosivas	ninguno
Propiedades comburentes	ninguno

9.2 Otros datos

No hay información adicional.

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales.

10.2 Estabilidad química

El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacción exotérmica con: Metales, Oxígeno, Peligro/reacciones peligrosas con: Ácido nítrico, Reacciones fuertes con: Acetileno, Metales alcalinos, Aluminio, Amina, Amoníaco, Percloratos, => Propiedades explosivas

10.4 Condiciones que deben evitarse

Conservar alejado del calor.

10.5 Materiales incompatibles

aluminio, cinc, estaño, cobre, plomo

10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda


Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie	Fuente
inhalación: vapores	LC50	$>26,6 \text{ mg}/\text{m}^3/\text{h}$	rata	ECHA

Corrosión o irritación cutánea

No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.

Figura 47. i) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad
 conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %
 número de artículo: **7593**

Lesiones oculares graves o irritación ocular
 No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.

Sensibilización respiratoria o cutánea
 No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

Toxicidad para la reproducción:
 Puede dañar al feto

- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única**
 No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).
- **Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida**
 Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de inhalación).

Peligro por aspiración
 No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

Síntomas relacionados con las características físicas, químicas y toxicológicas

- **En caso de ingestión**
 dolor abdominal, náuseas, vómitos, diarrea
- **En caso de contacto con los ojos**
 riesgo de lesiones oculares graves
- **En caso de inhalación**
 efecto de envenenamiento en el sistema nervioso central puede causar convulsiones, dificultad al respirar y desmayo
- **En caso de contacto con la piel**
 riesgo de penetración cutánea

Otros datos
 Otros efectos adversos: Colapso circulatorio, Descenso de presión sanguínea, Arritmia cardíaca, Disfunción renal

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1 Toxicidad
 Muy tóxico para los organismos acuáticos. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Toxicidad acuática (aguda)
 Muy tóxico para los organismos acuáticos.

Parámetro	Valor	Especie	Tiempo de exposición
EC50	0,0052 mg/l	daphnia magna	48 horas
LC50	0,35 mg/l	Ictalurus punctatus	96 horas

Toxicidad acuática (crónica)
 Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 48. j) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

12.2 Procesos de degradación

Métodos para determinar la desintegración no se pueden aplicar para materiales inorgánicos.

12.3 Potencial de bioacumulación

Se enriquece en organismos insignificadamente.

n-octanol/agua (log KOW) 0,62

12.4 Movilidad en el suelo

No se dispone de datos.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

No se dispone de datos.

12.6 Otros efectos adversos

Altamente peligroso para el agua.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Eliminense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional conformément à la réglementation locale/régionale/nationale/internationale.

Información pertinente para el tratamiento de las aguas residuales

No tirar los residuos por el desagüe. Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

Tratamiento de residuos de recipientes/embalajes

Es un residuo peligroso; solamente pueden usarse envases que han sido aprobado (p.ej. conforme a ADR).

13.2 Disposiciones sobre prevención de residuos

La coordinación de los números de clave de los residuos/marcas de residuos según CER hay que efectuarla específicamente de ramo y proceso.

13.3 Observaciones

Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos. Porfavor considerar las disposiciones nacionales o regionales pertinentes.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1	Número ONU	2809
14.2	Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	MERCURIO
	Componentes peligrosos	Mercurio
14.3	Clase(s) de peligro para el transporte	
	Clase	8 (materias corrosivas)
14.4	Grupo de embalaje	III (materia que presenta un grado menor de peligrosidad)
14.5	Peligros para el medio ambiente	peligroso para el medio ambiente acuático

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 49. k) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Las disposiciones concernientes a las mercancías peligrosas (ADR) se deben cumplir dentro de las instalaciones.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC

El transporte a granel de la mercancía no está previsto.

14.8 Información para cada uno de los Reglamentos tipo de las Naciones Unidas

• Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable (ADR/RID/ADN)

Número ONU	2809
Designación oficial	MERCURIO
Menciones en la carta de porte	UN2809, MERCURIO, 8 (6.1), III, (E), peligro para el medio ambiente
Clase	8
Código de clasificación	C11
Grupo de embalaje	III
Etiqueta(s) de peligro	8+6.1 + "pez y árbol"



Peligros para el medio ambiente	sí (peligroso para el medio ambiente acuático)
Disposiciones especiales (DS)	365
Cantidades exemptuadas (EQ)	E0
Cantidades limitadas (LQ)	5 kg
Categoría de transporte (CT)	3
Código de restricciones en túneles (CRT)	E
Número de identificación de peligro	86

• Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG)

Número ONU	2809
Designación oficial	MERCURY
Designaciones indicadas en la declaración del expedidor (shipper's declaration)	UN2809, MERCURIO, 8 (6.1), III, CONTAMINANTE MARINO
Clase	8
Riesgo(s) subsidiario(s)	6.1
Contaminante marino	sí (peligroso para el medio ambiente acuático)
Grupo de embalaje	III
Etiqueta(s) de peligro	8+6.1 + "pez y árbol"




Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 50. 1) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad
 conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE

ROTH

Mercurio ≥99,999 %
 número de artículo: **7593**

Disposiciones especiales (DS)	365
Cantidades exemptuadas (EQ)	E0
Cantidades limitadas (LQ)	5 kg
EmS	F-A
Categoría de estiba (stowage category)	B
Distinción de grupos	7 - Metales pesados 11 - Mercurio y compuestos de mercurio

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

Disposiciones pertinentes de la Unión Europea (UE)

• **Reglamento 649/2012/UE relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos (PIC)**

Niombre según el inventario	Tipo de registro	Observaciones	Categoría / subcategoría	Limitación del uso	KN-Código	Código SA - sustancia pura	Código SA - mezclas que contengan la sustancia
mercurio	Anexo V - parte 2				2805 40		

Leyenda
 Anexo V - parte 2: Productos químicos distintos de los contaminantes orgánicos persistentes enumerados en los anexos A y B del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes con arreglo a las disposiciones del mismo.

• **Reglamento 1005/2009/CE sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)**

No incluido en la lista.

• **Reglamento 850/2004/CE sobre contaminantes orgánicos persistentes (POP)**

No incluido en la lista.

• **Restricciones conforme a REACH, Anexo XVII**

Niombre según el inventario	No CAS	%M	Enumerado en	Observaciones
mercurio	7439-97-6	100	Anexo X	PRIO

Leyenda
 Anexo X: Lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 51. m) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

• **Lista de sustancias sujetas a autorización (REACH, Anexo XIV)**

no incluido en la lista

• **Directiva Seveso**

2012/18/UE (Seveso III)				
No	Sustancia peligrosa/categorías de peligro	Cantidades umbral (en toneladas) de aplicación de los requisitos de nivel inferior e superior		Notas
H1	toxicidad aguda (cat. 1)	5	20	40)

Anotación

40) Categoría 1, todas las vías de exposición

Directiva 2011/65/UE sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS) - Anexo II

Nombre de la sustancia	Nombre según el inventario	Valores máximos de concentración tolerables en peso en materiales homogéneos
mercurio	mercurio	0,1 % Hg

Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

Nombre según el inventario	No CAS	Enumerado en	Observaciones
mercurio	7439-97-6	Anexo X	PRIO

Leyenda

Anexo X Lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas

Catálogos nacionales

La sustancia es enumerada en los siguientes inventarios nacionales:

- EINECS/ELINCS/NLP (Europa)
- REACH (Europa)

15.2 Evaluación de la seguridad química

No se ha realizado una evaluación de la seguridad química de esta sustancia.

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carloth (www.carloth.de)

Figura 52. n) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio ≥99,999 %

número de artículo: **7593**

SECCIÓN 16: Otra información

Abreviaturas y los acrónimos

Abrev.	Descripciones de las abreviaturas utilizadas
2009/161/UE	Directiva 2009/161/UE de la Comisión por la que se establece una tercera lista de valores límite de exposición profesional indicativos en aplicación de la Directiva 98/24/CE del Consejo y por la que se modifica la Directiva 2000/39/CE de la Comisión
ADN	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vías Navegables Interiores)
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera)
CAS	Chemical Abstracts Service (número identificador único carente de significado químico)
CLP	Reglamento (CE) no 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado (Classification, Labelling and Packaging) de sustancias y mezclas
CMR	Carcinógeno, Mutágeno o tóxico para la Reproducción
DMEL	Derived Minimal Effect Level (nivel derivado con efecto mínimo)
DNEL	Derived No-Effect Level (nivel sin efecto derivado)
EINECS	European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (Catálogo Europeo de Sustancias Químicas Comercializadas)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (lista europea de sustancias químicas notificadas)
EmS	Emergency Schedule (programa de emergencias)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code (código marítimo internacional de mercancías peligrosas)
INSHT	Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos, INSHT
IOELV	valore límite de exposición profesional indicativo
KN-Code	Nomenclatura Combinada
MARPOL	el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (abr. de "Marine Pollutant")
mPmB	muy persistente y muy bioacumulable
NLP	No-Longer Polymer (ex-polímero)
No de índice	el número de clasificación es el código de identificación que se da a la sustancia en la parte 3 del anexo VI del Reglamento (CE) no 1272/2008
PBT	Persistente, Bioacumulable y Tóxico
PNEC	Predicted No-Effect Concentration (concentración prevista sin efecto)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)
RID	Règlement concernant le transport International ferroviaire des marchandises Dangereuses (Reglamento referente al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas)
SGA	"Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas" elaborado por Naciones Unidas
VLA	valor límite ambiental
VLA-EC	valor límite ambiental-exposición de corta duración
VLA-ED	valor límite ambiental-exposición diaria

