

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA
PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**PROTOCOLIZACIÓN, REDISEÑO Y EVALUACIÓN DEL
PROCESO DE INERTIZACIÓN DEL MERCURIO DE
LUMINARIAS**

**PROYECTO PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRÍA EN
SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA**

**LIC. JUAN CARLOS SALAS JIMÉNEZ
ING. WILLIAM JESÚS BENAVIDES RAMÍREZ**

CARTAGO, COSTA RICA

AGOSTO, 2008

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA**

ACTA DE APROBACIÓN

Se certifica que el Proyecto de Graduación presentado por los señores: Juan Carlos Salas Jiménez, William Jesús Benavides Ramírez titulado: **"PROTOCOLIZACIÓN, REDISEÑO y EVALUACIÓN, DEL PROCESO DE INERTIZACIÓN DEL MERCURIO DE LUMINARIAS"**, cumple con las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento del Proyecto de Graduación, para optar por el grado de Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura.

TRIBUNAL EXAMINADOR

Licda. Hilda Quesada Carvajal MBA
Profesor externo

Ing. Oscar Gamboa Calderón Msc.
Profesor lector

Ing.
Profesor lector

Ing. Carmen Elena Madriz PhD.
Profesor asesor

Tramitado por:

Ing. Oscar Gamboa Calderón Msc.
Coordinador de la Maestría

Cartago, Agosto 2008

Este Proyecto es confidencial

Ing. Carmen Elena Madriz PhD.
Profesor asesor

RESUMEN

Salas Jiménez Juan Carlos, Benavides Ramírez William. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Agosto 2008. "Protocolización, Rediseño y Evaluación de Inertización del Mercurio de Luminarias" desarrollado en el Centro de Investigación y Protección Ambiental CIPA. Profesora asesora: Ing. Carmen Elena Madriz PhD.

Este proyecto se ha desarrollado en una de las actividades productivas que tiene el Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica. La actividad en estudio es un proceso para inertizar el mercurio de luminarias (desechos de bombillos y fluorescentes) el cual consiste en triturar y mezclar los desechos con azufre aplicando calentamiento para formar un polímero de sulfuro de mercurio, obteniendo un producto sólido, inerte, estable y de baja lixiviación, que se puede disponer en un relleno sanitario. Esta actividad presenta un gran crecimiento en las solicitudes de servicio y a la vez los clientes requieren que se certifique que los desechos son tratados adecuadamente. Pero actualmente se requiere desarrollar la protocolización de todas las etapas productivas y administrativas, por otra parte se requiere reducir la contaminación sónica, de vapores de mercurio y de partículas de polvo en el aire. Para lograr reducir y/o eliminar esos problemas que tiene el proceso, se ha desarrollado el Manual de Procedimientos que ha permitido un manejo detallado ordenado y sistemático de la información. Por otro lado se plantea el rediseño del equipo con condiciones de mayor hermeticidad donde se hace la integración de las etapas de trituración, inertización y la eliminación de la etapa de cribado que permitirá reducir la manipulación de los desechos, el polvo los vapores de mercurio y el ruido. Obteniendo tres ofertas de fabricación donde se recomienda la elección de la segunda propuesta por dos millones trescientos mil colones (\approx 2 300 000.00) aspectos de costos y de la garantía del equipo fabricado la hacen la mejor opción. En paralelo al rediseño se propone una modificación al método de tratamiento eliminando en este la etapa de calentamiento, mediante la utilización de una

mezcla del desecho de luminaria con azufre y mortero (cemento y arena), donde las pruebas de laboratorio preliminares presentan resultados positivos para la realización de pruebas a nivel de planta piloto con este nuevo método que se ha denominado inertización en frío. De acuerdo a la investigación desarrollada es necesario y pertinente que se incorporen todas las mejoras, recomendaciones y resultados obtenidos que permitirán lograr que la actividad sea mas ordena, con equipos y métodos para cumplir con los requisitos que el cliente esta solicitando. Finalmente se recomienda darle una mayor difusión a este proyecto, al ser este el único proceso que se tiene para el tratamiento de luminarias en el país y por la importancia que este representa desde el punto de vista ambiental.

DEDICATORIA

Juan Carlos Salas Jiménez:

Dedico este proyecto a mi esposa por estar siempre a mi lado apoyándome gracias por los buenos momentos que hemos vivido juntos.

A mis hijos por ser la luz que me motiva levantarme cada mañana.

William Jesús Benavides Ramírez:

Dedico este proyecto a mis padres por su incondicional apoyo a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Damos Gracias a Dios, por estar siempre a nuestro lado confortándonos durante esta prueba.

A la Ing. Carmen Elena Madriz PhD, profesora asesora, por todas las observaciones y recomendaciones realizadas.

A la señora Iris Alvarado Astorga, secretaria de la maestría, por toda la ayuda y orientación en todas las gestiones realizadas durante todo el post grado.

Al Ing. Oscar Gamboa Calderón, coordinador de la Maestría y muy buen amigo nuestro.

A la Escuela de Química, y en particular al coordinador del CIPA por todo el soporte y apoyo logístico brindado.

EPÍDRAFES

“Saber no es suficiente; tenemos que aplicarlo. Tener voluntad no es suficiente: tenemos que implementarla”

(Goethe)

INDICE GENERAL

ACTA DE APROBACIÓN.....	ii
RESUMEN	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
EPÍGRAFES.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
CAPÍTULO 1.INTRODUCCIÓN	1
Generalidades de la organización	1
Descripción del Proceso Productivo	3
Planteamiento del Problema.....	4
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
Alcances y Limitaciones	6
CAPÍTULO 2.REVISIÓN LITERARIA.....	7
CAPÍTULO 3.METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	13
Objetivo 1. Desarrollo del diagrama de flujo y la protocolización.....	13
Objetivo 2 Rediseño del Proceso Actual	14
Objetivo 3 Evaluación a nivel de pruebas de laboratorio	14
CAPÍTULO 4.DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	15
CAPÍTULO 5. SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO.....	20
5.1.Resultados del Primer Objetivo	20
5.2.Resultados del Objetivo 2.....	31
5.3.Resultados Objetivo 3.....	38
CAPÍTULO 6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFIA.	45
APÉNDICES	46
ANEXOS	137
CURRICULUM VITAE.....	140

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Detalle del tiempo de duración de un ciclo operativo.	16
2. Descripción de las etapas, variables y documentos requeridos para el proceso de inertización de mercurio de luminarias.	22
3. Legislación requerida para el proceso de inertización del mercurio en luminarias.	25
4. Nomenclatura de procedimientos y manual del proceso de inertización del mercurio en luminarias.	26
5. Codificación de Documentos de Control así como la etapa del proceso donde se utiliza.	27
6. Estadísticas de los análisis históricos del producto final.	29
7. Determinación aleatoria de 6 muestras de una población de 25 recipientes de producto inertizado.	30
8. Requerimiento de Materiales para la fabricación del equipo propuesto.	37
9. Requerimiento de Partes/Componentes.	37
10. Detalle de cotizaciones realizadas a tres oferentes.	38
11. Relación en porcentaje de masa de los componentes de la mezcla para Solidificar y pruebas de control.	39
12. Determinación de pruebas de compresión de las mezclas.	40
13. Relación en porcentaje de masa de los componentes de las mezclas y determinación de la concentración de mercurio en cada una de ellas.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Página
1. Organigrama de CIPA, enero 2008.	2
2. Diagrama de operaciones.	3
3. Tubo fluorescente.	10
4. Bombillas de vapor de Hg de alta presión.	11
5. Antecedentes Históricos del Número de Luminarias Procesadas y Número de Empresas Participantes.	15
6. Equipos del Proceso de Inertización.	17
7. Diagrama de distribución de Planta.	18
8. Determinación del Mercurio en la Disolución Extractora por Espectroscopia de Absorción Atómica.	28
9. Diagrama Ishikawa Causa-Efecto de la Contaminación de Mercurio y Participas en el Aire.	31
10. Diagrama Ishikawa Causa-Efecto de la Contaminación Sónica del Proceso de Inertización de Mercurio en Luminarias.	32
11. Diagrama Ishikawa Causa-Efecto de las Limitaciones en la Eficiencia del Proceso Productivo de Inertización de Mercurio en Luminarias.	33
12. Vista en 3D de la propuesta de rediseño del equipo.	34
13. Porcentajes de agua requeridas en cada mezcla.	40
14. Determinación de resistencia de las muestras al someterlas a compresión.	41
15. Densidades de las mezclas.	41

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Generalidades de la organización:

El Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) es un centro interdepartamental creado en Octubre de 1994, adscrito a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), cuyas oficinas están localizadas en la sede central en Cartago.

El CIPA es un Centro que se dedica a la investigación científica y tecnológica y a la transferencia de tecnologías limpias en el área ambiental, orientado hacia el manejo sostenible de los recursos. Actualmente cuenta con una asamblea técnica de 21 profesores investigadores interdisciplinarios. Las áreas de trabajo del CIPA que desarrolla a través de la investigación y extensión son las siguientes:

- Deterioro y saneamiento ambiental.
- Manejo y aprovechamiento de biodiversidad tropical.
- Educación Ambiental.
- Energías alternativas.
- Ecología de los asentamientos humanos.
- Gestión económica del ambiente.

La misión del centro es contribuir con el desarrollo sostenible del país por medio de la prevención, minimización, control y mitigación de problemas ambientales y el planteamiento de soluciones integrales a través de la investigación y extensión.

La visión es ser un Centro de Investigación consolidado, reconocido nacional y regionalmente para la solución de problemas ambientales, con base en mega proyectos, infraestructura y equipo moderno, auto sostenible, accesible y amistoso con la comunidad.

El objetivo General del CIPA es contribuir al desarrollo del país en particular y del planeta en general, mediante el desarrollo de proyectos de investigación y extensión que garanticen el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

Desarrollar proyectos de investigación y extensión conjuntamente con el Centro Químico de Investigación Asistencia Técnica (CEQIATEC) en las distintas áreas de trabajo del CIPA.

- Promover, generar y transferir soluciones a la problemática ambiental del país y de la región.
- Ofrecer prestación y venta de servicios (asesorías, consultarías, cursos, seminarios, etc.) en las diferentes áreas de trabajo del Centro.
- Capacitar, educar y diseminar con relación a tecnologías, estrategias y metodologías de carácter ambiental a nivel interno y externo de la institución.
- Coordinar con diversos organismos nacionales e internacionales en el intercambio y desarrollo de conocimientos y experiencias acerca de la problemática ambiental.
- Participar crítica y activamente en la discusión y formulación de políticas, estrategias, normas y certificaciones ambientales que conduzcan con un desarrollo sostenible del país y de la región.

La estructura organizativa del Centro esta constituida por la ASAMBLEA CIPA que la conforman todos sus miembros, los cuales definen las directrices, lineamientos y el desarrollo de nuevos proyectos de investigación, que se pueden desarrollar vía Tecnológico a través de la Vicerrectoría de Investigación o a través de la Fundación Tecnológica. Para el manejo y la administración del centro, este cuenta con un coordinador, el cual es nombrado por la ASAMBLEA CIPA y ratificado por el concejo de la Escuela de Química.

El coordinador debe de velar y dar las facilidades para la ejecución e implementación de todos los proyectos adscritos al Centro, tanto los de la Vicerrectoría de Investigación como los realizados a través de la Fundación Tecnológica, entre los proyectos que están adscritos a la Fundación se encuentra el proyecto de luminarias que es el caso de estudio de la presente investigación, como se muestra en la figura 1 correspondiente al organigrama y ubicación del proyecto luminaria.

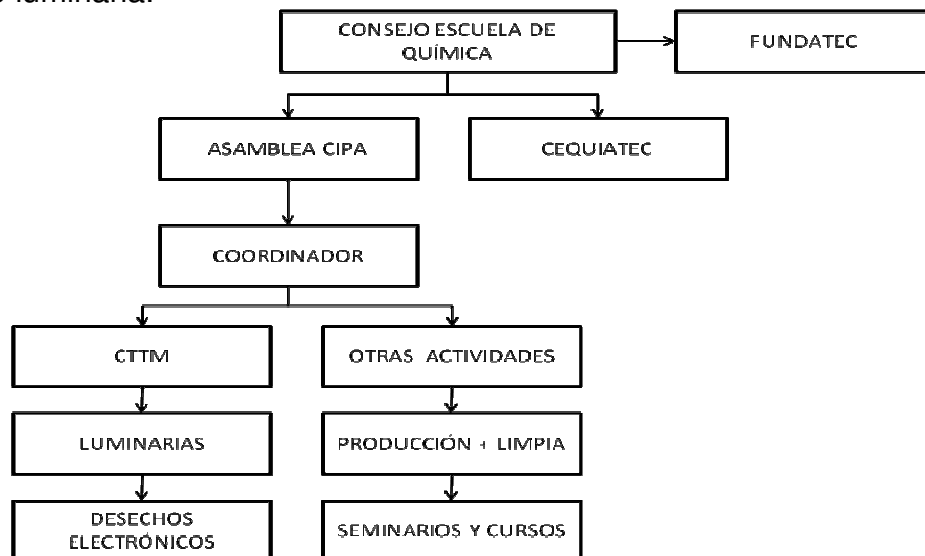


Figura 1. Organigrama de CIPA, enero 2008

Descripción del Proceso Productivo:

En la figura 2 se muestra el proceso completo de las principales etapas del tratamiento que se sigue para la inertización del mercurio en las luminarias (fluorescentes y bombillas de alumbrado público).

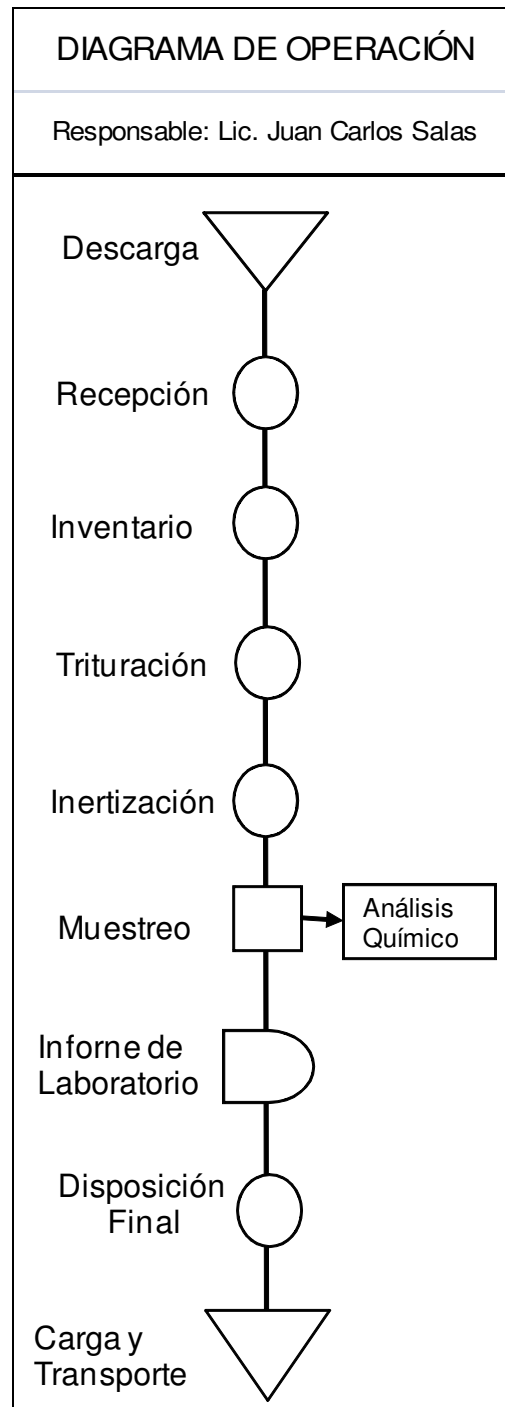


Figura 2. Diagrama de operaciones.

Una vez que se han recibido las luminarias y realizado el inventario, se colocan en un tambor de bolas metálicas giratorio donde se realiza la etapa de trituración, acondicionado con filtros de carbón activado e impregnados con azufre elemental, una vez completa la carga de bombillas se cierra la tapa del triturador, se encienden los extractores y se activa el triturador, para el caso de fluorescentes el proceso varía ya que se utiliza un mecanismo de trituración excéntrica y los fluorescentes se depositan uno a uno hasta completar la carga.

El material molido es tamizado en la bandeja de recolección, separándose en forma manual el vidrio de los restos de metal. El material de vidrio molido pasa a la etapa de inertización donde se mezcla en un crisol con el azufre y se calienta hasta formar el polímero de azufre sólido y a la vez se da la formación del sulfuro de mercurio (HgS) que queda dentro del polímero.

El objetivo en el proceso de inertización es convertirlos en un sólido inerte, estable, que tiene baja lixiviabilidad. El producto resultante es muestreado, las muestras se envían a analizar a un laboratorio externo. Una vez obtenidos los análisis del laboratorio, si los resultados cumplen con la normativa D-27000-MINAE, el producto inertizado pasa a la etapa de disposición final donde es enviado al relleno sanitario, de lo contrario es necesario el reproceso.

Planteamiento del Problema:

Inicialmente el proyecto de luminarias vino a solucionar una acumulación de 7000 bombillas de alumbrado público desechadas, almacenadas en las bodegas de la Compañía Nacional de Fuerza, las que no podía disponer directamente en el relleno sanitario por ser un desecho peligroso el cual provocaría una contaminación ambiental. El problema inmediato se solucionó por un proceso desarrollado en el CIPA. Ese proceso se ha mejorado con el tiempo y dentro de ese proceso de mejora continua se requiere del desarrollo y redacción de manuales de procedimientos que describan como se ejecutan las etapas del proceso, garantizando el cumplimiento de los requisitos de la legislación ambiental vigente.

Aspectos de seguridad laboral se han sumado a ese desarrollo debido a que los equipos actuales generan una gran cantidad de polvo y la cantidad de mercurio en el ambiente es de 0.04 mg/m^3 muy cercano a lo establecido por norma de 0.05 mg/m^3 . Otro aspecto importante es que el proceso se realiza con un calentamiento del desecho de luminaria que contiene el mercurio, con la adición de azufre, proceso que ocasiona una mayor evaporación del mercurio. Por otro lado el nivel del ruido sobrepasa los 85 dB (decibeles).

Debido al aumento en la cantidad de solicitudes de servicio y a que se debe cumplir con nuevos requisitos solicitados por los clientes para garantizar un adecuado manejo de estos desechos por parte del CIPA. Este aumento en el volumen de luminarias, y la incorporación de otras empresas con la misma

necesidad de procesar sus desechos por requisito de su casa matriz o por sus políticas ambientales (ISO14001), ha generado la necesidad de realizar un mejoramiento en el proceso estableciendo los procedimientos y precauciones a seguir por parte del CIPA para prevenir y controlar la contaminación del personal y del medio ambiente por el proceso interno que se lleva a cabo.

El objetivo es recopilar la información existente, identificar las carencias, establecer pautas preliminares que permitan recabar datos suficientes para realizar un análisis que incluyan: el desarrollo del diagrama de flujo, los procedimientos operativos, el manual de procedimientos y los resultados con ellos obtenidos.

Otro aspecto fundamental es identificar los requisitos legales que son aplicables a la organización. Tener un conocimiento amplio y detallado de los requisitos que son aplicables, permitirá comprobar posteriormente el grado de cumplimiento actual, poniendo así de manifiesto los posibles puntos de actuación prioritaria y facilitando la toma de decisiones al respecto.

Finalmente es importante que en el proceso de inertización de mercurio se pueda controlar de forma más eficiente el ruido y las emisiones, por lo que se propondrá un rediseño del equipo de tratamiento y una evaluación a nivel de laboratorio del proceso de tratamiento en frío con una matriz de mortero.

Objetivo General:

Desarrollar una actividad debidamente documentada, plantear un rediseño del equipo y evaluar un nuevo método sin la etapa de calentamiento mejorando la efectividad y la productividad del proceso de inertización de mercurio de lámparas, con el mínimo impacto al ambiente.

Objetivos Específicos:

- Desarrollar la documentación de cada etapa productiva.
- Establecer la documentación de gestión y de control para administrar el proceso.
- Desarrollar los procesos y su documentación con énfasis en la gestión ambiental.
- Desarrollar manuales operativos por cada etapa.
- Implementar programas de desarrollo para los colaboradores.
- Plantear una oportunidad de innovación en el rediseño de los equipos y maquinarias del proceso.
- Evaluar la innovación de un método de tratamiento de inertización del mercurio de las lámparas, sin la etapa de calentamiento en matriz de mortero.

Al cumplir con los objetivos anteriores se buscarán alcanzar las siguientes metas:

- Obtener un proceso sistematizado y documentado.
- Mejorar el comportamiento medioambiental del proyecto.
- El satisfacer las exigencias y/o expectativas de los clientes.
- Controlar y reducir el ruido y las emisiones al ambiente en todas las etapas del proceso a través del rediseño propuesto.

Alcances y Limitaciones:

Esta investigación se realizará en uno de los proyectos productivos que esta adscrito al Centro de Investigación y Protección Ambiental, involucra todas las etapas productivas y administrativas del proyecto. La investigación dará recomendaciones de mejoras al proceso con respecto al levantamiento de la información actual, y planteará un rediseño del equipo dando un costo aproximado de la inversión a realizar para la construcción del equipo, debido a que los fabricantes no facilitan cotizaciones cuando se tratan situaciones en estudio.

Con respecto a la propuesta de un nuevo proceso en frío para la inertización del mercurio utilizando una matriz de mortero (cemento-arena) más azufre realizando mezclas únicamente a nivel de laboratorio y siguiendo los criterios de experto para evaluar esos resultados iniciales, y a partir de los datos obtenidos se podría continuar con un análisis con la herramienta de diseño de experimentos, pero este análisis no es parte del alcance de esta propuesta.

CAPÍTULO 2 REVISIÓN LITERARIA:

Las organizaciones de todo tipo están cada vez más preocupadas por lograr y demostrar un sólido desempeño ambiental controlando el impacto de sus actividades, productos o servicios sobre el medio ambiente, teniendo en cuenta su política y objetivos ambientales. Hacen esto en el contexto de una legislación cada vez más estricta, del desarrollo de políticas económicas y otras medidas para alentar la protección ambiental y un crecimiento generalizado de la preocupación de las partes interesadas respecto a los temas ambientales.

La prevención de la contaminación a través de la utilización de procesos, prácticas, materiales o productos que evitan, reducen o controlan la contaminación, que puede incluir el reciclado, tratamiento, cambios de procesos, mecanismos de control, uso eficiente de los recursos y sustitución de materiales. Los beneficios potenciales de la prevención de la contaminación incluyen la reducción de impactos ambientales adversos, el mejoramiento de la eficiencia y la reducción de costos.⁽¹⁾

En 1998 el Gobierno de la República Costa Rica aprobó el decreto N° 27001- MINAE “Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales”⁽²⁾, y el decreto N° 27000-MINAE “Reglamento sobre las características y el listado de los desechos peligrosos industriales”⁽³⁾ con fundamento en los artículos 50 y 140 incisos 3 y 18 de la Constitución Política y de conformidad con lo dispuesto en los artículos 60 y 69 de la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554. Este Reglamento, tiene como objetivo el establecer las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites de concentración máxima permisible.

Además define a los desechos peligrosos como: “aquellos desechos sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos que por su reactividad química y sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, radioactivas, biológicas, inflamables, volatilizables, combustibles u otras; o por su cantidad y tiempo de exposición, pueden causar daños a la salud de los seres humanos y del ambiente, incluyendo la muerte de los seres vivos”⁽³⁾.

El Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales, tiene como objetivo establecer las normas y procedimientos para un manejo adecuado de los desechos peligrosos, desde una perspectiva sanitaria y ambiental y será aplicable para todo desecho que se considere peligroso según la definición que se encuentra en el Reglamento sobre las características y el listado de los desechos peligrosos industriales⁽²⁾.

También el Reglamento establece que el generador de desechos peligrosos será el responsable de garantizar que su tratamiento y disposición final se realice de acuerdo con las condiciones exigidas en el mismo reglamento (artículo 2) y define que el tratamiento de un producto o desecho peligroso es un método, técnica o proceso, designada a cambiar las características físicas, químicas o biológicas de manera que se produzca un desecho no peligroso o menos peligroso para su almacenaje, transporte o disposición final segura (artículo 11, sobre el tratamiento de los desechos peligrosos, inciso 1).

También indica (en inciso 2) que los tratamientos incluyen la neutralización de los desechos, recuperación de energía o fuentes de materiales de desechos y señala las principales prácticas para el tratamiento de los desechos peligrosos, entre los que se mencionan: reciclaje, métodos físico-químicos, métodos biológicos, incineración, tratamiento fuera del país, y otros mecanismos entre los que se cita: la fijación química, encapsulamiento, estabilización, solidificación.⁽²⁾

Los tratamientos más importantes utilizados para los desechos peligrosos son:⁽⁴⁾

- Tratamientos Biológicos
- Tratamiento Térmico
- Estabilización y Solidificación
- Tratamientos Físico-Químicos

Los tratamientos químicos se utilizan para transformar la composición de los desechos, buscando obtener sustancias menos peligrosas.

Tratamientos Biológicos: es la degradación del residuo orgánico por la acción de los microorganismos. La degradación altera la estructura molecular de los compuestos orgánicos. La dificultad de utilizarlos es que una alta concentración de los residuos es letal a los microorganismos.

Tratamiento Térmico: consiste en un proceso de incineración que destruye únicamente los residuos orgánicos pero no los residuos inorgánicos, mediante la combustión completa de la materia orgánica transformándola en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). Para obtener el resultado anterior se necesita tener un buen control del sistema de incineración, de lo contrario se estarían enviando sustancias tóxicas a la atmósfera. En Costa Rica el servicio de incineración de solventes que no sean clorados y otros se realiza en los hornos de la fábrica de cemento (Holcim).

Estabilización y Solidificación: Los desechos peligrosos se mezclan con otros materiales donde son capturados o fijados, formando una estructura sólida. El objetivo de la estabilización es convertir el desecho en un sólido inerte, estable, que tiene baja lixiviabilidad. (La lixiviación es el proceso por el cual los contaminantes se transfieren de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua) y con suficiente fuerza mecánica, esto previene que migren hacia el agua.

La solidificación depende de las características de los desechos. Los materiales usados en la solidificación son:

- Cementos.
- Limo o materiales puzolánicos (porcelana).
- Materiales termoplásticos: betún, parafina o polietileno.
- Silicatos fundidos.
- Arcillas.

El proceso de inertización del mercurio en desechos de luminarias (Bombillos de alumbrado público y fluorescentes) que es el objeto de estudio de este proyecto, se realiza a través de un proceso de calentamiento donde se mezclan los desechos de vidrio contaminados (con mercurio) y azufre hasta formar una masa pastosa que luego se solidifica formándose el sulfuro de mercurio II (HgS) que es una sal poco soluble en agua. ⁽⁵⁾

Debido a que el mercurio (Hg) es un metal líquido y ligeramente volátil a temperatura ambiente, se realizaron pruebas a nivel de laboratorio de estabilización y solidificación tratando los desechos de luminarias utilizando una matriz de cemento con azufre, proceso sin la etapa de calentamiento para disminuir la evaporación del mercurio. ^(6,7)

Tratamientos Físico-Químicos: no se da una transformación de la composición del desecho, se utiliza para recuperar algunos componentes que se puedan reutilizar. Algunos métodos de separación físicos son los siguientes:

- Destilación.
- Filtración.
- Extracción líquido-líquido orgánicos.
- Absorción de carbono.
- Floculación.
- Sedimentación.

En cuanto a la disposición final de los desechos peligrosos, el Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos, indica (artículo 12) que la disposición adecuada se refiere a la descarga, inyección, deposición, lanzamiento y/o colocación de cualquier desecho peligroso (previamente tratado) e indica que dicha disposición debe hacerse de manera que el desecho o cualquier constituyente del mismo que entra al ambiente no acarree ningún tipo de problema para el ambiente. ⁽³⁾

Además establece (artículo 12, inciso 2) que los únicos métodos de disposición final aceptados son:

- Relleno sanitario de seguridad.
- Encapsulamiento, incineración.

- Exportación a países desarrollados (solo con fines de tratamiento y disposición final) ⁽³⁾.

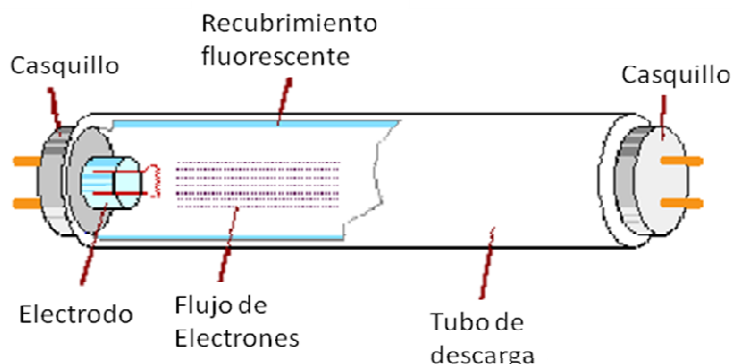
Sin embargo, no existe ningún método de disposición totalmente seguro y en todos los casos se requiere evaluar previamente los posibles impactos ambientales y seleccionar con propiedad los sitios para disponer los desechos peligrosos.

Los desechos peligrosos que son tratados por estabilización y solidificación antes de enviarlos al relleno sanitario, se les realiza una prueba a nivel de laboratorio denominada TCLP (por su nombre en ingles Toxicity Characteristic Leaching Procedures) para determinar la característica de toxicidad por lixiviación de un residuo a partir de un análisis químico a una muestra del lixiviado o extracto del mismo, obtenido bajo ciertas condiciones estándares.

La finalidad de la prueba es determinar la movilidad en el residuo de determinados constituyentes tóxicos⁽⁸⁾, en el caso de desechos que contienen mercurio la lixiviación de un residuo tratado no puede dar concentraciones mayores de 0.2 mg / L, el cual es el límite de concentración máxima permisible de acuerdo al reglamento de manejo de desechos peligrosos decreto D27000-MINAE⁽²⁾.

A continuación se describen los dos tipos de luminarias a los que se les realiza el tratamiento de inertización de mercurio. Se denominan bombillas de vapor de mercurio a las bombillas de descarga en gas que contienen mercurio en su interior. Estas son de baja o alta presión.

Bombillas de mercurio de baja presión (Tubos fluorescentes)⁽⁹⁾: constan de una envoltura de vidrio, cubierta interiormente con compuestos de fósforo y dos cátodos, uno en cada extremo, con electrodos los cuales conducen la energía desde y hacia los cátodos, como se muestra en la figura 3. La radiación emitida es primordialmente ultravioleta, y por tanto se requiere la capa de fósforo para absorber la energía y convertirla a radiación visible.

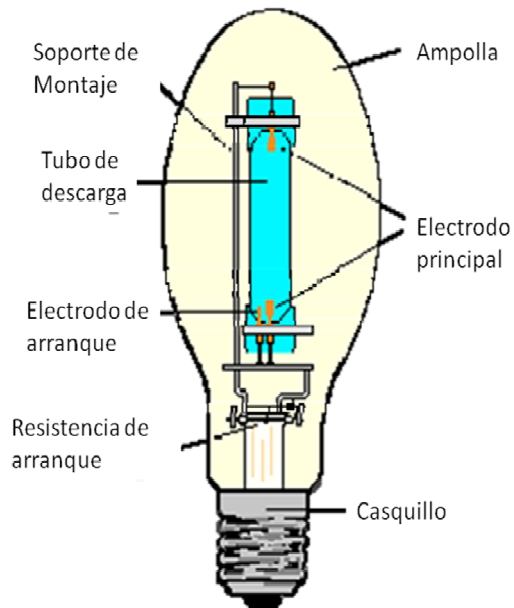


Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá- Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos. Manual Único de Alumbrado Público

Figura 3. Tubo fluorescente

Bombillas de mercurio de alta presión: está conformada por dos bulbos, uno exterior a manera de cubierta hecha de vidrio boro-silicato y otro interior que es “el tubo de arco” o tubo de descarga en cuarzo, el cual contiene los electrodos, el mercurio puro y una pequeña cantidad de gas argón, como se muestra en la figura 4.

El bulbo exterior llenado comúnmente con nitrógeno, protege el tubo de arco contra el deterioro y la corrosión de la parte metálica, regula la temperatura de funcionamiento del tubo de arco y generalmente tiene un recubrimiento interior de material fluorescente.



FUENTE: Alcaldía Mayor de Bogotá- Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos. Manual Único de Alumbrado Público

Figura 4. Bombillas de vapor de Hg de alta presión.

Finalmente otro aspecto importante es la implementación de un sistema de control interno, la elaboración de un manual de procedimientos, en el cual se incluyen todas las actividades y se establecen las responsabilidades del personal involucrado, para el cumplimiento de los objetivos organizacionales.⁽¹⁰⁾

El manual de procedimientos es un componente del sistema de control interno, buscando obtener una información detallada, ordenada, sistemática e integral que contiene todas las instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, funciones, sistemas y procedimientos de las distintas operaciones o actividades que se realizan en una organización.

En todo el proceso de diseñar e implementar el sistema de control interno, se tienen que preparar los procedimientos integrales de cada proceso, los cuales son los que forman el pilar para poder desarrollar adecuadamente las actividades, estableciendo responsabilidades a los encargados de cada área, generando información útil y necesaria, estableciendo medidas de seguridad, control y autocontrol que contribuyan en el cumplimiento de los objetivos de la organización.

El sistema de control interno aparte de ser una política de gerencia, se constituye como una herramienta de apoyo para las directivas de cualquier empresa para modernizarse, cambiar y producir los mejores resultados, con calidad y eficiencia.⁽¹⁰⁾

En razón de esta importancia que adquiere el sistema de control interno para cualquier entidad, se hace necesario hacer el levantamiento de procedimientos actuales, los cuales son el punto de partida y el principal soporte para llevar a cabo los cambios que con tanta urgencia se requieren para alcanzar y ratificar la eficiencia, efectividad, eficacia y economía en todos los procesos.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Para el desarrollo de la siguiente investigación y cumplimiento de los tres objetivos propuestos se establecieron las siguientes etapas:

Objetivo 1. Desarrollo del diagrama de flujo y la protocolización del proceso actual:

- 1- Revisar la documentación del proceso actual.
- 2- Visitar y reconocer el proceso en planta.
- 3- Verificar e incorporar nuevas etapas en el proceso en planta.
- 4- Desarrollar el diagrama de flujo.
- 5- Realizar la investigación bibliográfica sobre la estructura de la normativa ISO 14001 de donde se toman algunos elementos para el levantamiento de los nuevos protocolos.
- 6- Por ser una actividad de tratamiento de desechos peligrosos, se investigara y buscará la normativa nacional para establecer y operacionalizar todas las etapas del proceso, haciendo que cumplan con la legislación vigente.
- 7- Desarrollar los procedimientos escritos y un levantamiento de nueva documentación.
- 8- Investigar las diferentes formas de presentar un flujo de proceso y proponer uno que plantee una mayor descripción de las etapas.
- 9- Investigar sobre las formas de desarrollar y generar manuales de procedimientos acorde con las necesidades.
- 10- Establecer una política ambiental.

Objetivo 2 Rediseño del Proceso Actual:

- 1- Evaluar el equipo actual en cuanto a emisiones al aire y niveles de ruido.
- 2- Investigar sobre sistemas de mezclado, calentamiento y agitación.
- 3- Diseñar el sistema de extracción y confeccionar los planos del diseño.
- 4- Diseñar el sistema de mezcla (batidora) y confeccionar los planos de diseño.
- 5- Establecer propuesta de diseño.

Objetivo 3 Evaluación a nivel de pruebas de laboratorio de un tratamiento de inertización sin la etapa de calentamiento, utilizando una matriz de mortero (mezcla de cemento y arena) y azufre:

- 1- Investigar proceso de inertización del mercurio.
- 2- Realizar pruebas a nivel de laboratorio con las mezclas de los desechos de luminarias, azufre y la matriz de cemento y arena a temperatura ambiente. Para realizar las mezclas se utilizará una mezcladora estándar para dos kilogramos.
- 3- Evaluar los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio con los requerimientos del decreto D27000_MINAE, para comprobar si cumple con los límites máximos permisibles.

CAPÍTULO 4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz, en el 2004 inició un programa para mejorar la eficiencia en el consumo de energía del alumbrado público, reemplazando las bombillas existentes por otras más eficientes en el consumo de energía.

Después de iniciado el proceso de cambio se encontraron con una acumulación de 7000 unidades (bombillas de desecho), las cuales no eran recibidas por ningún relleno sanitario, por el peligro que estas podrían generar como cortaduras, explosión y principalmente por el contenido de mercurio, situación que generó un acercamiento al Centro de Investigación en busca de alguna solución.

Para el presente año se tiene programado tratar 55000 unidades (bombillas y fluorescentes) de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, el ICE y empresas privadas. Como se muestra en la figura 5 el proyecto presenta un crecimiento sostenido en el número de luminarias procesadas anualmente, así como en el número de empresas participantes. Actualmente la actividad operativa se desarrolla con la colaboración de un operario a tiempo completo y un coordinador del proyecto que tiene una dedicación de diez horas por semana, la administración se desarrolla a través de la Fundación Tecnológica de Costa Rica (FUNDATEC).

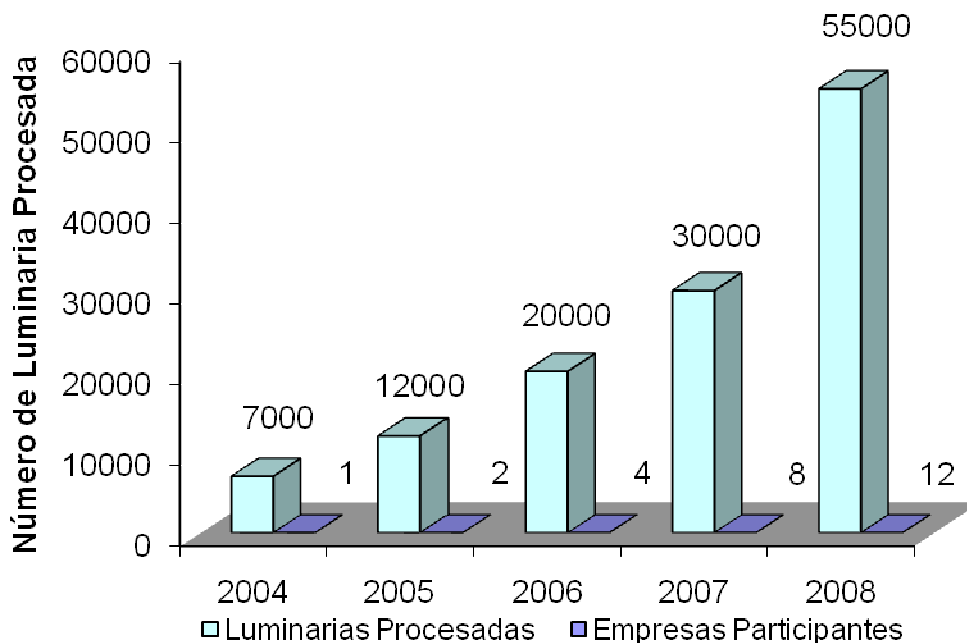


Figura 5. Antecedentes Históricos del Número de Luminarias Procesadas y Número de Empresas Participantes.

El tiempo de un ciclo es de 24 días hábiles para llevar a cabo la actividad, desde que se hace el contacto con el cliente y finalizando con la entrega del informe, como se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Detalle del tiempo de duración de un ciclo operativo

Etapas	Contacto	Recibo de Luminaria	Inventario	Trituración
Detalle	Por E-mail, o por Teléfono (1 Día)	Transporte y Descarga (1 Día)	Entarimado y Conteo (5 Días)	Completar Carga y Separar Metal de Vidrio (3 Días)

Etapas	Inertización	Muestreo	Disposición	Informe Final
Detalle	Calentar y Mezclar (2 Día)	Con la Mezcla Caliente y Prueba TCLP (10 Días)	Al Relleno Sanitario (1 Día)	Cierre del Proceso (1 Día)

El proceso productivo como se muestra en el cuadro 1 dura alrededor de 24 días hábiles donde la etapa de mayor tiempo es la espera de los resultados de los análisis de laboratorio que dura alrededor del 50% del tiempo total, debido a que existe una etapa donde cada muestra es necesario dejarla entre 18 a 24 horas en una disolución extractiva con agitación.

El CIPA inició con pruebas preliminares a nivel de laboratorio para determinar el método de tratamiento óptimo hasta desarrollar el proceso de tratamiento actual que se indica en el cuadro 1, con respecto a los equipos de trituración e inertización se diseñaron y construyeron a partir de un desarrollo propio debido a que no existían en el mercado prototipos para tal fin.

El equipo de trituración (ver figura 6, equipo 1) consiste en un tambor giratorio con bolas metálicas unido a un sistema de extracción de polvos, el tambor tiene una tapa de alimentación para realizar la carga de las bombillas y las bolas metálicas. El cual actualmente presenta problemas de deformación por el impacto de las bolas ya que se deforman las paredes dificultando abrir la compuerta. Una vez triturada la bombilla y separado el vidrio del metal, se mezclan en el crisol con azufre (ver figura 6, equipo 3) para la formación del producto inertizado.

El sistema de extracción no es hermético y tiende a acumular partículas y polvo en el sistema de extracción lo que hace que sea necesario un mantenimiento más continuo para limpiarlo.

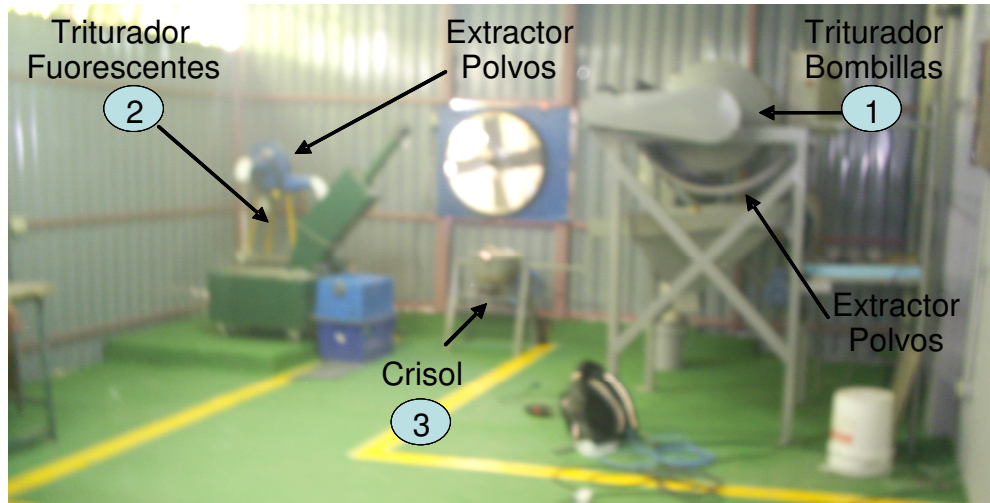


Figura 6. Equipos del Proceso de Inertización.

Una vez que establecieron el proceso de bombillas se amplió al tratamiento de los fluorescentes, para lo que desarrollaron un nuevo equipo para la molienda de estos desechos (ver figura 6, equipo 2). Esta nueva línea la implementaron por la necesidad de brindarles el servicio a las empresas Panduit, Coca Cola FEMSA, Amanco, Seton de Costa Rica, Sigma Alimentos y Novartis que necesitaban disponer adecuadamente de esos desechos.

Como se muestra en la figura 6, desde el 2006 a las instalaciones le han realizado mejoras radicales, tanto en la infraestructura como a las áreas del proceso. Algunas de las mejoras aplicadas hasta el 2007 son:

- Aplicación de las 5S (para establecer una cultura de aseo y orden).
- Adquisición del permiso de funcionamiento y de ubicación por parte del Ministerio de Salud.
- Compra de equipos de seguridad personal como las mascarillas (full face), guantes, delantales, tapones y orejeras entre otros.
- Mejoras en infraestructura como redistribución de planta y pintura en techos, paredes y señalización de las áreas de trabajo y pasillos.

La planta tiene 54 m², y su distribución se compone de las áreas de: inventarios, triturado de bombillas, triturado de fluorescentes, crisol de inertización, estantería de herramientas, y área de producto terminado y materia prima, como se muestra en la figura 7.

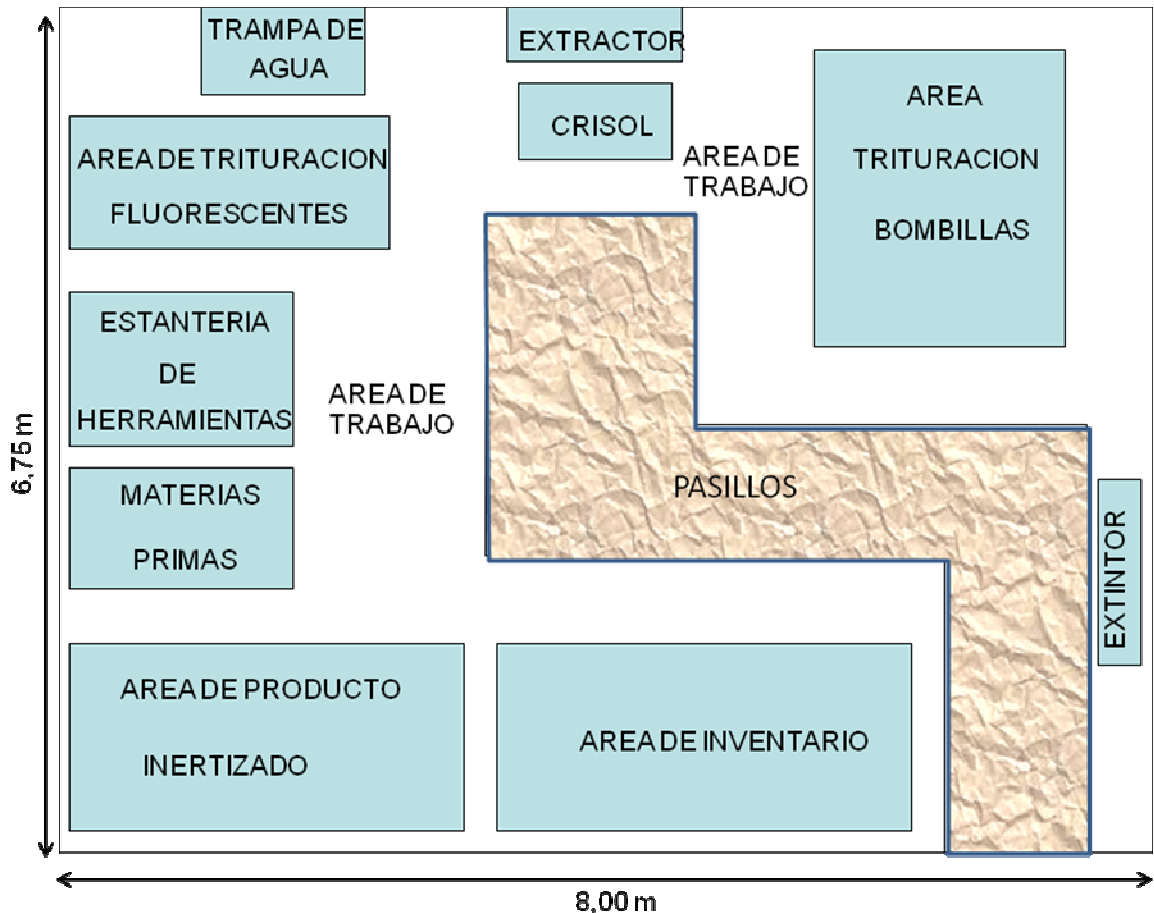


Figura 7 Diagrama de distribución de Planta.