Nota. Adaptado de fichas de datos de seguridad, por ROTH, 2016, carlroth (www.carlroth.de)

Figura 53. o) Ficha de datos de seguridad de Mercurio

ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Mercurio $\geq 99,999$ %

número de artículo: **7593**

Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

- Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH), modificado por 2015/830/UE
- Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP, UE SGA)

Frases pertinentes (código y texto completo como se expone en el capítulo 2 y 3)

Código	Texto
H330	mortal en caso de inhalación
H360D	puede dañar al feto
H372	provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de inhalación)
H400	muy tóxico para los organismos acuáticos
H410	muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

Cláusula de exención de responsabilidad

La información en ésta hoja de datos de seguridad corresponden al leal saber de nuestros conocimiento el día de impresión. Las informaciones deben de ser puntos de apoyo para un manejo seguro de productos mencionados en esta hoja de seguridad para el almacenamiento, elaboración, transporte y eliminación. Las indicaciones no se pueden traspasar a otros productos. Mientras el producto sea mezclado o elaborado con otros materiales, las indicaciones de esta hoja de seguridad no se pueden traspasar así al agente nuevo.

Anexo 7

FICHA TECNICA DE LA LAMPARA

Figura 54. a) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y



Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y

VIALOX NAV-T SUPER 4Y | Lámparas de vapor de sodio de alta presión para luminarias abiertas y cerradas



Nota. Adaptado de hojas de datos de producto, por OSRAM, Lámparas de vapor de alta presión para luminarias abiertas y cerradas, 2021, osram (www.osram.com/system-guarantee)

Figura 55. b) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y

Hoja de datos de producto

Datos técnicos

Datos eléctricos

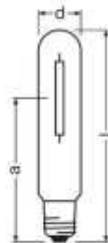
Potencia nominal	250,00 W
Potencia nominal	267,40 W
Corriente de lámpara	2,95 A
Tensión nominal	100 V
Tensión de encendido	3,3 kVp; 5,0 kVp ¹⁾
Corriente nominal	2,95 A

¹⁾ Mínimo/Máximo

Datos Fotométricos

Flujo luminoso	33200 lm
Índice de reproducción cromática Ra	≤25
Temperatura de color	2000 K
Factor manten. lumen lámpara 20.000 h	0,94
Flujo luminoso nominal	33200 lm
Temperatura de color	2000 K
Flujo luminoso	33200 lm

Dimensiones y peso



Diámetro	47,0 mm
Largo	257,0 mm
Long. del centro luminoso (LCL)	158,0 mm
Peso del producto	135,00 g
Ampolla exterior	T46
Longitud total	257,0 mm

Temp. y condiciones de funcionamiento

Nota. Adaptado de hojas de datos de producto, por OSRAM, Lámparas de vapor de alta presión para luminarias abiertas y cerradas, 2021, osram (www.osram.com/system-guarantee)

Figura 56. c) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y

Hoja de datos de producto

Temp máx permitida ampolla exterior	400 °C
Temp máx permitida borde del casquillo	250 °C

Duración de vida

Duración B50	36000 h
Duración B10	24000 h
Vida útil B5	20000 h

Datos adicionales del producto

Casquillo (denominación estándar)	E40
Pie de pág. usado solo para el producto	Atención: Antes de reemplazar las lámparas por lámparas NAV comprobar que el ignitor sea el adecuado
Construcción / Modelo	Claro
Nivel de garantía del sistema	3 (2/5)
Contenido mercurio	21,6 mg
Elimin. residuos conf. directiva RAEE	Sí
Libre de mercurio	No