Por otra parte las empresas a las cuales se les ha brindado el servicio solicitaron una revisión y verificación de los procesos donde se demuestre el tratamiento efectivo y que se cumple con la legislación ambiental vigente. Las empresa a las que se les brinda el servicio, realizan visitas para verificar que se este realizando un tratamiento ambientalmente adecuado.

Como resultado del análisis preliminar se comprobó que la información del proceso no esta documentada, sistematizada y no existen procedimientos escritos. Por lo que es necesario desarrollar, esa documentación, iniciando por el establecimiento del flujo del proceso, de una política ambiental para el proyecto, de los procedimientos de todas las etapas productivas así como de un manual de procedimientos. También se han realizado análisis del aire a través del Laboratorio Químico LAMDA laboratorio contratado externamente, donde se han encontrado concentraciones de mercurio de 0.04 mg/m^3 , que esta por debajo de los requerimientos de norma(decreto D27000-MINAE) 0.05 mg/m^3 , esta muy próximo a ese límite, por lo que es importante plantear un rediseño del equipo para disminuir las emisiones al ambiente y el ruido que actualmente esta por encima de los 85 dB (decibeles) superando el máximo permisible.

Para el control de calidad del proceso se deberá realizar un muestreo aleatorio, las muestras que se recolectarán serán enviadas posteriormente a un laboratorio externo que determinará la característica de toxicidad por lixiviación del residuo a partir de un análisis químico bajo condiciones estándares.

Por otro lado también el rediseño deberá responder al aumento en el volumen de material a procesar, deberá incorporar un sistema más integrado (con menos etapas) y que disminuya las emisiones de partículas, gases de mercurio y el ruido.

Finalmente la etapa de inertización del mercurio se realizará a través de la formación de un polímero de azufre calentando los desechos de luminaria, lo que a su vez genera liberación del dióxido de azufre y vapores del mercurio al ambiente. Para ayudar a disminuir estas emisiones se realizarán pruebas preliminares para evaluar la posibilidad de un proceso de inertización sin la etapa de calentamiento mezclando los desechos con azufre y mortero.

CAPÍTULO 5. SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO

En este capítulo se va a desarrollar cada uno de los objetivos planteados indicando como apartado el objetivo y desarrollando las soluciones y/o resultados obtenidos de la misma.

5.1. Resultados del Primer Objetivo: Desarrollo del diagrama de flujo y la protocolización del proceso actual para el proceso de inertización del Mercurio en Luminarias:

Basado en la necesidad de documentar y estructurar el proceso para garantizar el adecuado manejo de los desechos y dar confianza al cliente se desarrolló el diagrama del flujo operativo-administrativo. El otro aspecto que se presentó fue la necesidad de redactar una política Ambiental que estableciera las pautas que sirva como eje transversal en todo el quehacer de la organización.

5.1.1. Desarrollo de la Política Ambiental para el proceso de inertización del Mercurio en Luminarias

El tratamiento del mercurio de luminaras es un proceso que se realiza para mitigar el impacto de este desecho peligroso en el ambiente, garantizando que el proceso que se lleva a cabo sea para prevenir, controlar y reducir la contaminación ambiental, haciendo un proceso que cumpla con las legislaciones nacionales vigentes. Debido a lo anterior se establece la política ambiental de la actividad, la cual es una declaración de las intenciones y principios de la organización, y va a ser el eje transversal para realizar todas las actividades. Que corresponde a la estructura que se aplica en la normativa ISO 14000.

Política Ambiental del Tratamiento del Mercurio en Luminarias:

Somos una empresa comprometida con el medio ambiente que se dedica al tratamiento de desechos peligrosos con el fin de disminuir su impacto y a su vez colaboramos con la gestión ambiental de nuestros clientes. Aplicando el principio de sostenibilidad ambiental en la planificación, ejecución y evaluación de todas nuestras actividades.

Esta política se alcanzará cumpliendo cinco principios:

Prevención de la Contaminación: Se diseñarán planes de gestión de los residuos ordinarios, reciclables, especiales y se implementarán en cada proceso de trabajo, así como en el desarrollo de las labores, previniendo toda forma de contaminación generada por nuestras actividades.

Cumplimiento de la Legislación Ambiental: Cumpliremos con la legislación ambiental vigente, directrices gubernamentales y compromisos adquiridos en materia ambiental, según nuestras actividades.

Adquisiciones y Contrataciones Ambientalmente Responsables:

Procederemos a establecer, supervisar y cumplir las condiciones ambientales requeridas para la adquisición de materiales, equipos, servicios requeridos por nuestra actividad.

Sistema de Gestión Ambiental: Desarrollaremos el sistema de Gestión Ambiental tomando como parámetro los requisitos de la Norma INTE-ISO 14001, para los procesos de recepción, inventarios, tratamiento, almacenamiento, muestreo, análisis químicos, control de emisiones, tratamientos de aguas del proceso y disposición final.

Responsabilidad Social: la empresa llevará una actividad responsable que permita contribuir con la calidad de vida de las comunidades, al disminuir el impacto negativo generado por un mal tratamiento y disposición de los desechos peligrosos.

5.1.2. Diagrama de flujo para el proceso de inertización del Mercurio en Luminarias

El diagrama de flujo generado es híbrido entre un diagrama operativo y un diagrama administrativo, lo que facilita su comprensión, ya que reúne ambas estructuras, detalla que se debe hacer, quien debe hacerlo y cual es el resultado esperado. Al indicar la documentación requerida el coordinador puede administrar más fluidamente los recursos y establecer intervenciones inmediatas en cualquier etapa del proceso, por otra parte el operario podrá desarrollar las etapas consultando previamente de forma gráfica los requerimientos necesarios para su ejecución y solicitando al coordinador oportunamente los recursos necesarios para ese proceso, lo que genera un flujo más dinámico en todo el ciclo, logrando una integración de cada etapa con las siguiente y subsiguiente.

Una vez analizado el proceso se desarrolla el cuadro 2 donde se detallan las etapas del proceso de inertización de mercurio de luminarias, así como las variables del proceso las cuales se van a controlar y la documentación que se genera en cada etapa.

Del cuadro 2 se establece que el proceso de inertización del mercurio en luminarias se compone de 10 etapas, 17 variables a controlar y 19 documentos generados en todo el proceso. En el apéndice 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de inertización del mercurio de luminarias, donde se señala cada una de las etapas de este proceso, los pasos de entrada, salidas, así como las personas involucradas y la documentación respectiva.

Cuadro 2. Descripción de las etapas, variables y documentos requeridos para el proceso de inertización de mercurio de luminarias.

ETAPA	VARIABLES DEL PROCESO	DOCUMENTOS GENERADOS
Recepción de Luminarias.	Tipo de Embalaje.	Orden de compra #000 Boleta de Recepción de materiales en planta #001
Inventario de Luminarias.	Diferencia en cantidad de luminaria	Boleta de Control de inventario#002 Etiqueta de inventario #003 Documento Reporte de inventario al Cliente #004 Boleta de visitas de las empresas #009
Mantenimiento de Equipos	Número de luminarias procesadas	Registro de control de mantenimiento #005 Boleta para bitácora del coordinador #006
Trituración de Luminarias	Tiempo de Trituración. Cantidad de Luminaria. Monitoreo del aire. Separación del vidrio y el metal	Boleta para bitácora del coordinador #006 Tabla control del proceso de inertización #008 Copia de los análisis del monitoreo del aire #019
Proceso de inertización	Calentamiento del Azufre. Proporción Vidrio/Azufre. Velocidad de Mezclado. Tiempo de Mezclado. Homogeneidad de la Mezcla Fluides de la Mezcla Tiempo de verdedo de la Mezcla,	Tabla control del proceso de inertización #008

Cuadro 2. Descripción de las etapas, variables y documentos requeridos para el proceso de inertización de mercurio de luminarias (**continuación**).

Etapa	Variables del Proceso	Documentos Generales
Control del Agua del Colector	Concentración del Mercurio en el agua	Tabla de control de tratamiento del agua #017 Informe del análisis del agua #018
Muestreo del Producto Inertizado	Número de Muestras	Etiqueta del Recipientes producto inertizado #007. Documento Plan de muestreo #010 Copia del análisis del productos inertizado #012
Reproceso	Concentración del Mercurio	Tabla de control de reproceso #016
Disposición Final del Producto		Boleta de disposición del relleno sanitario #013
Informe Final al Cliente.		Documento del Informe Final #014

Es importante destacar que con el desarrollo del diagrama de flujo se establece la protocolización a seguir en cada etapa del proceso, al detallar para cada etapa las variables que intervienen y las que se deben controlar para obtener un proceso estandarizado, para garantizar esa estandarización se establecieron formatos de chequeo donde el operario anota paso a paso el estado de esas variables.

El conocer cual es la documentación que se necesita para realizar cada etapa así como las que se generan en estas facilita la realización de todo el proceso. Por ejemplo en la etapa de trituración de luminarias las variables del proceso establecidas son tiempo de trituración, cantidad de luminarias, monitoreo del aire y separación del vidrio y del metal, esto genera tres documentos la boleta para bitácora del coordinador # 006, tabla de control del proceso de inertización # 008, y copia de los análisis de monitoreo del aire # 019.

Finalmente la comunicación de las dos personas involucradas en el proceso de inertización (operario – coordinador) garantiza un flujo más ágil y ordenado en todo el proceso.

5.1.3. Manual de Procedimientos para el proceso de inertización del Mercurio en Luminarias:

El manual de procedimientos es un componente del sistema de control interno, el cual se ha creado para obtener una información detallada, ordenada, sistemática e integral que contenga todas las instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, funciones, sistemas y procedimientos de las distintas operaciones o actividades que se realizan en la organización.

En todo el proceso de diseñar e implementar el sistema de control interno, se prepararon los procedimientos escritos de cada etapa del proceso, los cuales son los que forman el pilar para poder desarrollar adecuadamente las actividades, estableciendo responsabilidades a los encargados de todas las áreas, generando información útil y necesaria, estableciendo medidas de seguridad, control y autocontrol. El manual de procedimientos se constituye en una herramienta de apoyo para la gerencia que le ayuda a modernizarse, cambiar y producir los mejores resultados, con calidad y eficiencia.

Una vez analizado el proceso se determinó que la actividad actualmente se desarrolla de una forma tácita tanto el manejo de información así como la realización de los procesos. Por lo cual se inicia con una recopilación de información en todas las etapas del proceso. Para cada etapa se definen: los alcances, las limitaciones, la documentación con todas las instrucciones requeridas, responsabilidades, funciones, los requisitos a cumplir según la legislación aplicable y procedimientos de las distintas operaciones o actividades que se realizan.

Con el desarrollo de los manuales de procedimientos se logró obtener una información detallada, ordenada, sistemática e integral. También se hace un estudio de toda la legislación ambiental vigente con el fin de asegurar que se cumpla con esta. En el cuadro 3 se indican todas las regulaciones que deben de aplicarse para prevenir y controlar impactos negativos al ambiente y a las personas al realizar el proceso de inertización del mercurio en luminarias.

De acuerdo con el cuadro 3 al clasificar los desechos de luminaria como desechos peligrosos debe cumplir con el decreto del Ministerio del Ambiente Energía D-27001-MINAE que estipula las pautas para el manejo y almacenamiento para estos desechos peligrosos, igualmente para la realización del traslado fuera de instalaciones y en vías públicas, este vehículo debe presentar los siguientes requisitos de acuerdo al decreto del Ministerio de Obras Públicas y Transportes D-24715-MOPT el vehículo debe estar debidamente rotulado, contar con permisos de transporte para desechos peligrosos, y un manifiesto de transporte entre otros.

Cuadro 3. Legislación requerida para el proceso de inertización del mercurio en luminarias.

Actividad	Reglamento	Limite Máximo	Requerimientos
Almacenar antes de Tratar por parte del cliente	D-27001- MINAE Artículo 6 - acumulación		Para la acumulación el operario debe de almacenar en el empaque original o en grupos de cinco debidamente embalados. Rotulación: debe contener una rotulación que indique que son desechos peligrosos. No se debe de quebrar la luminaria para reducir el volumen. Debe de tener una ubicación definida y no realizar mezclas entre desechos peligrosos.
Transportar antes de Tratar	D-24715- MOPT- MEIC-S		Rotulación del transporte según norma. Acondicionamiento del vehículo según Reglamento. Manifiesto de transporte. Debido a que los vehículos autorizados para el transporte de desechos peligrosos deben de cumplir requisitos muy rigurosos según Reglamento, se recomienda el alquiler de un transporte acondicionado para este servicio.
Almacenar antes de Tratar en Planta CIPA	D-27001- MINAE Artículo 6 - acumulación		Para la acumulación se debe de almacenar en el empaque original o en grupos de cinco debidamente embalados. Rotulación: debe contener una rotulación que indique que son desechos peligrosos. No se debe de quebrar la luminaria para reducir el volumen. Se debe de almacenar en el área previamente definida.
Requisitos de Protección al Trabajador	D-1 Reglamento general de SHO capitulo V		Requisitos de protección al trabajador para la manipulación de sustancias peligrosas.
Determinar Mercurio en el Aire	NIOSH-1992	0,05 mg/m ³	The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ha establecido la exposición máxima recomendable de vapor de mercurio en 0.05 mg/m ³ para un trabajador expuesto durante 10 horas al día durante 40 horas de trabajo a la semana.

Cuadro 3. Legislación requerida para el proceso de inertización del mercurio en luminarias (**continuación**).

Actividad	Reglamento	Limite Máximo	Requerimientos
Disponer de Producto Inertizado	D-27000-MINAE		Que el desecho o cualquier constituyente que entre al ambiente no acarree ningún tipo de problema a este.

Para el procesamiento de estos desechos en planta, el operario debe de contar con un ambiente controlado, limpio y ordenado según la norma NIOSH-1992, debe contar con equipo de seguridad adecuado para el manejo de estos desechos peligrosos. La disposición final del producto inertizado debe ser a lo indicado en el decreto D-27000-MINAE.

Como resultado del análisis realizado se desarrolló el manual de procedimientos y once procedimientos integrales de las etapas de proceso, en el cuadro 4 se indica la nomenclatura y revisión controlada de todos los documentos generados.

Cuadro 4. Nomenclatura de Procedimientos y Manual del Proceso de inertización del mercurio en luminarias.

	Nombre	Proceso	Revisión #
1	Acondicionamiento de Luminarias	PLHg 03	1
2	Almacenamiento Temporal	PLHg 06	1
3	Disposición Final	PLHg 07	1
4	Inertización	PLHg 04	1
5	Informe Final	PLHg 08	1
6	Inventarios	PLHg 02	1
7	Manual de Procedimientos	PLHg 00	1
8	Medición de Emisiones al Aire	PLHg 11	1
9	Muestreo	PLHg 05	1
10	No Conformidades	PLHg 09	1
11	Recepción de Materiales	PLHg 01	1
12	Tratamiento de Aguas	PLHg 10	1

Las once etapas del procedimiento de inertización del mercurio en luminarias generaron un total de diecinueve documentos de control. En el cuadro 5

se muestra la codificación de estos documentos y la etapa del proceso donde se utiliza.

Cuadro 5. Codificación de Documentos de Control así como la etapa del proceso donde se utiliza.

	Nombre	Proceso	Código del Documento
1	Boleta de Control de Inventario	PLHg 02	002
2	Boleta de Recepción de Materiales en Planta	PLHg 01	001
3	Boleta de Registro de Mantenimiento de Equipo	PLHg 03	005
4	Boleta de Relleno Sanitario	PLHg 06	013
5	Boleta de Visita de las Empresas	PLHg 04	009
6	Boleta para Bitácora del Coordinador	PLHg 03	006
7	Copia de los Análisis del Laboratorio para el Agua	PLHg 10	018
8	Copia de los Análisis del Laboratorio para el Aire	PLHg 11	019
9	Copia de los Análisis del Laboratorio para el Producto	PLHg 06	012
10	Documento de Entrega de Muestras para Analizar	PLHg 05	011
11	Documento Plan de Muestreo	PLHg 05	010
12	Etiqueta de Inventario	PLHg 02	003
13	Etiqueta de Producto Inertizado	PLHg 04	007
14	Factura Original para Tramite de Pago del Servicio	PLHg08	015
15	Informe Final al Cliente	PLHg08	014
16	Orden de Compra	PLHg 01	000
17	Reporte de Inventario al Cliente	PLHg 02	004
18	Tabla de Control de Tratamiento de Aguas	PLHg 10	017
19	Tabla de Control Proceso de Inertización	PLHg 04	008
20	Tabla de Control Proceso no Conforme	PLHg 09	016

Finalmente a través del manual de procedimientos se logró establecer la estandarización, orden y control en cada etapa del proceso. En el apéndice 2 se adjunta el Manual de Procedimientos desarrollado.

5.1.4. Procedimiento de Muestreo en el proceso de inertización del Mercurio en Luminarias:

La etapa de muestreo se realiza una vez que se finaliza el tratamiento de un lote de 5000 luminarias, que en promedio genera una población N de 25 cubetas plásticas de 26 kilogramos, rotuladas y etiquetadas según procedimiento PLHg-05. Para cada uno de estos recipientes se toma una muestra que se rotula con la misma información de la cubeta. La muestra se debe de tomar después de realizado el vertido del producto ya que este se solidifica.

En la figura 8 se presentan los resultados históricos de los análisis de laboratorio del producto inertizado entre los años 2005-2007. Como se observa, todas las determinaciones están muy por debajo del límite máximo permisible (0.2 miligramos de mercurio por litro); lo que demuestra que el proceso de inertización históricamente ha sido efectivo y ha estado bajo control.

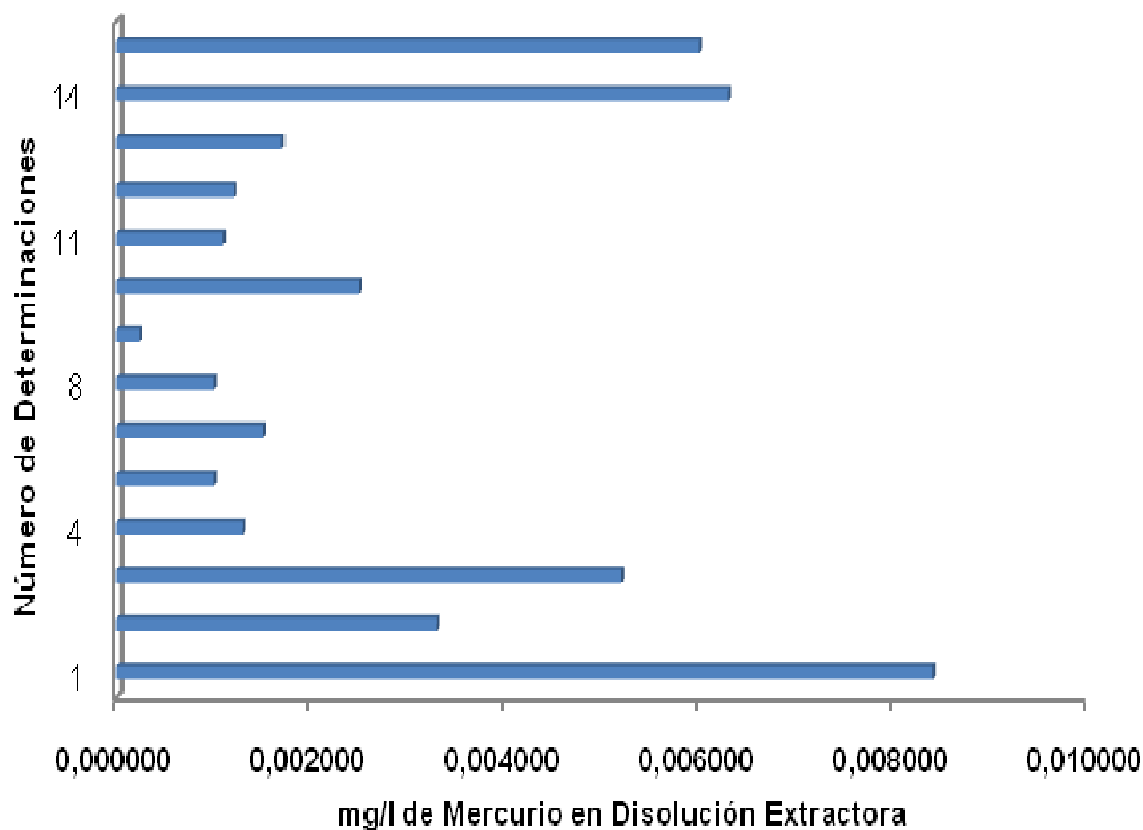


Figura 8. Determinación del Mercurio en la Disolución Extractora por Espectroscopia de Absorción Atómica.

Para determinar el número de muestras representativas y aleatorias por lote, se utiliza la ecuación 1:

$$n = \left[\frac{\sigma Z_{1-\alpha/2}}{d} \right]^2 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

n = tamaño de muestra;

σ = es la desviación estándar de la población;

Z = es 1,96 con un nivel de confianza del 95%;

d = es el error máximo permisible estimado.

Analizando los datos de los resultados históricos de los análisis de laboratorio de la figura 8 en la herramienta del MiniTab 15, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 6. Estadísticas de los análisis históricos del producto final.

Descripción Estadística										
Variable	N	N*	Media	Media Cuadrada	Desviación Estandar	Mínimo	Q1	Media	Q3	Máximo
C2	14	0	0,00291	0,000677	0,002533	0,00024	0,001075	0,0016	0,0054	0,0084

A partir de los datos anteriores se determinaron:

$$\sigma = 0.02533$$

Z = 1.96 que representa el 95% de confiabilidad.

$$d = 0.002$$

Al introducir los datos en la ecuación 1:

$$n = \left[\frac{\sigma Z_{1-\alpha/2}}{d} \right]^2$$

$$n = \left[\frac{0,002533 * 1,96}{0,002} \right]^2$$

$$n = 6,16201188$$

Se encuentra que tamaño de muestra $n = 6$. Esto significa que se requiere muestrear aleatoriamente 6 de los 25 recipientes. Para desarrollar ese muestreo aleatorio se le da un rango a cada recipiente, utilizando la herramienta de Excel se determinan esos 6 números aleatorios que se limitan dentro del rango establecido para cada recipiente.

El rango de limitación se establece según el número de recipientes de la población N para el caso de los 25 recipientes se le asigna un rango equivalente a $1/25$ o sea cada recipiente tiene un rango entre 0 y 1, equivalente a 0,039 para cada recipiente. Como se muestra en el cuadro 7.

Si la población N varía por ejemplo a 30 o bien 20 recipientes se establece la misma metodología, para N 30 el rango se establece $1/30$, equivalente a 0.032 y para N 20 el rango se establece $1/20$, equivalente a 0,049. Así el parámetro se mantiene entre 0 y 1. Lo que hace que este método sea más versátil y fácil de utilizar.

Cuadro 7. Determinación aleatoria de 6 muestras de una población de 25 recipientes de producto inertizado

# de Recipiente	Rango	Valor Aleatorio
1	0,000 - 0,039	0,628
2	0,040 - 0,079	
3	0,080 - 0,119	0,020
4	0,120 - 0,159	
5	0,160 - 0,199	0,820
6	0,200 - 0,239	
7	0,240 - 0,279	0,209
8	0,280 - 0,319	
9	0,320 - 0,359	0,353
10	0,360 - 0,399	
11	0,400 - 0,439	0,370
12	0,440 - 0,479	
13	0,480 - 0,519	
14	0,520 - 0,559	
15	0,560 - 0,599	
16	0,600 - 0,639	
17	0,640 - 0,679	
18	0,680 - 0,719	
19	0,720 - 0,759	
20	0,760 - 0,799	
21	0,800 - 0,839	
22	0,840 - 0,879	
23	0,880 - 0,919	
24	0,920 - 0,959	
25	0,960 - 1,000	

Del cuadro anterior se determina que los recipientes escogidos aleatoriamente son: 16, 01, 21, 06, 09, 10. De los que se toma una muestra para enviar posteriormente a realizar la prueba a nivel de laboratorio denominada por su nombre en ingles Toxicity Characteristic Leaching Procedures(TCLP) para determinar la característica de toxicidad por lixiviación de un residuo a partir de un análisis químico a una muestra del lixiviado o extracto del mismo obtenido bajo ciertas condiciones estándares.

5.2. Resultados del Objetivo 2: Rediseño del Proceso Actual.

El rediseño del equipo de inertización de desechos de luminaria se propone con el fin de mitigar y reducir las emisiones de polvo y vapores de mercurio al ambiente, reducir los niveles de ruido y aumentar la eficiencia de las etapas de trituración e inertización al centrarlas en una única etapa, reduciendo la manipulación del producto.

En la evaluación del sistema actual en algunas mediciones realizadas se determinó que la concentración de mercurio en el ambiente es de 0.04 mg/m^3 muy cercano a lo establecido por la normativa nacional de 0.05 mg/m^3 .

Aunque los datos de los análisis del laboratorio se encuentran dentro de los parámetros de la norma, se plantea la modificación del proceso mejorando el sistema de trituración haciendo un proceso más hermético y al integrar la etapa de mezcla con la de calentamiento en una sola etapa, se busca reducir significativamente la exposición al polvo y los vapores del mercurio al ambiente, buscando una mayor reducción al límite establecido por la norma. Como podemos observar en la figura 9, el diagrama de Ishikawa donde se establece como problema principal la contaminación por vapores de mercurio y partículas de polvo.

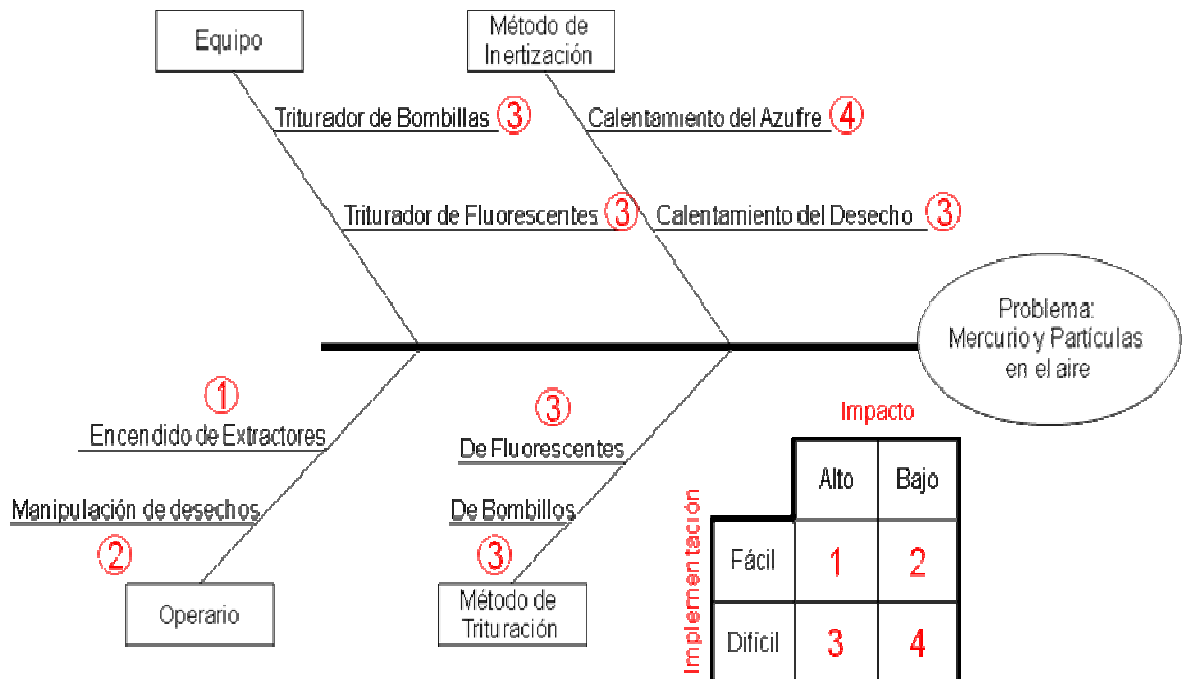


Figura 9. Diagrama Ishikawa Causa-Efecto de la Contaminación de Mercurio y Partículas en el Aire.

La mayor generación de vapores se presenta en el calentamiento de los desechos en la etapa de inertización donde se mezcla con el azufre para formar el polímero de mercurio y la mayor generación de partículas se genera en la etapa de trituración con el cilindro de bolas utilizado para triturar las bombillas. Al realizar el rediseño del equipo se logra eliminar y reducir significativamente esas restricciones al proceso.

Por otro lado el nivel del ruido sobrepasa los 85 dB (decibeles) esto se debe principalmente a la etapa de trituración de la luminaria el cual consiste en alimentar un molino de bolas metálicas, las cuales al golpear las paredes del cilindro rotatorio, genera esa gran cantidad de ruido.

Como se observa en la figura 10, el diagrama de Ishikawa donde se establece como problema principal la contaminación sónica. La mayor generación de contaminación sónica se establece en el cilindro triturador de bolas, seguido del triturador de fluorescentes y del sistema motriz del equipo que actualmente se realiza mediante engranajes.

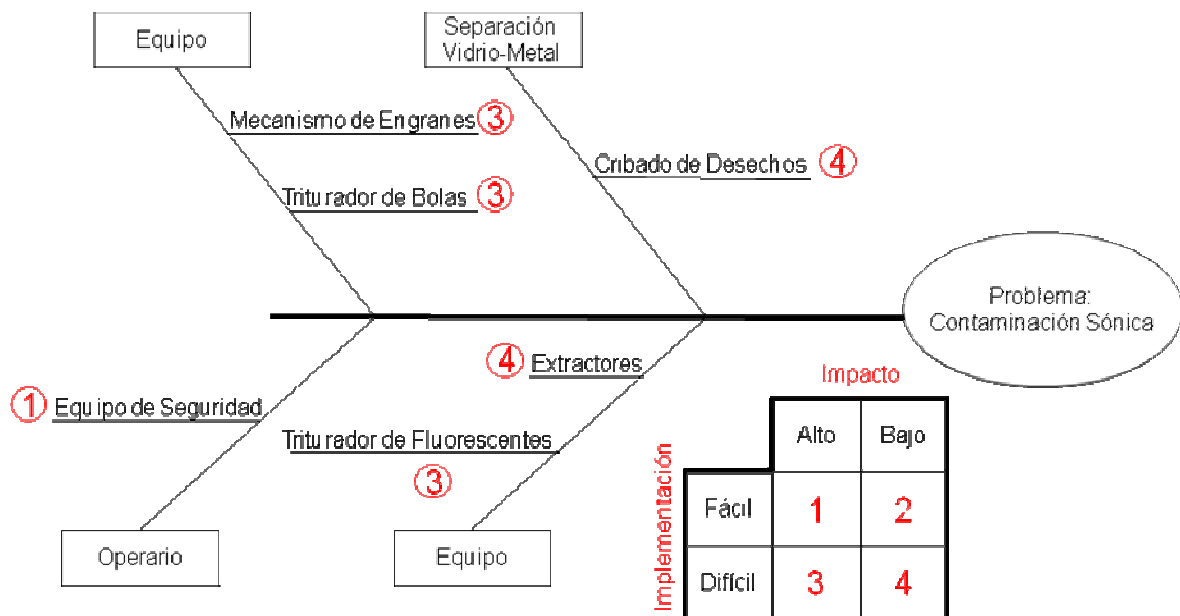


Figura 10. Diagrama Ishikawa Causa-Efecto de la Contaminación Sónica del Proceso de Inertización de Mercurio en Luminarias.

También se estableció que es necesaria la supervisión del coordinador para que el operario cumpla con todos los requerimientos de seguridad ya que estos implementos le reducen y le protegen de daños causados por la contaminación sónica, esta acción es fácil de implementar y de un impacto muy alto ya que logra la seguridad del operario, pero no resuelve la causa raíz de la generación del ruido.

Un problema que se resolvería indirectamente con la implementación del rediseño que al integrar las etapas de calentamiento y de inertización reduciría el ciclo total del proceso, como podemos observar en la figura 11, donde se analiza las limitaciones en la eficiencia del proceso productivo total donde estas etapas están separadas.

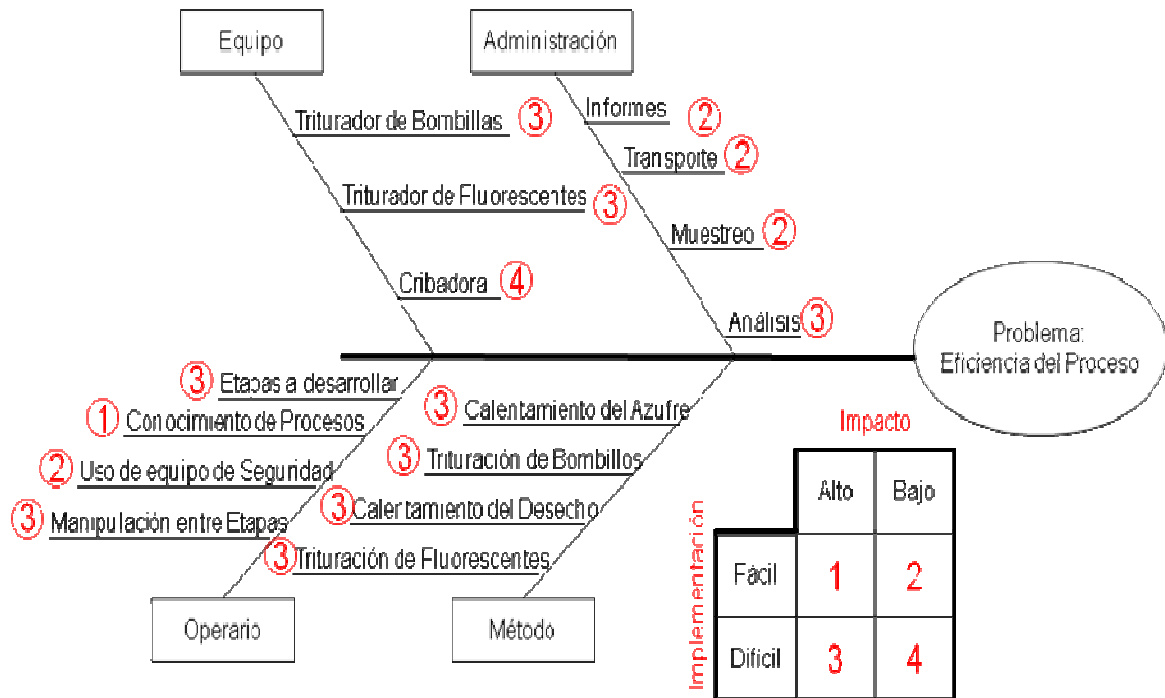


Figura 11. Diagrama Ishikawa Causa-Efecto de las Limitaciones en la Eficiencia del Proceso Productivo de Inertización de Mercurio en Luminarias.

En esta figura se observa claramente que tanto el método como los equipos utilizados son las principales restricciones del proceso. Al analizar el método, se puede observar que el proceso se desarrolla en tres etapas la de trituración, cribado y la de inertización, en estas etapas se generan traslado de materiales que representan tiempo no productivo. En el caso de los equipos, donde primero se debe de usar el triturador, luego el cribador y finalmente el crisol con calentamiento generan mucha pérdida de tiempo entre etapas. Para el caso del operario, el tiempo que demora en la manipulación del mismo material en todas las etapas es un tiempo improductivo y muerto. Por lo anterior se propone un sistema integrado de trituración, mezclado y calentamiento, eliminando la etapa de cribado y desarrollando las otras en una sola etapa eliminando la manipulación del producto etapa por etapa, como lo muestra la figura 12 donde se coloca un triturador de cuchillas rotatorio en la tapa del cilindro.

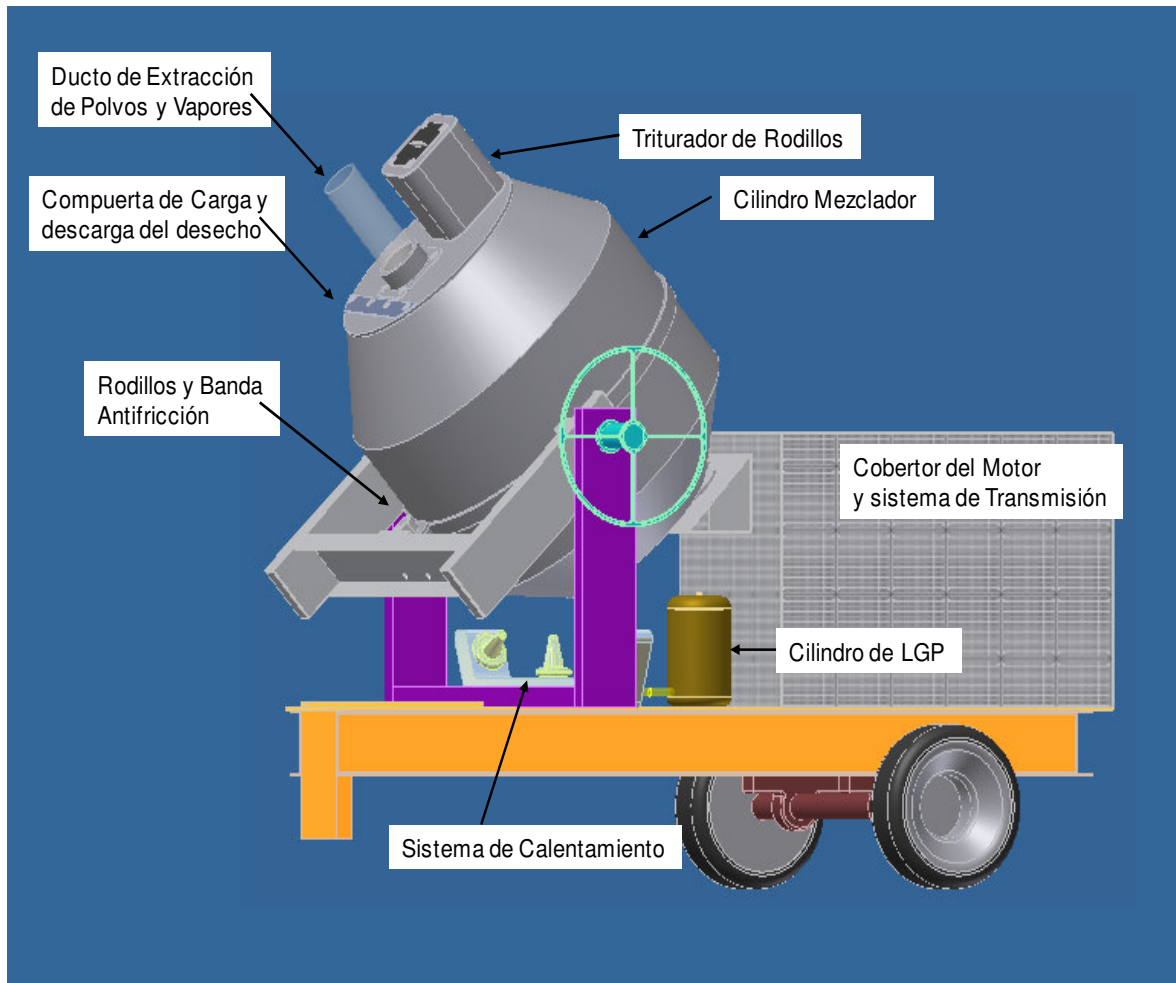


Figura 12. Vista en 3D de la propuesta de rediseño del equipo.

El equipo rediseñado constará de un cilindro mezclador 800Kg de carga que gira por un mecanismo de poleas para disminuir el ruido. También al cilindro se le adiciona una tapa desmontable que contiene el triturador eléctrico de 1Hp que hace que giren los rodillos trituradores, y el sistema de extracción de polvos y vapores por medio de una muñonera que permitirá que el cilindro gire libremente, y la tapa tiene una sección que se abre para carga y descarga del equipo facilitando esa labor, y eliminando la manipulación del producto.

En el sistema de calentamiento se propone el uso de tres calentadores de llama viva de alto rendimiento, para la colocación de estos tres calentadores se ha diseñado un soporte de media luna donde su distribución será tal que garantice un calentamiento uniforme. Finalmente el diseño del sistema de rodillos anti fricción, permite establecer el control en tres puntos o posicionamiento, para establecer una posición en la etapa de trituración, una segunda posición en la etapa de mezclado-calentamiento y una tercera posición en la etapa de vertido.

Este sistema de posicionamiento permite desacoplar automáticamente la faja de transmisión de potencia entre las poleas una vez seleccionada la posición de trituración o la de vertido, lo que garantiza la seguridad del operador.

Dentro de las etapas de diseño se establecieron los siguientes aspectos:

- Selección del Material.
- Determinación de la soldabilidad.
- Cálculo de los esfuerzos.
- Listado de los materiales para la fabricación.
- Listado de los repuestos o accesorios que no serán fabricados sino adquiridos como partes.
- Detalle de los planos del diseño.

Selección del Material

El material para la elaboración del tanque del equipo propuesto debe ser un material que presente propiedades óptimas para soportar el ciclo térmico, la capacidad de no deformarse (60% Esfuerzo Máximo) y ataque químico.

Por cumplir las características anteriores y por ser un material de fácil adquisición y costo relativamente bajo en el mercado, se ha recomendado el uso de un acero inoxidable AISI 304. La resistencia química y la ductilidad de este acero garantizan un excelente comportamiento en operaciones como el corte, doblado, perforado y una alta soldabilidad, sin que se originen fisuras u otros defectos.

Es importante tener en cuenta los esfuerzos a los que va a estar sometido el tanque ya que de estos dependerán la resistencia necesaria por parte de la soldadura. Para obtener este esfuerzo se dividió el tanque en 5 secciones para obtener así el área total y la fuerza se obtuvo a partir del peso máximo que este puede soportar, dando como resultado un esfuerzo máximo de 4012 N/m².

Como la capacidad máxima de la tolva es de 800kg, para calcular el esfuerzo, se calcula primero la fuerza que ejerce la carga y luego se divide por el área superficial de análisis para obtener así el esfuerzo, como se detalla a continuación:

$$P = m \cdot g \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

m= masa

g= aceleración de la gravedad

Entonces tenemos que P es:

$$P = 800kg \cdot 9.8m/s^2$$

$$P = 7848N$$

A su vez tenemos que:

$$F = P \quad \textbf{Ecuación 3.}$$

$$F = 7848N$$

Para el cálculo del área de Cilindros se utiliza la ecuación 4:

$$A = 2\pi rl \quad \textbf{Ecuación 4.}$$

$$A_1 = 2\pi \cdot 42.655 \cdot 46 \quad A_2 = 2\pi \cdot 27.5 \cdot 25 \quad A_3 = 2\pi \cdot 23.87 \cdot 15$$

$$A_1 = 12328.43cm^2 \quad A_2 = 4319.69cm^2 \quad A_3 = 2249.69cm^2$$

Por otra parte para el cálculo del área de Triángulos

$$A = \frac{b \cdot h}{2} \quad \textbf{Ecuación 5.}$$

$$A_1 = \frac{30.31 \cdot 25}{2} \quad A_2 = \frac{37.57 \cdot 15}{2}$$

$$A_1 = 378.875cm^2 \quad A_2 = 281.775cm^2$$

Para determinar el área total se realiza una sumatoria como se muestra en la ecuación 6:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad \textbf{Ecuación 6.}$$

$$A_T = 12328.43 + 4319.69 + 2249.69 + 378.875 + 281.775$$

$$A_T = 19558.46cm^2 \times \frac{1m}{(100cm)^2}$$

$$A_T = 1.96m^2$$

La determinación del esfuerzo máximo se realiza a través de la ecuación 7:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Al aplicar la ecuación 7 obtenemos que el esfuerzo máximo es:

$$\sigma = \frac{7848}{1.96}$$

$$\sigma = 4012.58 \frac{N}{m^2}$$

El esfuerzo de 4012 N/m² esta dentro de las especificaciones del material escogido el cual puede alcanzar esfuerzos máximos de 11610 N/m², por lo que el esfuerzo de diseño será de 6966 N/m².

En el cuadro 8, se detallan las listas de materiales y las cantidades a ser utilizadas para la fabricación del yugo y cilindro mezclador.

Cuadro 8. Requerimiento de Materiales para la fabricación del equipo propuesto.

Material	Cantidad
Lamina de Acero 304 de (1830x3660) mm	1
Lamina de Acero 304 de (1830x2440) mm	1
Platina de 50.8x9.54 mm	1
Lamina de Acero 304 (500x500) mm	1
Barra de Acero AISI 1020 140x140 mm	3
Barra de acero AISI 1020 40x100 mm	2
Perfil Estructural C de 152.4x6.35 mm	2
Lamina de Acero A36 x 3.175 mm	1

En el cuadro 9, se detallan las listas de partes y/o repuestos a ser adquiridos para el rediseño del equipo de rediseño.

Cuadro 9. Requerimiento de Partes/Componentes

Material	Cantidad
Muñonera plana	1
Muñonera cilíndrica pasante	6
Tornillos y Tuercas M6	18
Poleas de 137mm de diámetro en V	2
Faja para transmisión en V	1
Triturador de luminaria	1
Motor-reductor Trifásico de 50Hz de 45rpm	1
Ensamble aro-neumático-llanta perfil 16	2

El costo de fabricación para implementar el rediseño utilizando las listas de materiales y repuestos anteriores, se muestra en el cuadro 10, donde se establece una comparación entre las principales ofertas.

Cuadro 10. Detalle de cotizaciones realizadas a tres oferentes en colones.