Capacidades

Regulable	Sí
Posición de quemado	Universal
Se requiere una luminaria cerrada	No

Certificados & Normas

Clase de eficiencia energética	E
Consumo de energía	26,7 kWh/1000h

Categorías específicas del país

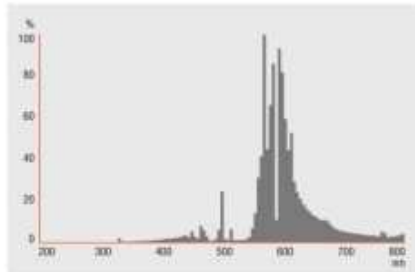
Sistema intern. de codificación de lámp	ST-250-H/E/SL-E40-47/257
Referencia para pedido	NAV-T 250W SUPE

Nota. Adaptado de hojas de datos de producto, por OSRAM, Lámparas de vapor de alta presión para luminarias abiertas y cerradas, 2021, osram (www.osram.com/system-guarantee)

Figura 57. d) Hoja de datos de producto NAV-T 250 W SUPER 4Y

Hoja de datos de producto

Distribución de la luz



NAV_SUPER_4Y_SUPER_6Y

Logistical Data

Código del producto	Descripción del producto	Unidad de embalaje (Piezas/unidad)	Dimensiones (largo x ancho x alto)	Volúmen	Peso bruto
4050300024417	NAV-T 250 W SUPER 4Y	Embalaje de envío 12 Piezas Funda	241 mm x 324 mm x 200 mm	15.62 dm ³	2588.00 g

El código del producto mencionado describe la unidad más pequeña de la cantidad que se puede pedir. Una unidad de envío puede contener uno o más productos individuales. Al cursar un pedido, introduzca la cantidad de la unidad de envío o su múltiplo.

Referencias / links

Para más información sobre la garantía del sistema y los términos y condiciones de garantía, visite www.osram.com/system-guarantee

Aviso

Sujeto a cambios sin aviso. Excepto errores y omisiones. Asegúrese de utilizar la emisión más reciente.

Nota. Adaptado de hojas de datos de producto, por OSRAM, Lámparas de vapor de alta presión para luminarias abiertas y cerradas, 2021, osram (www.osram.com/system-guarantee)

Figura 58. d) Hoja de datos de producto TUNGSRAM LU250/XO/T/40



Tulox XO Tubular Clear LU250/XO/T/40 93378

Product information

Tulox XO High Pressure Sodium lamps offer outstanding luminous efficacy, lumen maintenance and long life, thus reducing energy and maintenance costs.

Application areas

- Road and tunnel
- Street and pedestrian
- Commercial areas

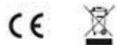


Figura 59. d) Hoja de datos de producto TUNGSRAM LU250/XO/T/40



Tulox XO Tubular Clear
LU250/XO/T/40
93378

Product data

Product Code	93378
Light Center Length [mm]	158
Bulb Shape	Tubular
Bulb Finish	Clear
Maximum Overall Length [mm]	260
Net weight per piece [g]	149
Gross weight per piece [g]	190
Operating position	U - Universal
Mercury Content [mg]	23.2
Brand	GE Lighting
Cap/Base	E40

Performance data

Rated Lumens [lm]	33210
Weighted energy consumption [kWh/1000h]	285.73
Rated efficacy [LpW]	128
Energy efficiency class (EEC)	A+
Average rated life	45.000 hrs
Nominal chromaticity coordinate X	0.53
Nominal chromaticity coordinate Y	0.43
Nominal correlated colour temperature (CCT) [K]	2100
Nominal lumens [lm]	33000
Colour Rendering Index (CRI) [Ra]	25



Tulox XO Tubular Clear
LU250/XO/T/40
93378

Electrical data

Rated power [W]	259.8
Lamp Current [A]	3
Design Ambient Temperature [°C]	25
Run-up time (sec)	180
Hot restart time (sec)	240
Dimming Capability	Yes
Ballast Required	Yes
Nominal power [W]	250
Nominal lamp voltage [V]	115

Logistic data

DUN Code	20043168933784
EAN Code	0043168933780
Pack Quantity	12
Layer quantity	288 EUR, 372 UK
Layer quantity EUR	288
Layer quantity UK	372
Pallet quantity EUR (PC)	864
Pallet quantity UK (PC)	744
Outer case size	215 x 162 x 349 (mm)
Product status	Phased-out

INFORME DE LABORATORIO DE RAYOS X-DRX

Figura 61. Informe de laboratorio de rayos X - DRX



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
SERVICIOS LABORATORIOS
La Paz - Bolivia



INFORME LABORATORIO DE RAYOS X DRX

Solicitante: Sonia Mamani
Tipo de Análisis: DRX
Número de muestras: una
Tipo de muestra: Polvo Fino amarillento
Operador: Ariana Zeballos Espinoza
Fecha: La Paz, mayo de 2022

oooooooooooo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA.

La muestra ha sido identificada con el siguiente código: "E1-SM-P1". Correspondiendo a una muestra de material fino de color amarillento.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.


Se tomó una parte de la muestra, misma que fue debidamente disgregada y posteriormente molida en mortero de ágata.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.

El análisis mineralógico de fases sólidas cristalinas se realizó en un equipo de Difracción (DRX) PanAnalytical Expert Plus con tubo generador de Rayos X de Cu (cobre) y filtro de Ni, dando radiación K alfa del Cu con longitud de onda de 1.54178 Å, bajo las condiciones de operación: Radiación a 40 Kv. y 40mA., rango de registro de 3º a 60º, detección con XCELERATOR de 125 canales y escala de detección automática.

RESULTADOS DRX

En las siguientes páginas, los gráficos muestran el difractograma DRX obtenido, acompañado de sus correspondientes cuadros de identificación de especies minerales. La identificación de fases cristalinas se realizó con el auxilio del software especializado "X'Pert High Score" de la Pan Analytical-Philips sobre una base de datos de más de más de 130.000 registros de comparación.


Ing. Ariana Zeballos Espinoza PhD
DOCENTE INVESTIGADOR - IGEMA





MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2024-TTES-17-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-26/2024 La Paz, 10 de Enero del 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 3 de Enero del 2024, por SONIA MAMANI MACHACA con C.I. N° 6756223 LP, con número de trámite DA 9/2024, señala la pretensión de inscripción el Proyecto de Grado titulada: "DISPOSICIÓN FINAL DE LÁMPARAS MUNICIPALES DE ALUMBRADO PÚBLICO EN DESUSO CON CONTENIDO DE MERCURIO, MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN DEL MISMO CON AZUFRE ELEMENTAL", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios".



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Morales, N° 915,
entre Eze. Uruguay y
C. Sebastián Bismarck.
Telf.: 205700
205701 - 205701

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telf.: 311192 - 7042995

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 111,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telf.: 404443 - 7042997

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multifonía El Ceibo
Urb. Pico 2, Of. 58,
Juno 16 de Julio.
Telf.: 201000 - 2264309

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 365
casi 600, Uriolagolita,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 7009589

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calle Ciro Tiza y Avaroa
Edif. Santa Clara, N° 243.
Telf.: 7045385

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre N° 587
entre Ayacucho y Junín,
Galería Central, Of. 14.
Telf.: 6700188

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alva y San Alberto,
Edif. AM. Solinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 7248166

www.senapi.gob.bo

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial".

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas


RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Tesis (Proyecto de Grado) titulada: **"DISPOSICIÓN FINAL DE LÁMPARAS MUNICIPALES DE ALUMBRADO PÚBLICO EN DESUSO CON CONTENIDO DE MERCURIO, MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN DEL MISMO CON AZUFRE ELEMENTAL"**, a favor de la autora y titular: **SONIA MAMANI MACHACA** con C.I. Nº **6756223 LP**, bajo el seudónimo **SONIA**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



CASA/muag
c.c.Arth.


Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Morúa, Nº 96,
entre Esq. Urugua y
C. Batallas Illimani.
Telf.: 216200
216216 - 216221

Oficina - Santa Cruz
Av. Urugua, Calle
prolongación Quijano,
Nº 29, Edif. Biretormar.
Telf.: 320251 - 320295

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, Nº 70,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telf.: 444649 - 7204292

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, Nº 250
Edif. Multicentro El Galbo
Urb. Pío 2, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telf.: 244211 - 7003025

Oficina - Oruro
Calle Villarroel, Nº 366
casi esq. Simón Bolívar,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 7209583

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Oro Trigo y Avenida
Edif. Santa Cruz, Nº 303.
Telf.: 7209586

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre Nº 582
entre Ayacucho y Junín,
Galera Central, Of. 14.
Telf.: 6201088

Oficina - Potosí
Av. Wilfredo entre calles
Renesias Alba y San Alberto,
Edif. AM, Solinas Nº 20,
Pinar Pico, Of. 17.
Telf.: 7209810

www.senapi.gob.bo

NOMBRE: SONIA MAMANI MACHACA

CORREO: sonikita65@hotmail.com

CELULAR: 79541780