Detalle	Oferta 1 (¢)	Oferta 2 (¢)	Oferta 3 (¢)
Mano de Obra	600 000	650 000	800 000
Repuestos	1 000 000	1 200 000	1 200 000
Materiales y consumibles	400 000	450 000	600 000
Total:	2 000 000	2 300 000	2 600 000

Del cuadro anterior podemos observar que el costo de fabricación del equipo rediseñado oscila entre dos millones de colones de la oferta 1 y dos millones seis cientos mil colones de la oferta 3. La propuesta más baja es la oferta 1 ya que se reduce el monto de repuestos en dos cientos mil colones al utilizar algunos repuestos remanufacturados y porque ofrece materiales en inventario, aspecto muy importante a ser considerado a la hora de seleccionar el fabricante.

Finalmente el software utilizado para generar los dibujos es "INVENTOR AUTODESK", con este programa se logra obtener una imagen tridimensional del prototipo, y se generan 35 planos en dos dimensiones, los planos constituyen los requerimientos de secciones y componentes para la fabricación del prototipo. En el apéndice 3 se presentan los planos de todas las partes a fabricar del equipo propuesto. Por otra parte a cada una de las partes de les ha realizado el análisis de cargas para verificar virtualmente su adecuado funcionamiento.

5.3. Resultados Objetivo 3: Proceso de Inertización en Frío del mercurio de los desechos de luminarias mezclándolo en frío con azufre y mortero (cemento + arena 1:3).

En proceso de inertización en frío consiste en que los desechos de luminarias se mezclan a temperatura ambiente con cemento + arena en una proporción de 1:3, azufre y agua donde son capturados o fijados, formando una estructura sólida. El objetivo es convertir los desechos de luminarias que contienen mercurio en un sólido inerte, estable, que tiene baja lixiviabilidad.

Como punto de partida se preparan siete pruebas a nivel de laboratorio para determinar la mezcla de mortero (cemento + arena) más adecuada y se determino que la concentración inicial promedio del mercurio en las luminarias es de 7,75 ppm lo que corresponde a 38.7 veces la concentración mínima permitida (0,2 ppm). El procedimiento de la determinación se describe en el apéndice 4.

En el cuadro 11 se muestran las mezclas realizadas a nivel de laboratorio de acuerdo a criterio de experto. De la mezcla 1 a la 4 se varía la proporción de

mortero en aumento (de 15%, 35%, 55% y 75%) y con porcentajes de desechos de luminaria (de 75%, 55%, 35% y 15% respectivamente, manteniendo el porcentaje de azufre en 10%. La prueba 5 y 7 no se le agrega azufre, 6 y 7 se le adiciona 0,5 g de mercurio metálico para enriquecer de mercurio, las mezclas 5,6 y 7 se utilizarán como pruebas de control.

Cuadro 11. Relación en porcentaje de masa de los componentes de la mezcla para Solidificar y Pruebas de control.

Mezcla	Mortero Relación 1:3	Azufre	Desecho Luminaria + Hg.	Pruebas Control
1	15	10	75	
2	35	10	55	
3	55	10	35	
4	75	10	15	
5	50	0	50	X
6	45	10	45+ 0.5g Hg.	X
7	100	0	0.5g Hg.	X

En apéndice 5, se muestran el detalle de las siete mezclas realizadas, en cantidades absolutas.

A continuación se detalla la forma más adecuada de mezclado que se logró obtener de las pruebas realizadas de acuerdo al cuadro anterior:

- Primero se hace la mezcla del desecho de luminaria con el azufre, agitando durante cinco minutos, para lograr una mezcla homogénea.
- Se agrega el cemento + arena (mortero 1:3) y se agita durante cinco minutos, para lograr una mezcla homogénea.
- Se adiciona el agua lentamente, hasta formar una mezcla que presente consistencia y no sea fluida. En la figura 13 se muestra el porcentaje de agua requerida en cada mezcla.

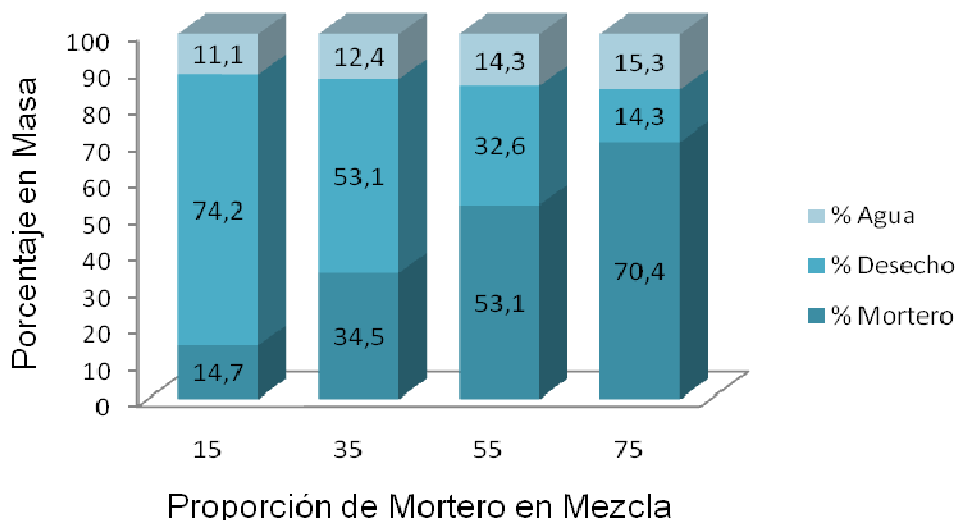


Figura 13. Porcentajes de agua requeridas en cada mezcla

Según la figura anterior se determinó experimentalmente que al aumentar la cantidad de mortero se requiere de una mayor cantidad de agua para lograr una mezcla homogénea con la consistencia deseada. La variación de los porcentajes del agua están entre el 11% al 15% cuando se varia la proporción de mortero de un 15% a un 75% respectivamente. Esta proporción de agua es una variable muy importante ya que un porcentaje menor hace que obtener una mezcla homogénea sea más difícil, quedando partes secas, lo que no permite que se de una solidificación por falta de fraguado. Por otra parte si el porcentaje de agua es mucho mayor, se obtiene una mezcla muy fluida y que dura mucho en secar y solidificar.

Cada mezcla se deposita en recipientes para su solidificación y fraguado que tiene una duración de treinta días. Finalmente se debe de realizar la prueba de resistencia a la compresión.

En el cuadro 12 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de compresión.

Cuadro 12. Determinación de pruebas de compresión de las mezclas.

Mezcla	Proporción Mortero	Diámetro (m)	Largo (m)	Carga KPa
1	15	0,05	0,10	25
2	35	0,05	0,10	1976
3	55	0,05	0,10	2714
4	75	0,05	0,10	7002
5	50	0,05	0,10	3858
6	45	0,05	0,10	3353
7	100	0,05	0,10	21225
8	50	0,05	0,10	1693

En la figura 14 se muestra que la resistencia de las mezclas de la 1 a la 4, aumenta al incrementarse la proporción de cemento + arena.

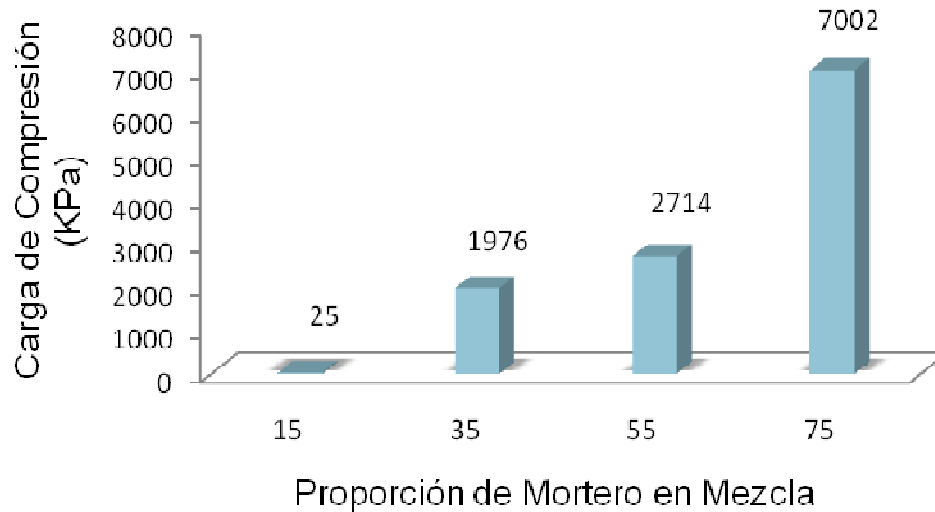


Figura 14. Determinación de resistencia de las muestras al someterlas a compresión.

La muestra 1 que contenía 15 % cemento + arena, se desboronaba al presionarla con la mano, pero la muestra 2, 3 y 4 con un 35%, 55% y 75% respectivamente, mostraron tener resistencias por encima de los 350 KPa que es la resistencia mínima por compresión en un relleno sanitario.

En la figura 15 se observa el resultado del cálculo matemático de la densidad, que muestra una tendencia en relación a la proporción de mortero ya que al aumentar el porcentaje de mortero aumenta la densidad lo que provoca un aumento en la resistencia a la compresión de las muestras sólidas analizadas.

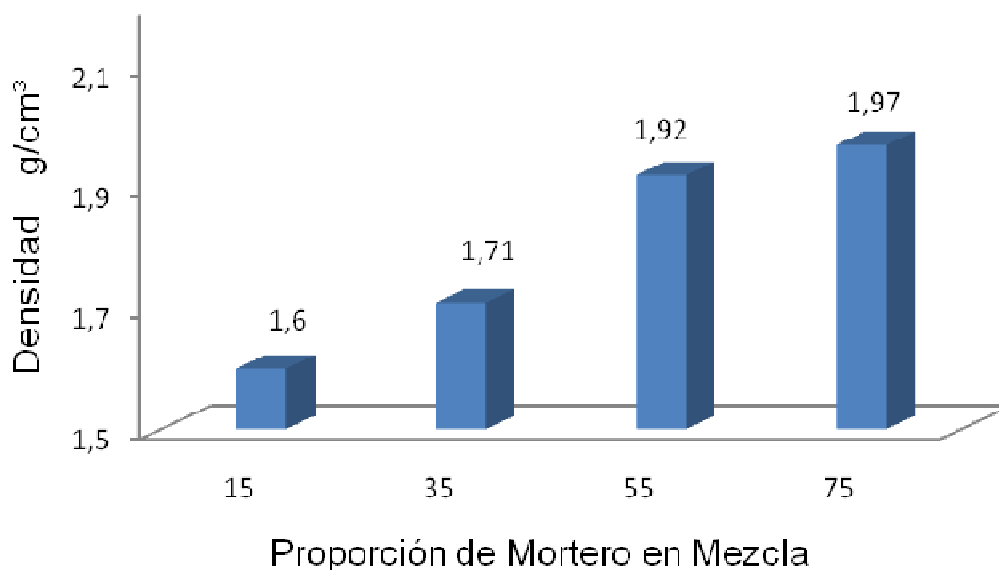


Figura 15. Densidades de las mezclas.

En el cuadro 13 se incorporan los resultados de la concentración de mercurio obtenida en la prueba de lixiviación para cada mezcla (Anexo1).

Cuadro 13. Contenido de mercurio en los lixiviados de las mezclas analizadas.

Mezcla	Mortero (%)	Azufre (%)	Desecho (%)	Concentración Hg. (mg / l)
1	15	10	75	0.12
2	35	10	55	0.39
3	55	10	35	0.066
4	75	10	15	0.044
5	50	0	50	0.24
6	45	10	45%+ 0.5g Hg.	0.36
7	100	0	0.5g Hg.	0.25

De acuerdo con los resultados del análisis de la concentración de mercurio en el lixiviado, la mezclas 1 esta muy cerca del máximo permisible (0.2 mg / L) y la mezcla 2 esta por encima del máxima permisible. Las muestras 3 y 4 presentan los mejores resultados ya que se obtiene una concentración que está muy por debajo del máximo permisible según lo establecido en el decreto D27000-MINAE.

La muestra 5 tiene una mezcla 50% mortero y 50% desechos de luminarias sin azufre y presenta una concentración de los lixiviados por encima de la norma, lo que demuestra que el azufre puede estar reaccionado con el mercurio a temperatura ambiente. En la mezcla 6 al agregarle 0.5 gramos de mercurio metálico se tiene una concentración de mercurio de 816 mg / L inicial, el resultado del análisis obtenido es de 0.36 mg / l, dando un porcentaje de retención del mercurio en esta mezcla del 99.95% lo cual permite indicar que el mortero y azufre son muy efectivos para retener el mercurio. En la mezcla 7 que también se le agrego 0.5 gramos de mercurio metálico y 100% de mortero se tiene una concentración de mercurio de 826 mg / L inicial, el resultado del análisis obtenido es de 0.25 mg / L, dando un porcentaje de retención del mercurio en esta mezcla de 99.96 % lo cual permite indicar que el mortero solo sin azufre es también muy efectivo para retener el mercurio.

Para efectos de un tratamiento en frío se pueden realizar pruebas a nivel de planta piloto con la mezcla 3 ya que esta presenta una concentración 3.0 veces por debajo del limite máximo permisible y cumple con los requerimientos de compresión de relleno sanitario. Es importante tomar en cuenta la mezcla que minimice la cantidad de mortero a utilizar y que maximice la cantidad de desechos de luminarias, para efectos de disminuir costo en materias prima. Para establecer esa mezcla que maximice estas dos variables, se debería realizar pruebas entre 55% y el 35% de mortero. Estos ensayos así como el establecimiento de las pruebas en la planta piloto están por fuera de los objetivos del presente proyecto.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

1. El proceso de inertización está bajo control. Porque cumple con los parámetros de tratamiento y disposición de desechos peligrosos.
2. El desarrollo de la política ambiental sirvió como eje transversal en la definición y cumplimiento de los objetivos medioambientales del proyecto.
3. El diagrama de flujo ha definido 10 etapas, 17 variables y 19 documentos de control que se establecieron en la protocolizaron.
4. Los procedimientos escritos desarrollados facilitan mostrar la trazabilidad del desecho a través del ciclo del proceso a los clientes durante sus visitas de verificación. Obteniéndose una sistematización de la información que no se tenía anteriormente.
5. La legislación ambiental vigente fue incorporada en todos los procedimientos escritos del proceso, lo que le certifica al cliente que el desecho se está manejando y tratando adecuadamente.
6. La etapa de muestreo cumple con los requisitos de aleatoriedad y representabilidad.
7. El rediseño busca la integración de la etapa de trituración y inertización eliminando el cribado y los traslados de material entre estas etapas lo que se percibiría en una reducción del tiempo total del ciclo.
8. Cambiar el sistema motriz de engranajes a poleas buscaría reducir la contaminación sónica.
9. Al integrar el sistema de calentamiento directamente en el cilindro mezclador y al ser un sistema hermético se busca reducir la contaminación por polvos y gases de mercurio en el aire.
10. Con la selección del acero inoxidable como material de fabricación, se garantizaría un material de mayor resistencia a la corrosión química.
11. Debido a que la mezcla tres en base seca (55% mortero, 10% azufre y 35% luminaria) cumple con los parámetros de compresibilidad y concentraciones permisibles de mercurio en los lixiviados, ésta se puede escalar a nivel piloto.

12. Fabricar el equipo rediseñado, ya que permitirá una disminución en el transporte de los materiales, control de las emisiones y ruido al ambiente.
13. Realizar un diseño de experimentos variando la proporción de mortero entre 35% y 55% buscando reducir costos en el consumo de mortero y aumentando la proporción de desechos de luminarias.
14. Finalmente darle una mayor difusión a este proyecto, al ser este el único proceso que se tiene para el tratamiento de luminarias en el país y por la importancia que este representa desde el punto de vista ambiental.

BIBLIOGRAFIA.

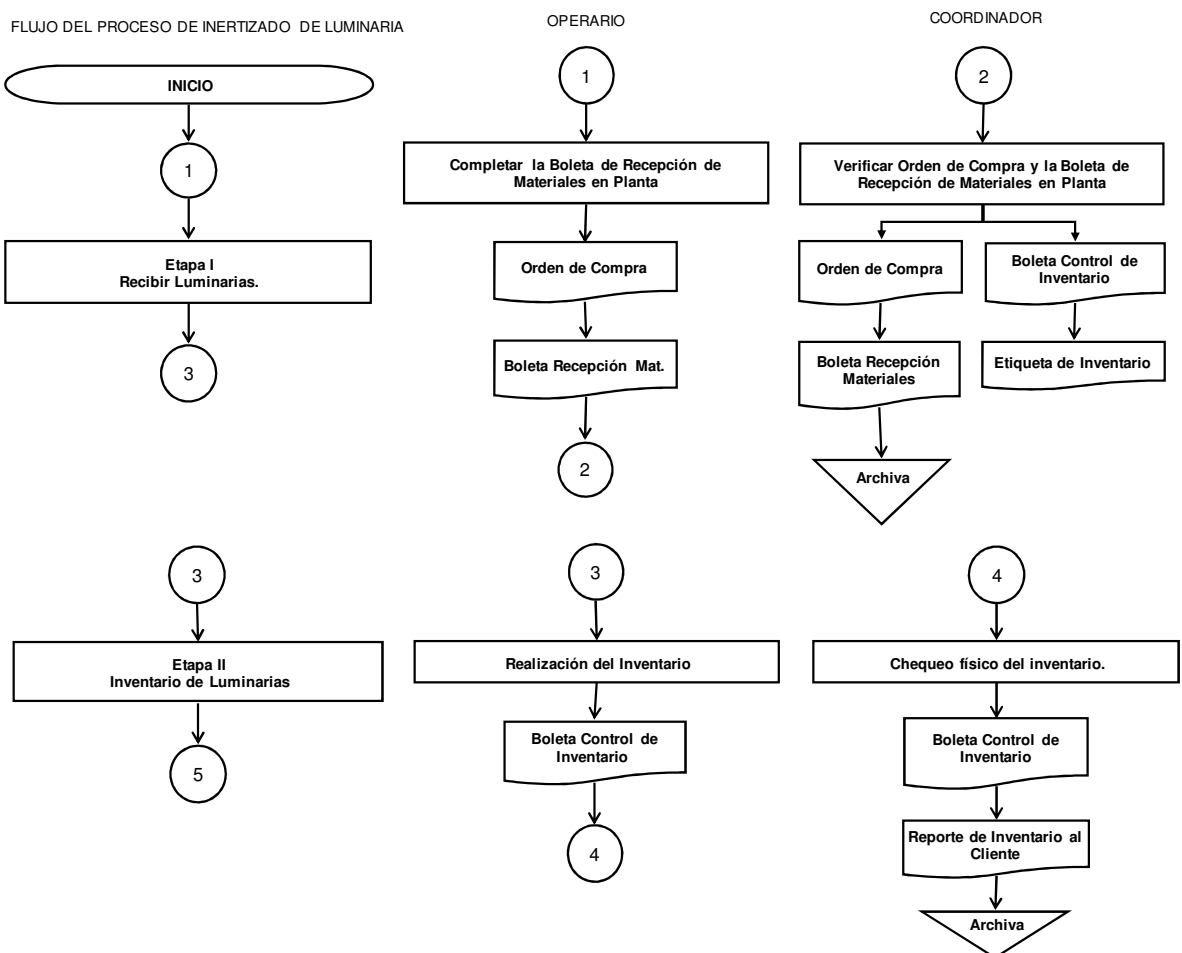
1. Lago P Lázaro. Sistemas de Gestión Ambiental Especificación y Directrices para su Uso, [http:// www.monografias.com](http://www.monografias.com) (consultado el 14 de enero 2008)
2. Decreto N° 27001- MINAE. “Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales”. San José, Costa Rica. Diario Oficial la Gaceta N° 101, 1998, Pág.10-17.
3. Decreto N° 27001- MINAE. “Reglamento sobre las Características y el Listado de los Desechos Peligrosos Industriales”. San José, Costa Rica. Diario Oficial la Gaceta N° 124, 1998, Pág. 2-9.
4. La Grega, M. D, et al. “Gestión de Residuos Tóxicos”. México. McGraw. Hill. Volumen 1, 1996.
5. M. Fuhrmann, D. Melamed, P.D. Kalb, J.W. Adams, L.W. Milian. “Sulfur Polymer Solidification/Stabilization of elemental mercury waste”. Waste Management V. 22, 327–333, 2002.
6. Zhang J., Bishop P. “Stabilization/solidification (S/S) of mercury-containing wastes using reactivated carbon and Portland cement². Journal of Hazardous Materials B92, 199–212, 2002.
7. Ming, J., Loa, T., Walsh, T., Lamb T. “Stabilization of high mercury contaminated brine purification sludge” Journal of Hazardous Materials B113, 157–164, 2004.
8. USEPA. Method 1311. “Toxicity Characteristic Leaching Procedure”, Code of Federal Regulations, 40 CFR parts 261, Appendix II, July 1991.
9. SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL NORMA TECNICA AMBIENTAL Manipulación y disposición final de bombillas de vapor de mercurio. 2007, [http:// codensa.com.co](http://codensa.com.co) (consultado 28 enero 2007).
10. Álvarez Torres, M. “ Manual para Elaborar Manuales de Políticas y Procedimientos “. México: Panorama Editorial, 1999.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

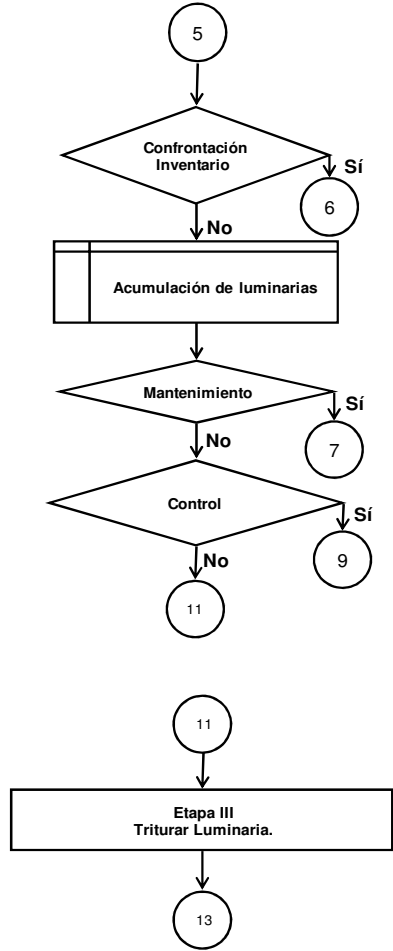
Diagrama del flujo, Proceso de Inertización de Mercurio en Luminarias.

Apéndice 1 : Diagrama del flujo, Proceso de Inertización de Mercurio en Luminarias.

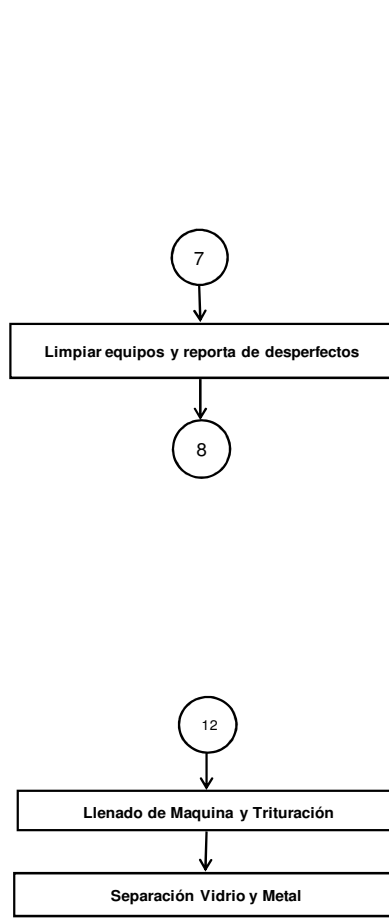


Continúa Apéndice 1

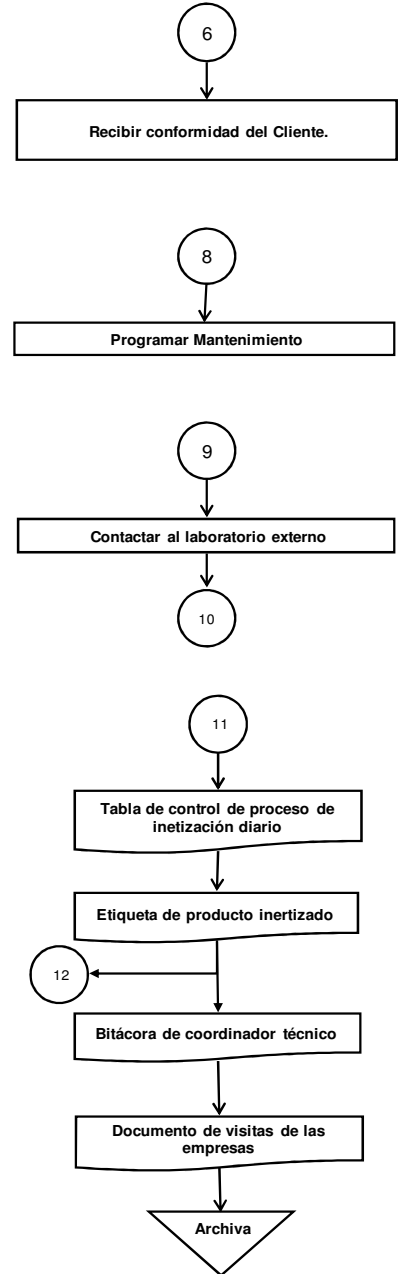
FLUJO DEL PROCESO DE INERTIZADO DE LUMINARIA



OPERARIO



COORDINADOR

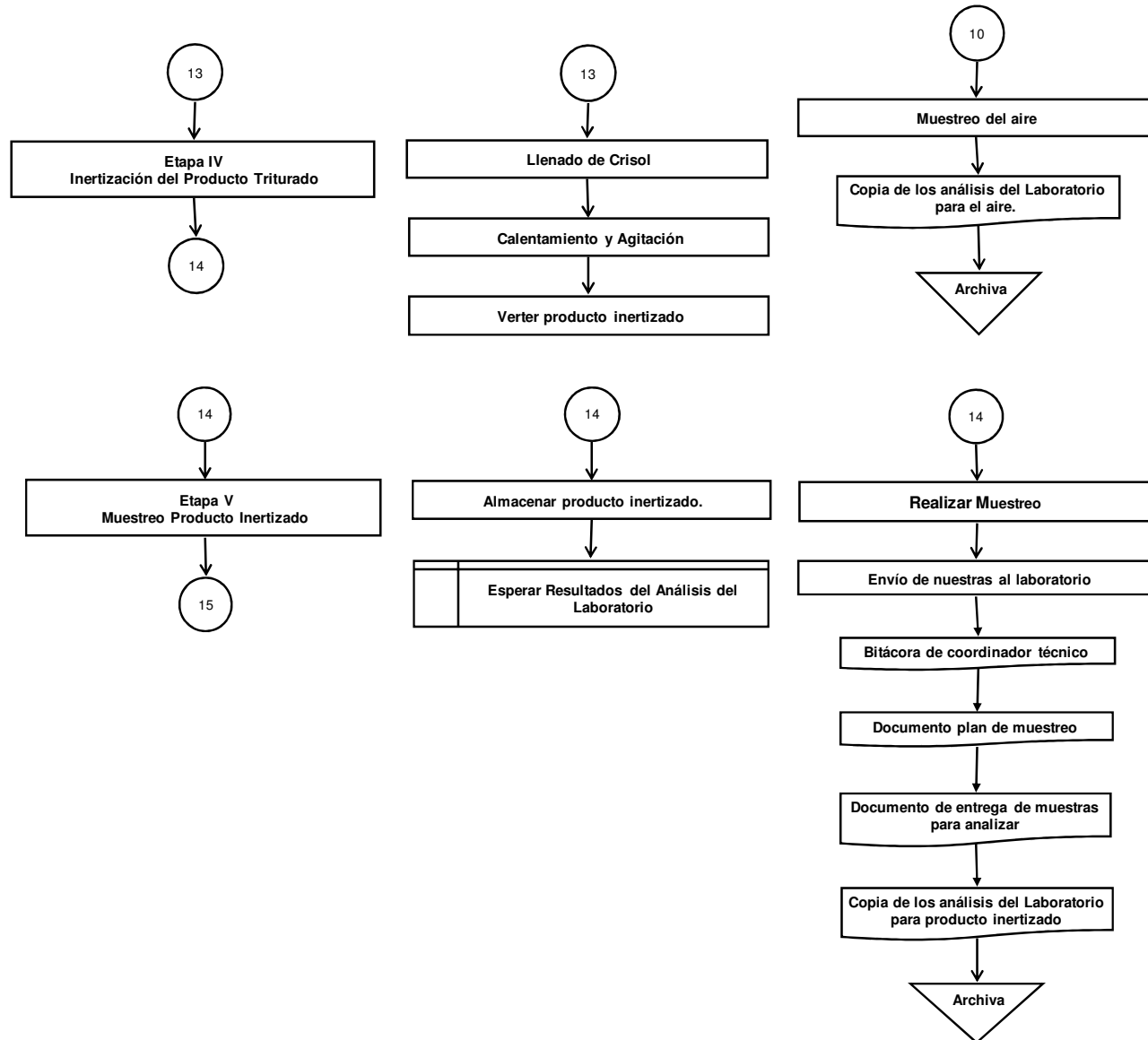


Continúa Apéndice 1

FLUJO DEL PROCESO DE INERTIZADO DE LUMINARIA

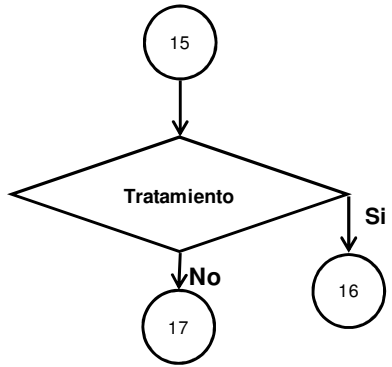
OPERARIO

COORDINADOR

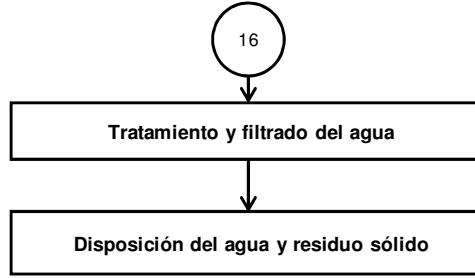


Continúa Apéndice 1

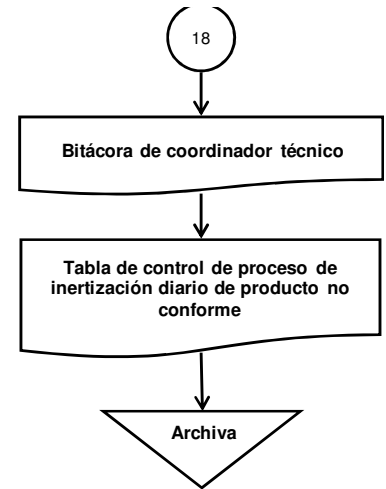
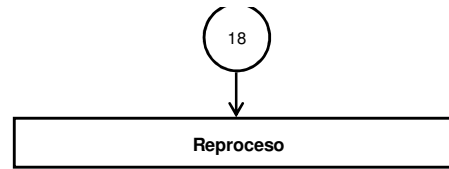
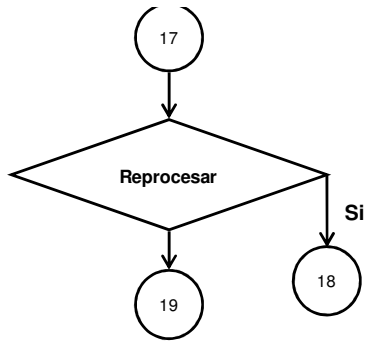
FLUJO DEL PROCESO DE INERTIZADO DE LUMINARIA



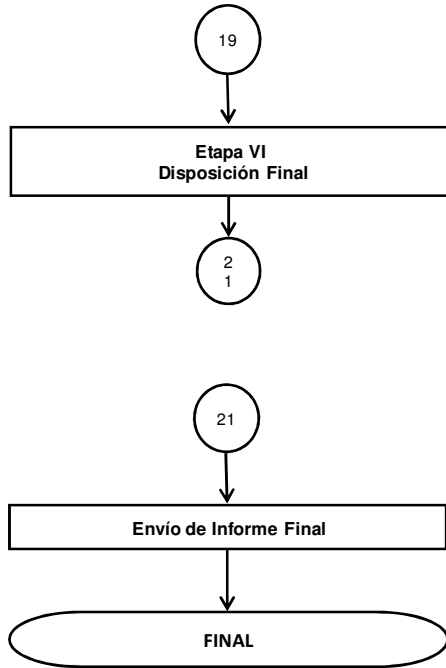
OPERARIO



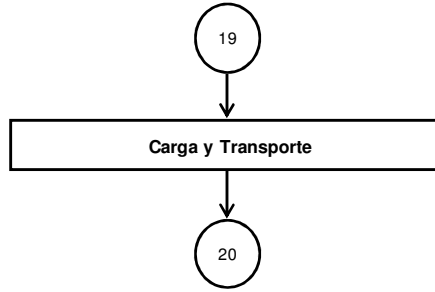
COORDINADOR



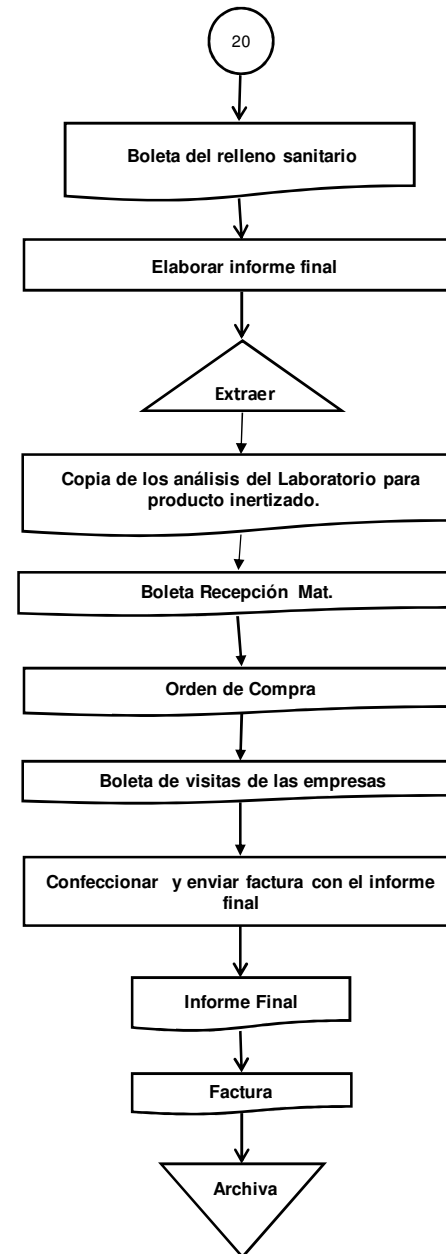
FLUJO DEL PROCESO DE INERTIZADO DE LUMINARIA



OPERARIO



COORDINADOR



APÉNDICE 2

Manual de Procedimientos.

Apéndice 2: Manual de Procedimientos

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
PROTECCIÓN AMBIENTAL (CIPA)**

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

CODIGO: PLHg 00 CIPA

REVISIÓN 01

FEBRERO 2008

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

1. PROPÓSITO:

Permitir conocer la secuencia cronológica y secuencial de las operaciones para el proceso de inertización del mercurio de luminarias. Con el fin de disminuir los errores, omisiones e inconsistencias favoreciendo un proceso ordenado.

2. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN:

Este manual se aplica para todos los procedimientos y etapas del proceso de inertización del mercurio de luminarias.

Contar con un instrumento adecuado para el manejo del control interno y del proceso, para realizar todas las operaciones de forma adecuada y contribuir a la inducción de personal nuevo.

<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>	
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>	
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>	

Continúa Apéndice 2

TABLA DE CONTENIDOS:

- 1. *PROPÓSITO:*.....
- 2. *ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN:*.....
- 3. *TABLA DE CONTENIDOS:*.....
- 4. *INTRODUCCIÓN:*
- 5. *ESTRUCTURA ORGANIZATIVA:*.....
- 6. *FLUJO DEL PROCESO:*.....
- 7. *POLÍTICA AMBIENTAL:*.....
- 8. *REGULACIONES APLICABLES:*.....
- 9. *CUADROS DE CONTROL:*.....
- 10. *DEFINICIONES:*.....
- 11. *APENDICES:*.....

INTRODUCCIÓN:

El Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) adscrito a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). El CIPA es un Centro que se dedica a la investigación científica y tecnológica y a la transferencia de tecnologías limpias en el área ambiental, orientado hacia el manejo sostenible de los recursos.

Las áreas de trabajo del CIPA que desarrolla a través a la investigación y extensión son las siguientes:

- a. Deterioro y saneamiento ambiental
- b. Manejo y aprovechamiento de biodiversidad tropical
- c. Educación Ambiental
- c. Energías alternativas
- d. Ecología de los asentamientos humanos
- e. Gestión económica del ambiente

Actualmente cuenta con una asamblea técnica de 21 profesores investigadores interdisciplinarios. La misión del centro es contribuir con el desarrollo sostenible del país por medio de la prevención, minimización, control y mitigación de problemas ambientales y el planteamiento de soluciones integrales a través de la investigación y extensión.

La visión es ser un Centro de Investigación consolidado, reconocido nacional y regionalmente para la solución de problemas ambientales, con base en mega proyectos, infraestructura y equipo moderno, auto sostenible, accesible y amistoso con la comunidad.

En el siguiente manual se describen los 11 procedimientos para llevar a cabo el proceso de inertización del mercurio en luminarias. En cada uno de los procedimientos se detalla el propósito del procedimiento, los alcances y objetivos, así como una guía detallada de cada etapa que involucra ese procedimiento. Por otra parte define las responsabilidades de los involucrados de llevar a cabo el proceso, establece la documentación que este procedimiento requiere, así como las legislaciones a ser cumplidas en las respectivas etapas, ya que consiste en el tratamiento de un desecho clasificado como peligroso.

Continúa Apéndice 2

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA:

En el Centro sus miembros conforman la ASAMBLEA CIPA, los cuales definen las directrices, lineamientos y el desarrollo de nuevos proyectos de investigación, los cuales se pueden desarrollar vía Tecnológico a través de la Vicerrectoría de investigación o a través de la Fundación Tecnológica.

Los proyectos que son desarrollados a través de la Fundación Tecnológica, la ASAMBLEA nombra un COMITÉ TÉCNICO conformado por tres de sus miembros.

Para el manejo y la administración del centro, este cuenta con un coordinador, el cual es nombrado por la ASAMBLEA CIPA y ratificado por el concejo de la Escuela de Química.

El coordinador debe de velar y dar las facilidades para la ejecución e implementación de todos los proyectos adscritos al centro, tanto los de la Vicerrectoría de Investigación como los realizados a través de la Fundación Tecnológica, entre los proyectos que están adscritos a la Fundación se encuentra el proyecto de luminarias que es el caso de estudio de la presente investigación, como se muestra en la siguiente figura el organigrama y ubicación del proyecto luminaria:

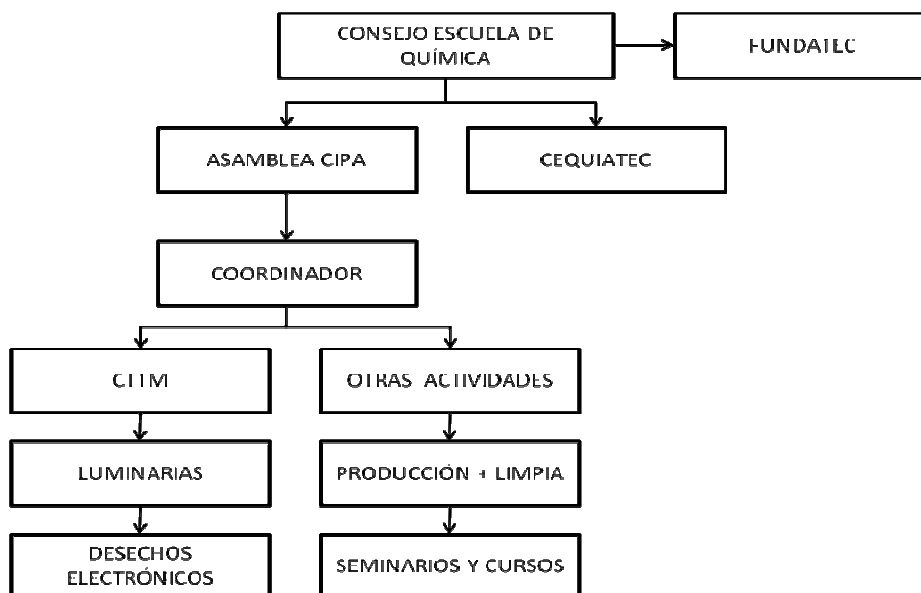


Figura 1. Organigrama de CIPA, enero 2008

Continúa Apéndice 2

FLUJO DEL PROCESO:

En el siguiente cuadro se detallan las etapas del proceso de inertización de mercurio de luminarias, así como las variables del proceso las cuales se deben de controlar y la documentación que se genera en cada etapa.

Cuadro #1: Descripción de las etapas, variables y documentos requeridos para el proceso de inertización de mercurio de luminarias:

ETAPA	VARIABLES DEL PROCESO	DOCUMENTOS GENERADOS
Recepción de Luminarias.	Tipo de Embalaje.	Orden de compra #000 Boleta de Recepción de materiales en planta #001
Inventario de Luminarias.	Diferencia en cantidad de luminaria	Boleta de Control de inventario#002 Etiqueta de inventario #003 Documento Reporte de inventario al Cliente #004 Boleta de visitas de las empresas #009
Mantenimiento de Equipos	Número de luminarias procesadas	Registro de control de mantenimiento #005 Boleta para bitácora del coordinador #006
Trituración de Luminarias	Tiempo de Trituración. Cantidad de Luminaria. Monitoreo del aire. Separación del vidrio y el metal	Boleta para bitácora del coordinador #006 Tabla control del proceso de inertización #008 Copia de los análisis del monitoreo del aire #019
Proceso de inertización	Calentamiento del Azufre. Proporción Vidrio/Azufre. Velocidad de Mezclado. Tiempo de Mezclado. Homegeneidad de la Mezcla Fluides de la Mezcla Tiempo de verddido de la Mezcla,	Tabla control del proceso de inertización #008
Control del Agua del Colector	Concentración del Mercurio en el agua	Tabla de control de tratamiento del agua #017 Informe del análisis del agua #018
Muestreo del Producto Inertizado	Número de Muestras	Etiqueta del Recipientes producto inertizado #007. Documento Plan de muestreo #010 Copia del análisis del productos inertizado #012
Reproceso	Concentración del Mercurio	Tabla de control de reproceso #016
Disposición Final del Producto		Boleta de disposición del relleno sanitario #013
Informe Final al Cliente.		Documento del Informe Final #014

La siguiente figura 2 define y describe el flujo del proceso de inertización del mercurio, donde se señalan cada una de las etapas de este proceso, sus pasos de entrada, salidas, así como las personas involucradas y la documentación respectiva.

Continúa Apéndice 2

EN ESTE PUNTO SE INCLUYE EL FLUJO DEL PROCESO

POLÍTICA AMBIENTAL:

Política Ambiental:

Somos una empresa comprometida con el medio ambiente que se dedica al tratamiento de desechos peligrosos con el fin de disminuir su impacto y a su vez colaboramos con la gestión ambiental de nuestros clientes. Aplicando el principio de sostenibilidad ambiental en la planificación, ejecución y evaluación de todos nuestros procesos.

Esta política se alcanzará cumpliendo cinco principios:

PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN: Se diseñarán planes de gestión de los residuos ordinarios, reciclables, especiales y se implementarán en cada PROCESO de trabajo, así como en el desarrollo de las labores, previniendo toda forma de contaminación generada por nuestras actividades.

CUMPLIMIENTO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL: Cumpliremos con la legislación ambiental vigente, directrices gubernamentales y compromisos adquiridos en materia ambiental, según nuestras actividades.

ADQUISICIONES Y CONTRATACIONES AMBIENTALMENTE RESPONSABLES: Procederemos a establecer, supervisar y cumplir las condiciones ambientales requeridas para la adquisición de materiales, equipos, servicios requeridos por nuestra actividad.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL: Desarrollaremos el sistema de Gestión Ambiental tomando como parámetro los requisitos de la Norma INTE-ISO 14001, para los procesos de recepción, inventarios, tratamiento, almacenamiento, muestreo, análisis químicos, control de emisiones, tratamientos de aguas del proceso y disposición final.

RESPONSABILIDAD SOCIAL: la empresa llevará una actividad responsable que permita contribuir con la calidad de vida de las comunidades, al disminuir el impacto negativo generado por un mal tratamiento y disposición de los desechos peligrosos.

Continúa Apéndice 2

REGULACIONES APLICABLES:

En el siguiente cuadro se indican todas las regulaciones que deben de aplicarse para prevenir y controlar impactos negativos al ambiente y a las personas al realizar el proceso de inertización del mercurio en luminarias.

Cuadro # 2: Legislación requerida para el proceso de inertización del mercurio en luminarias:

Actividad	Reglamento	Limite Máximo	Requerimientos
Almacenar antes de Tratar por parte del cliente	D-27001-MINAE Artículo 6 - acumulación		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Para la acumulación el operario debe de almacenar en el empaque original o en grupos de cinco debidamente embalados. ➤ Rotulación: debe contener una rotulación que indique que son desechos peligrosos. ➤ No se debe de quebrar la luminaria para reducir el volumen. ➤ Debe de tener una ubicación definida y no realizar mezclas entre desechos peligrosos.
Transportar antes de Tratar	D-24715-MOPT-MEIC-S		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rotulación del transporte según norma. ➤ Acondicionamiento del vehículo según Reglamento. ➤ Manifiesto de transporte. ➤ Debido a que los vehículos autorizados para el transporte de desechos peligrosos deben de cumplir requisitos muy rigurosos según Reglamento, se recomienda el alquiler de un transporte acondicionado para este servicio.
Almacenar antes de Tratar en Planta CIPA	D-27001-MINAE Artículo 6 - acumulación		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Para la acumulación se debe de almacenar en el empaque original o en grupos de cinco debidamente embalados. ➤ Rotulación: debe contener una rotulación que indique que son desechos peligrosos. ➤ No se debe de quebrar la luminaria para reducir el volumen. ➤ Se debe de almacenar en el área previamente definida.
Requisitos de Protección al Trabajador	D-1 Reglamento general de SHO capitulo V		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Requisitos de protección al trabajador para la manipulación de sustancias peligrosas.
Determinar Mercurio en el Aire	NIOSH-1992	0,05 mg/m ³	<ul style="list-style-type: none"> ➤ NIOSH ha establecido la exposición máxima recomendable de vapor de mercurio en 0.05 mg/m³ para un trabajador expuesto durante 10 horas al día durante 40 horas de trabajo a la semana.
Determinar Mercurio Producto Inertizado	D-27000-MINAE	0,2 mg/litro	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En el lixiviado extraído del sólido inertizado se debe de cumplir con reglamento para llevar a cabo la prueba de extracción y determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
Determinar Mercurio en Agua	D-26042 Reglamento de vertido y re- uso de aguas residuales	0,01 mg/litro	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El agua de proceso una vez tratada no debe ser mayor de lo especificado en este reglamento.
Disponer de Producto Inertizado	D-27000-MINAE		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Que el desecho o cualquier constituyente que entre al ambiente no acarree ningún tipo de problema a este.

Continúa Apéndice 2

CUADROS DE CONTROL:

El cuadro #3 corresponde a la nomenclatura del manual de procedimientos y los once procedimientos de cada etapa del proceso de inertización, así como su respectiva revisión controlada.

Cuadro #3. Nomenclatura de Procedimientos y Manual del Proceso de inertización del mercurio en luminarias.

	NOMBRE	PROCESO	REVISIÓN #
1	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	PLHg 00	01
2	PROCEDIMIENTO DE RECEPCIÓN DE MATERIALES	PLHg 01	01
3	PROCEDIMIENTO DE INVENTARIOS	PLHg 02	01
4	PROCEDIMIENTO DE ACONDICIONAMIENTO DE LUMINARIAS	PLHg 03	01
5	PROCEDIMIENTO DE INERTIZACIÓN	PLHg 04	01
6	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	PLHg 05	01
7	PROCEDIMIENTO DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL	PLHg 06	01
8	PROCEDIMIENTO DE DISPOSICIÓN FINAL	PLHg 07	01
9	PROCEDIMIENTO DE INFORME FINAL	PLHg 08	01
10	PROCEDIMIENTO DE NO CONFORMIDADES	PLHg 09	01
11	PROCEDIMIENTO TRATAMIENTO DE AGUAS	PLHg 10	01
12	PROCEDIMIENTO MEDICION DE EMISIONES AL AIRE	PLHg 11	01

Las once etapas del procedimiento de inertización del mercurio en luminarias generan un total de diecinueve documentos de control. En el cuadro #4 se muestra la codificación de estos documentos así como se indica la etapa del proceso donde se utilizan.

	NOMBRE	PROCESO	CODIGO DEL DOCUMENTO
1	ORDEN DE COMPRA	PLHg 01	000
2	BOLETA DE RECEPCION DE MATERIALES EN PLANTA	PLHg 01	001
3	BOLETA DE CONTROL DE INVENTARIO	PLHg 02	002
4	ETIQUETA DE INVENTARIO	PLHg 02	003
5	REPORTE DE INVENTARIO AL CLIENTE	PLHg 02	004
6	BOLETA DE REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO	PLHg 03	005
7	BOLETA PARA BITÁCORA DEL COORDINADOR	PLHg 03	006
8	ETIQUETA DE PRODUCTO INERTIZADO	PLHg 04	007
9	TABLA DE CONTROL PROCESO DE INERTIZACION	PLHg 04	008
10	BOLETA DE VISITA DE LAS EMPRESA	PLHg 04	009
11	DOCUMENTO PLAN DE MUESTREO	PLHg 05	010
12	DOCUMENTO DE ENTREGA DE MUESTRAS PARA ANALIZAR	PLHg 05	011
13	COPIA DE LOS ANÁLISIS DEL LABORATORIO PARA EL PRODUCTO	PLHg 06	012
14	BOLETA DE RELLENO SANITARIO	PLHg 06	013
15	INFORME FINAL AL CLIENTE	PLHg08	014
16	FACTURA ORIGINAL PARA TRAMITE DE PAGO DEL SERVICIO	PLHg08	015
17	TABLA DE CONTROL PROCESO NO CONFORME	PLHg 09	016
18	TABLA DE CONTROL DE TRATAMIENTO DE AGUAS	PLHg 10	017
19	COPIA DE LOS ANÁLISIS DEL LABORATORIO PARA EL AGUA	PLHg 10	018
20	COPIA DE LOS ANÁLISIS DEL LABORATORIO PARA EL AIRE	PLHg 11	019

Continúa Apéndice 2

DEFINICIONES:

Los siguientes términos son algunos de los más utilizados dentro del área, lo que se pretende es ayudar a precisar conceptos para que el presente manual sea comprendido en su totalidad.

Ambiente: Entorno en el cual opera una organización e incluye el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones. Los entornos en este contexto abarcan desde el interior de una organización hasta el entorno global.

Almacenamiento

Depósito temporal de residuos, con carácter previo a su valorización o eliminación, por tiempo inferior a dos años o a seis meses si se trata de residuos peligrosos, a menos que reglamentariamente se establezcan plazos inferiores.

No se incluye en este concepto el depósito temporal de residuos en las instalaciones de producción con los mismos fines y por períodos de tiempo inferiores a los señalados en el párrafo anterior.

Aspecto ambiental: Elementos, actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente. Un aspecto ambiental significativo es aquel que tiene o puede tener un impacto sobre el ambiente.

Bombillas de vapor de mercurio: Se denominan bombillas de vapor de mercurio a las bombillas de descarga en gas que contienen mercurio en su interior. Estas son de baja o alta presión.

Bombillas de mercurio de baja presión (Tubos fluorescentes): Los tubos fluorescentes constan de una envoltura de vidrio, cubierta interiormente con compuestos de fósforo y dos cátodos, uno en cada extremo, con electrodos los cuales conducen la energía desde y hacia los cátodos. La radiación emitida es primordialmente ultravioleta, y por tanto se requiere la capa de fósforo para absorber la energía y convertirla a radiación visible. El electrodo de estos tubos, esta generalmente compuesto por un revestimiento de tungsteno. Debido a que el material termo-emisor de los electrodos se va evaporando, especialmente durante los arranques, los arranques frecuentes reducen la vida de la bombilla.

Contaminación: Alteración reversible o irreversible de los ecosistemas o de alguno de sus componentes producida por la presencia o la actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado.

Contaminante: Agentes (microorganismos, sustancias químicas o formas de energía como calor o ruido) liberados al medio por alguna actividad humana y que producen efectos perjudiciales.

Continúa Apéndice 2

Contenedor: Cualquier recipiente en el cual un material es almacenado, transportado o manipulado de algún modo.

Diagrama de Flujo: Es una representación gráfica de los pasos que seguimos para realizar un proceso; partiendo de una entrada, y después de realizar una serie de acciones, llegamos a una salida.

Disposición final: Toda operación de eliminación de residuos peligrosos que implique la incorporación de los mismos a cuerpos receptores, previo tratamiento obligatorio en los casos que así corresponda. Constituyen disposiciones finales las siguientes operaciones de eliminación: el depósito permanente dentro o sobre la tierra, la inyección profunda, el embalse superficial, los rellenos especialmente diseñados, los vertidos y emisiones resultantes de operaciones de tratamiento, reciclado, regeneración y reutilización de residuos peligrosos, etc.

Envenenamiento por mercurio: El vapor de mercurio y sus sales solubles en agua corroe las membranas del organismo. El organismo humano no se puede deshacer del mercurio, por lo tanto, éste se va acumulando paulatinamente en los tejidos. Con el tiempo, si no se trata, el envenenamiento por mercurio puede causar dolor, entumecimiento, músculos débiles, pérdida de la vista, parálisis y aún la muerte.

Impacto ambiental: Cualquier cambio en el ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante de las actividades, productos o servicios de una organización.

Luminarias: Corresponde a la identificación de los tubos fluorescentes o bombillas de alumbrado público, las cuales contienen mercurio.

Manual de Procedimientos: Es un documento organizacional mediante el cual, se logra establecer una guía y orden sobre la ejecución de los procesos productivos.

Mercurio (Hg): Elemento químico del grupo VIII, de número atómico 80 y masa atómica 200,59. Por su bajo punto de fusión (-38,84° C) es el único metal líquido a temperatura ambiente. El mercurio suele encontrarse en las baterías, relés, conmutadores, lámparas, tubos fluorescentes, etc. Es un metal pesado muy tóxico que se acumula en los organismos a través de las cadenas tróficas en forma de metil-mercurio, dañando el sistema nervioso.

Procedimiento: Es una secuencia lógica de pasos u operaciones que conducen a la prestación de un servicio o a la producción de un bien o servicio.

Residuos peligrosos: Aquellos que figuren en la lista de residuos peligrosos, aprobada por la legislación costarricense, así como los recipientes y envases que los hayan contenido. Los que hayan sido calificados como peligrosos por la normativa comunitaria.

Continúa Apéndice 2

Vertedero: Lugar donde se depositan residuos de origen urbano o industrial. Puede tratarse únicamente de una acumulación incontrolada, con los consiguientes riesgos de incendio, sanitarios y ambientales, o de una instalación o vertedero controlado donde los residuos reciben algún tipo de tratamiento o almacenamiento.

Vertedero controlado: Instalación de eliminación de residuos que se utiliza para el depósito controlado de los residuos en la superficie o bajo tierra.

Vertedero incontrolado: Lugar para verter materiales de desecho en el cual no se toman medidas.

APENDICES:

Procedimientos de todas las etapas del proceso de inertización del mercurio en luminarias.

Continúa Apéndice 2

RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LUMINARIAS EN PLANTA

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso de recepción de luminarias que contienen mercurio y su almacenamiento. Las luminarias pueden ser de dos tipos fluorescentes o bombillas de alumbrado público.

2. ALCANCE:

Este procedimiento es aplicable para lámparas fluorescentes o bombillas de alumbrado público que contienen mercurio e ingresan al Centro de Transferencia y Transformación de Materiales (CTTM).

3. LIMITACIONES:

Este procedimiento no contempla las áreas adyacentes del CTTM.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

Durante la recepción de las luminarias el operario debe utilizar el equipo de protección personal, la máscara para polvos, los guantes de cuero, la gabacha, el delantal, los anteojos y /o careta.

EL Coordinador técnico se pondrá de acuerdo con la empresa a la que se le brinda el servicio el día de entrega del material, y le avisará al operario para que realice la recepción de las luminarias.

El operario debe recibir de la empresa una copia de la orden de compra enviada por ellos.

4. PROCEDIMIENTO:

El operario debe completar la boleta de recepción de materiales en planta (Documento # 001, anexo1), anotando el consecutivo (por ejemplo: 001-2008) firmarla en conjunto con la persona de la empresa, el cual indica que se procederá a realizar un inventario para corroborar las cantidades declaradas por la empresa y se enviara un reporte de este a la empresa. Debe entregarle el original a la empresa y dos copias al coordinador técnico.

El representante de la empresa debe entregar al operario la orden de compra donde declara la cantidad de luminarias entregadas a la planta, el cual debe tener la fecha, cantidad y tipo de lámpara, nombre y firma de la persona que lo entrega. Adjuntarla a la boleta de recepción de materiales en planta. El coordinador técnico archiva las boletas para adjuntarlas en el informe que se le enviará al cliente una vez finalizado el servicio.

El operario debe acomodar de forma adecuada, si las luminarias vienen en cajas de cartón entarimarlas, si son fluorescentes sueltos depende del tamaño y la cantidad se pueden colocar en forma vertical en estaciones o hacer grupos de cinco fluorescentes amarrados con cinta adhesiva. Es preferible almacenarlos en las cajas donde venían de la fábrica.

Coordinador técnico.

Es el responsable de fiscalizar que se cumpla el procedimiento.

5. RESPONSABILIDADES:

Operario de Planta.

Cumplir con el procedimiento y las medidas de seguridad en la recepción de luminarias en planta.

Copia de la orden de compra de la empresa solicitando a Fundatec el servicio.

Boleta de recepción de materiales en planta documento #001.

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Normativa de transporte de desechos peligrosos, D-24715-MOPT-MEIC-S.

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capitulo V.

Continúa Apéndice 2

INVENTARIO EN PLANTA

1. PROPÓSITO:

Este procedimiento es para corroborar la cantidad de lámparas enviadas por el cliente.

2. ALCANCE:

Describir el proceso de inventario de las lámparas sin tratar y recibidas según procedimiento PLHg-01 Procedimiento de recepción y almacenamiento de luminarias en planta.

3. LIMITACIONES:

Para el proceso de inventario si las luminarias entregadas se encuentran quebradas, generan problemas de conteo y de seguridad en la manipulación.

<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>	
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>	
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>	

Continúa Apéndice 2

El proceso de inventario debe realizarse en los primeros ocho días de ingresado el material.

Para realizar el inventario el operario debe contar con la boleta de control de inventario (Documento #002 ver anexo 1), donde debe apuntar los datos del levantamiento físico del inventario.

Durante el inventario el operario debe utilizar anteojos, mascarilla, delantal y guantes.

En lo posible se deben utilizar cajas de cartón del mismo tamaño, colocadas sobre tarimas de madera, y entarimarlas si son bombillos de alumbrado público en tres camas de cajas por tarima, si son fluorescentes almacenarlos en sus respectivas cajas de fabrica o en los estañones colocados de forma vertical o en grupos de cinco amarrados con cinta adhesiva de acuerdo al tamaño y entarimarlos.

4. PROCEDIMIENTO:

Se debe determinar la cantidad máxima de bombillos de alumbrado público por caja de cartón, de tal modo que la caja se pueda cerrar fácilmente y no quede demasiada llena que provoque inestabilidad a la hora de entarimado.

En las cajas o bultos inventariados se colocará una etiqueta (Documento #003 ver anexo 2) con el número de caja, consecutivo de la boleta de recepción, fecha y nombre de la empresa.

A la hora de entarimar la etiqueta debe quedar visible para cualquier Inspección.

El operario entregara la boleta de control de inventario al coordinador técnico.

El coordinador técnico realizará un chequeo físico del inventario.

Coordinador técnico.

Es el responsable de controlar y supervisar que el inventario se realice adecuadamente.

Suministrar la boleta de control de inventario (Documento #002, anexo1) y las etiquetas (Documento #003, anexo 2) al operario para que anote los datos del inventario.

5. RESPONSABILIDADES:

Revisar la boleta de control de inventario y generar un documento indicando el resultado del inventario a la empresa que se le esta brindando el servicio, reporte de inventario (Documento #004).

Operario de Planta.

Cumplir con el procedimiento y las medidas de seguridad en la realización del inventario y el almacenamiento de las lámparas en la planta.

Continúa Apéndice 2

Boleta de control de inventario en planta (Documento #002, anexo 1).

Etiqueta de inventario (Documento #003, anexo 2).

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Informe del resultado del inventario a las empresas que solicitaron el servicio (Documento #004, anexo 3).

Decreto de almacenamiento de desechos peligrosos, D-27001-MINAE Artículo 6 –acumulación.

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capitulo V.

Continúa Apéndice 2

ACONDICIONAMIENTO Y LIMPIEZA DE MAQUINARIA Y EQUIPO

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso de acondicionamiento, limpieza, mantenimiento del equipo y seguridad.

2. ALCANCE:

Este procedimiento es para antes y durante las operaciones de tratamiento.

3. LIMITACIONES:

Si la maquinaria y equipo no están adecuadamente acondicionados y provocan contaminación ambiental, se debe detener el proceso inmediatamente para corregir las fallas.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

4.1 ACONDICIONAMIENTO DEL AREA DE TRABAJO:

El operario debe utilizar anteojos, mascarilla, delantal y guantes.

El operario mantendrá el área de trabajo ordenado para evitar accidentes y contar con fácil salida.

El extintor tipo AB, no debe estar obstruido y chequearse que este en buen estado, si no informar al coordinador técnico.

Chequear que los extractores de pared y el equipo de tratamiento funcione adecuadamente, sino reportarlo inmediatamente al coordinador.

4.2 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS E IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD PERSONAL:

El operario debe contar con los equipos de protección personal adecuados y es el coordinador técnico el encargado de proveerlos.

El operario diariamente debe limpiar la mascarilla con agua o alcohol y guardarla en una bolsa plástica en conjunto con los filtros. Se deben tener dos pares de filtros de repuesto y cuando quede un par el coordinador técnico debe enviar a comprar otros repuestos.

Los guantes deben ser de cuero, el delantal de cuero o plástico, los anteojos y orejeras de plástico, los cuales se cambiarán cuando ya no cumplan con su función (se rompan guantes, anteojos y delantal y los filtros cuando estén saturados y le cueste respirar) se mantendrá dos pares de repuesto de cada uno.

4. PROCEDIMIENTO:

4.3 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS Y MAQUINARIA:

El coordinador técnico debe programar un mantenimiento preventivo del equipo de tratamiento cada 5000 lámparas el cual consiste:

- Engrase general.
- Verificación y Control de fuga.
- Cambio de filtros de mangas.
- Ajuste de la tapa del triturador.
- Limpieza del ducto de extracción de polvos.
- Limpieza de Crisol.
- Limpieza del quemador.
- Revisión de los extractores de aire.
- Revisión del panel de control.
- Revisión del panel principal (caja de alimentación principal).
- Pintura general de cubiertas si es requerido.

El operario limpiara los equipos de tratamiento, diariamente y reportara cualquier desperfecto al coordinador técnico, mediante el Registro de control de mantenimiento del equipo de tratamiento de luminarias (Documento #005, anexo 1).

Coordinador técnico.

Es el responsable de controlar y fiscalizar que el procedimiento anterior se cumpla.

Suministrar los equipos de protección personal al operario.

5. RESPONSABILIDADES:

Programar el mantenimiento preventivo del equipo de tratamiento.

Hacer anotación en la Bitácora del Coordinador, libro de actas, (Documento #006, anexo 2)

Operario de Planta.

Cumplir con el procedimiento anterior.

Registro de control de mantenimiento del equipo de tratamiento de luminarias (Documento #005, anexo 1).

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Bitácora del coordinador, libro de acta (Documento #006, anexo 2).

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capítulo V.

Continúa Apéndice 2

MUESTREO Y ANÁLISIS

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso: muestreo y envío a realizar análisis.

2. ALCANCE:

Muestreo de los lotes de lámparas inertizadas por cada boleta de recepción.

3. LIMITACIONES:

Este procedimiento no puede llevarse a cabo si el número de recipientes no concuerda con el número de muestras.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

El lote, es el conjunto de recipientes con producto inertizado, debidamente rotulados (número, fecha y empresa, etiqueta # 007), del tratamiento de una cantidad dada de lámparas. (la cantidad de recipientes con producto inertizado se representa como la letra N).

4. DEFINICIONES:

La cantidad de muestras para analizar: es el numero de recipientes con producto inertizado escogidos al azar a través de una herramienta de Microsoft Excel (el tamaño de la muestra se representa como n)

Muestreo aleatorio simple es aquel en que cada recipiente con producto inertizado del lote total tiene la misma probabilidad de ser seleccionado para integrar las muestras para analizar.

Finalizado el tratamiento de una orden de servicio de una empresa y de acuerdo a la cantidad de recipientes con sus muestras respectivas, se procederá a la recolección de las muestras que se envían a analizar.

5.1 Determinación del número de muestra para analizar y su recolección:

La cantidad de muestras para analizar de un lote de recipientes con producto inertizado, se calcula usando la Regla de Stuger: $n = 1 + 3.3 \log n$ o la raíz de n .

Para determinar el numero de muestras para enviar a analizar se utiliza el programa de EXCEL ver ejemplo al final del documento.

5. PROCEDIMIENTO:

5.2 Análisis de las muestras:

Una vez determinada la cantidad de muestras se homogenizan y es la muestra que se envía a analizar.

Se deben realizar el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. (decreto 27002-MINAE).

El proceso de extracción se realizara a través del método TCLP 1311(TCLP por su nombre en inglés, Toxicity Characteristic Leaching Procedure) y los extractos serán enviados a dos laboratorios diferentes, para analizar la presencia de mercurio.

Continúa Apéndice 2

6. RESPONSABILIDADES:

Coordinador técnico.

Realizar la toma de las muestra de acuerdo al plan de muestreo y homogenizarlas para analizar.

Enviar las muestras para ser analizadas.

Operario de Planta.

Almacenar los recipientes con producto inertizado y las muestras debidamente rotuladas de los recipientes.

Bitácora de coordinador técnico donde se realiza el muestreo, documento # 006.

Documento plan de muestreo #010.

7. DOCUMENTOS APLICABLES

Documento de entrega de muestras para analizar, #011.

Copia de reglamento decreto 27002-MINAE.

Copia Método TCLP Método 1311.

Continúa Apéndice 2

Para determinar el número de muestras representativas y aleatorias por lote, se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \left[\frac{\sigma Z_{1-\alpha/2}}{d} \right]^2$$

Donde:

n = tamaño de muestra.

σ = es la desviación estándar de la población.

Z = es 1,96 con un nivel de confianza del 95%.

d = es el error máximo permisible estimado.

La desviación estándar se obtiene al introducir los datos del histórico en la herramienta MiniTab 15.

Una vez determinado la cantidad de muestras que se deben analizar, estas se escogerán al azar utilizando la función aleatoria de la herramienta de Microsoft Excel siguiendo los siguientes pasos:

1. Se le asignan a cada recipiente un rango entre 0 y 1, por ejemplo para la población de 25 a cada recipiente le corresponde el 1/25 partes.
2. Estos rangos se tabulan en la hoja excel.
3. Se busca en herramientas la función Número Aleatorio.
4. Se copia la fusión en seis casillas libres.
5. Se ejecuta la función y se obtienen los seis números de los recipientes a ser seleccionados.

Continúa Apéndice 2

Documento # 010 Formato del plan de muestreo:

# de Recipiente	Rango	Valor Aleatorio
1	0,000 - 0,039	0,502
2	0,040 - 0,079	
3	0,080 - 0,119	0,053
4	0,120 - 0,159	
5	0,160 - 0,199	0,567
6	0,200 - 0,239	
7	0,240 - 0,279	0,667
8	0,280 - 0,319	
9	0,320 - 0,359	0,379
10	0,360 - 0,399	
11	0,400 - 0,439	0,234
12	0,440 - 0,479	
13	0,480 - 0,519	
14	0,520 - 0,559	
15	0,560 - 0,599	
16	0,600 - 0,639	
17	0,640 - 0,679	
18	0,680 - 0,719	
19	0,720 - 0,759	
20	0,760 - 0,799	
21	0,800 - 0,839	
22	0,840 - 0,879	
23	0,880 - 0,919	
24	0,920 - 0,959	
25	0,960 - 1,000	

Continúa Apéndice 2

Formato del documento 011 de entrega de muestras para analizar, de estilo carta:

Ejemplo:

Cartago, día, mes, año

Señores:

Nombre del laboratorio que realiza el análisis

Nombre del contacto.

Por medio del presente le envío una muestra #_____ de desechos de luminarias del lote #_____ para analizar por el método y procedimiento para determinar las características de toxicidad por lixiviación test TCLP-1311, y análisis del mercurio por absorción atómica.

Agradezco la atención a la presente,

Nombre encargado de enviar la nota.

Copia archivo

Continúa Apéndice 2

ALMACENAMIENTO MOMENTÁNEO

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso: Almacenamiento temporal del producto inertizado.

2. ALCANCE:

Este procedimiento se aplica al producto inertizado en espera de los resultados de laboratorio.

3. LIMITACIONES:

No se puede disponer para envío al relleno sanitario, del producto inertizado hasta no tener la confirmación de los resultados del laboratorio de acuerdo a la normativa.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

4. PROCEDIMIENTO:

El operario debe Almacenar el lote con los recipientes con producto inertizado, hasta que se obtengan los análisis de las muestras.

Los resultados de los análisis de las muestras deben indicar que la lixiviación no supera la norma nacional (Decreto MINAE 27000).

Si no cumple se procederá a reprocesar el producto inertizado no conforme mediante el procedimiento PLHg09.

Si cumple se procederá a su disposición final según el procedimiento PLHg07.

5. RESPONSABILIDADES:

5.1. Coordinador técnico.

Custodiar el lote de recipientes con productos inertizados, hasta que se puedan enviar al relleno sanitario.

Coordinar el envío de los productos inertizados al relleno sanitario, una vez cuando se cuenten con los análisis respectivos.

Coordinar el reproceso de producto no conforme.

5.2. Operario de Planta.

Tener los productos inertizados debidamente identificados y almacenados por lote, de acuerdo a la empresa.

Copia de los análisis documento #012.

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capítulo V.

Requerimiento de lixiviados de mercurio según decreto D-27000-MINAE.

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Continúa Apéndice 2

DISPOSICIÓN FINAL

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso: De disposición Final del producto inertizado.

2. ALCANCE:

Este procedimiento se aplica al producto inertizado enviado al relleno sanitario.

3. LIMITACIONES:

Este procedimiento no contempla la disposición de luminarias no tratadas ni por procesar no conforme.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

El producto ya inertizado debe transportarse en contenedores (recipientes plásticos), con los siguientes requerimientos:

Con un peso no mayor a 20 kilogramos que pueda ser manipulado por una persona.

4. PROCEDIMIENTO:

El recipiente debe estar en buen estado y libre de fugas.

Que el contenido no sobrepase la capacidad del recipiente.

La carga debe estar asegurada para que no se caiga a la hora de transportarla y debe hacerse en un camión de cajón cerrado.

Coordinador técnico:

Coordinar el envío de los productos inertizados al relleno sanitario, una vez cuando se verifiquen los resultados de los análisis respectivos.

5. RESPONSABILIDADES:

Operario de Planta:

Tener los productos inertizados debidamente identificados y acondicionado para el respectivo transporte según lo especifica este procedimiento.

Boleta del relleno sanitario, donde se indica que los materiales se enviaron al relleno sanitario documento #013.

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capítulo V.

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Requerimiento de lixiviados de mercurio según decreto D-27000-MINAE.

Requerimiento del análisis del agua según Decreto D-26042 Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales

Continúa Apéndice 2

INFORME FINAL

1. PROPÓSITO:

Describir el procedimiento de elaboración del informe final que se le envía a la empresa que se le brinda el servicio.

2. ALCANCE:

Este procedimiento contempla la documentación enviada a las empresas como documento final a las que se les brinda el servicio.

3. LIMITACIONES:

Este procedimiento se puede llevar a cabo si se tiene toda la documentación anotada en el apartado sexto (Documentación Aplicable) del presente documento.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

4. PROCEDIMIENTO:

Elaboración de una carta, para informar al cliente que el servicio de tratamiento se ha efectuado de forma adecuada, documento # 014.

Este documento debe contener la siguiente documentación: Orden de Compra, boleta de recepción de materiales, boletas de visitas, reporte de análisis de laboratorio y boleta de disposición del relleno sanitario.

Factura original para trámite de pago del servicio realizado, documento # 015.

Coordinador técnico.

Confección del informe final.

Solicitar la facturación del servicio.

Enviar documentos al cliente.

5. RESPONSABILIDADES:

Orden de Compra, documento # 000.

Boleta de recepción de materiales, documento # 001.

Boletas de visitas, documento # 009.

Reporte de análisis de laboratorio, documento # 012.

Boleta de disposición del relleno sanitario, documento # 013.

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Factura de cobro del servicio documento #015.

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capitulo V.

Requerimiento de lixiviados de mercurio según decreto D-27000-MINAE.

Requerimiento del análisis del aire según NIOSH-1992.

Requerimiento del análisis del agua según Decreto D-26042 Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales

Continúa Apéndice 2

NO CONFORMIDADES

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso de tratamiento del producto no conforme del proceso de inertización del mercurio en lámparas fluorescentes o bombillos de alumbrado público.

2. ALCANCE:

Corresponde al tratamiento del producto inertizado que no pasa la regulación nacional de lixiviados, por lo que se debe reprocesar.

Este procedimiento del tratamiento consiste en dos etapas: molienda y formación del producto inerte.

3. LIMITACIONES:

Este procedimiento es solamente para el reproceso de producto no conforme, no para luminarias sin tratar.

<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>	
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>	
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>	

Continúa Apéndice 2

Etapa de Molienda:

Durante el proceso el operario debe utilizar anteojos, mascarilla, delantal, taponés para oídos y guantes.

Agregar al molino de bolas el contenido de cuatro cubetas del producto no conforme, cerrar la tapa del molino.

Encender el extractor de polvos del equipo y los extractores de la planta.

Encender el molino por 8 minutos, para que se triture el producto no conforme, apagar el molino.

Abrir la tapa del molino y dejar caer el producto ya triturado sobre la tolva, el extractor del equipo debe permanecer encendido.

Repetir este procedimiento tres o cuatro veces dependiendo del tiempo, para obtener la cantidad necesaria, para proceder a la etapa de formación del producto inerte. El producto debe de colectarse en recipientes que superen los 20 kilogramos.

4. PROCEDIMIENTO:

Etapa de formar el producto inerte:

Durante el proceso el operario debe utilizar anteojos, mascarilla, delantal, y guantes.

Con los extractores encendidos, agregar 3 kilogramos de azufre al crisol, esperar hasta que se de la fusión del azufre.

Agregar lentamente 10 Kilogramos del producto no conforme, al azufre fundido y mezclarlo, hasta obtener una mezcla homogénea agitando con una pala metálica.

Vaciar el producto inertizado caliente, en un recipiente debidamente rotulado, con el número, fecha y con el número de consecutivo de la boleta de recepción de empresa de donde provienen las lámparas, también se tomar una muestra (la cantidad es una punta de pala que se utiliza para mezclar, mínimo 200 gramos de producto inertizado) en otro recipiente con la misma rotulación, para realizar posteriormente el muestreo.

Todos los recipientes de un lote tratado deben ser almacenado independientemente, para su posterior muestreo.

Seguir con las etapas de los siguientes procedimientos: PLHg 05, 06, 07 y 08

Continúa Apéndice 2

<p><u>5. RESPONSABILIDADES:</u></p>	<p>Coordinador técnico.</p> <p>Es el responsable de controlar y supervisar que el proceso de inertización del producto no conforme se lleve a cabo adecuadamente.</p> <p>Operario de Planta.</p> <p>Cumplir con el procedimiento anterior.</p>
<p><u>6. DOCUMENTOS APLICABLES</u></p>	<p>Bitácora de coordinador técnico, documento # 006.</p> <p>Tabla de control de proceso de inertización diario de producto no conforme, (documento # 016, anexo 1).</p> <p>Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capítulo V.</p> <p>Requerimiento de lixiviados de mercurio según decreto D-27000-MINAE.</p>

Continúa Apéndice 2

TRATAMIENTO DE AGUAS

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso de tratamiento del agua de proceso de inertización del mercurio en lámparas fluorescentes o bombillos de alumbrado público.

2. ALCANCE:

Los polvos y los vapores que se producen en el proceso se recolectan en una trampa de agua, la cual debe de tratarse ante de disponerla por el drenaje, cada 8000 bombillas o cada 5000 fluorescentes.

3. LIMITACIONES:

Este procedimiento es solamente para el agua utilizada en proceso de molienda de las luminarias y de formación del producto inertizado.

<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>	
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>	
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>	

Continúa Apéndice 2

Durante el proceso el operario debe utilizar anteojos, mascarilla, delantal, tapones para oídos y guantes.

Cada 100 litros de agua a tratar se le deben de agregar 40 gramos de sulfuro de sodio al 38% de pureza y agitar por una hora, documento # 017, anexo 1.

Agregar 500 gramos de carbón activado y agitar por una hora.

4. PROCEDIMIENTO:

Tomar una muestra del agua filtrada para analizar.

Si el análisis del agua (documento # 018) cumple con la normativa nacional, filtrar., sino repita el procedimiento anterior.

El agua disponerlo por el drenaje.

El sólido dejarlo seca y agregar 500 gramos a cada tanda de desechos de vidrio con azufre en el proceso de inertización.

Coordinador técnico.

Es el responsable de controlar y supervisar que el proceso de tratamiento del agua.

5. RESPONSABILIDADES:

Comprar los materiales y reactivos que se necesiten y asegurarse que no sea causa de atrasos en el proceso

Operario de Planta.

Cumplir con el procedimiento anterior.

Bitácora de coordinador técnico, documento # 006.

Tabla de control de proceso del proceso de tratamiento de las agua de proceso, documento # 017, anexo 1.

Análisis del agua tratada, documento # 018.

6. DOCUMENTOS APLICABLES

Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capítulo V.

Requerimiento del análisis del agua según Decreto D-26042 Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales.

Continúa Apéndice 2

CONTROL DE EMISIONES AL AIRE

1. PROPÓSITO:

Describir el proceso de control de emisiones del aire, del proceso de tratamiento de inertización.

2. ALCANCE:

Control y medición de las emisiones en el área física del proceso y a la salida del extractor de la planta.

3. LIMITACIONES:

Al ser este un análisis de muy alto costo, se puede realizar solamente cada cuatro meses, y es requerido que el proceso de muestreo del aire sea durante toda una jornada laboral.

	<u>NOMBRE</u>	<u>FIRMA</u>
<u>Elaborado por:</u>		
<u>Aprobado en Comité Técnico por:</u>		
<u>Fecha de Aprobación / Revisión:</u>		

Continúa Apéndice 2

Se contrata los servicios de un laboratorio externo, los cuales colocan, los equipos para realizar el muestreo del aire.

Se debe de colocar un equipo en el área de trituración y en el crisol de polimerización.

Se debe de colocar otro equipo de muestreo a la salida del extractor de la planta.

4. PROCEDIMIENTO:

El laboratorio que brinda el servicio una vez finalizadas las 8 horas de muestreo, recolectan los equipos de muestreo, para realizar el análisis correspondiente.

El laboratorio envía resultado del análisis del aire, documento # 019.

Si los resultados no cumplen con las regulaciones de aire se debe de evaluar el funcionamiento de los equipos, para detectar posibles fugas de polvos y vapores al ambiente para controlarlos y repetir el procedimiento anterior.

Coordinador técnico.

5. RESPONSABILIDADES:

Es el responsable de coordinar el análisis del aire.

Bitácora de coordinador técnico, documento # 006.

Análisis del aire, documento # 019.

6. DOCUMENTOS APLICABLES

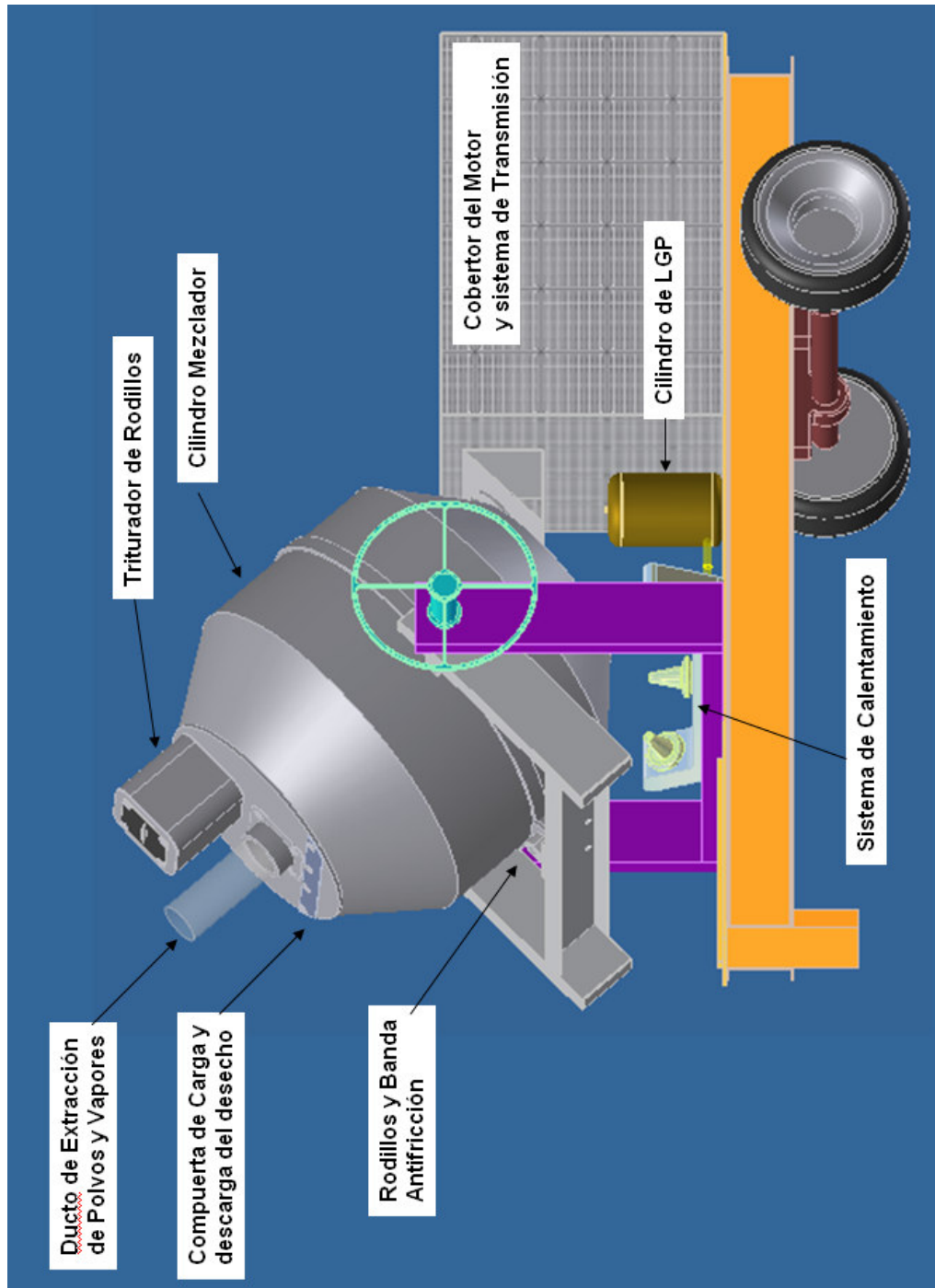
Decreto de seguridad Ocupacional, Artículo 6 –acumulación de SHO capitulo V.

Requerimiento del análisis del aire según NIOSH-1992.

APÉNDICE 3

Planos para la Fabricación del Equipo de Inertización de Luminarias.

Apéndice 3 Planos para la Fabricación del Equipo de Inertización de Luminarias.



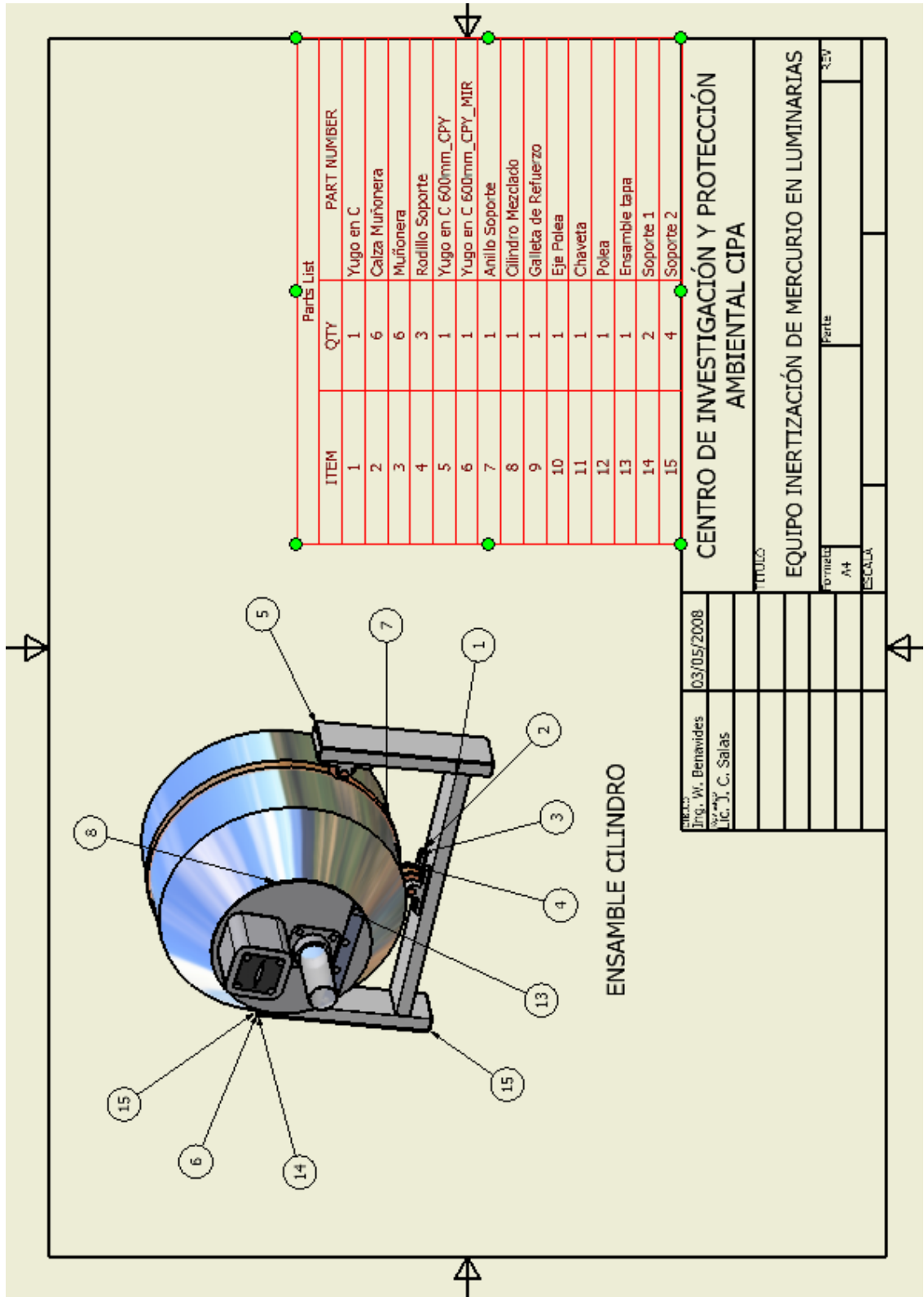
Continúa Apéndice 3

ENSAMBLE TOTAL

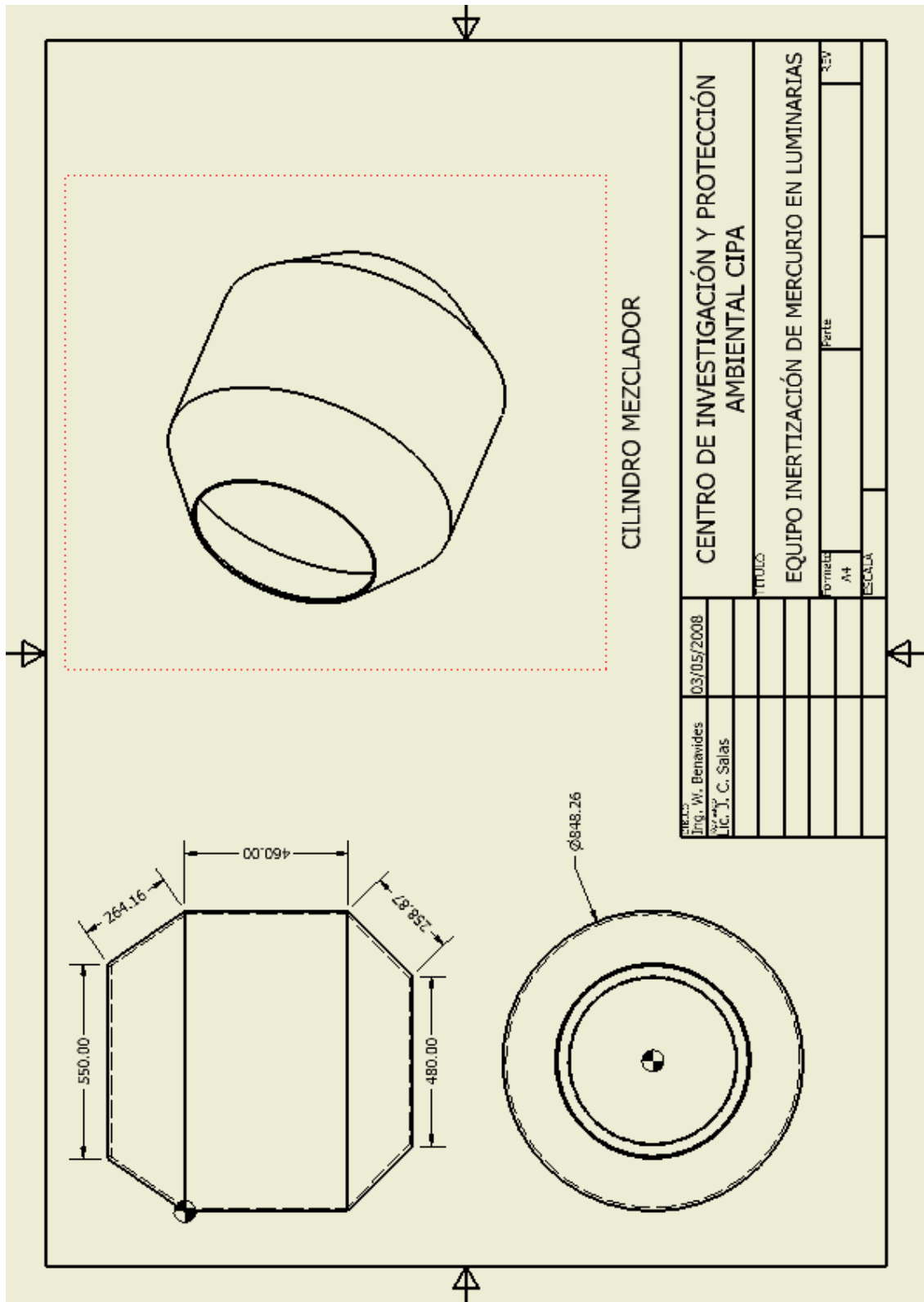
ITEM		QTY	PART NUMBER
1	2		Yugo en C 2000mm
2	1		Yugo en C 800mm
3	1		Yugo en C 650mm
4	1		Yugo en C 300mm
5	1		Piso
6	2		Aro de llanta
7	1		Eje de llanta
8	2		Eje de llanta Muñonera
9	2		Llantas
10	1		Calza piso
11	1		Tapa Motor
12	1		Carcaza Motor
13	1		Ensamble polea motor
14	1		Ensamble Mezcladora
15	1		Ensamble base
16	1		Ensamble volante
17	1		Ensamble quemador
18	1		CILINDRO Gas

DIBAJA: Ing. W. Benavides Sr. J. C. Salas	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS			
TITULO		Parte	
Formato		REV	
A4		ESCALA	

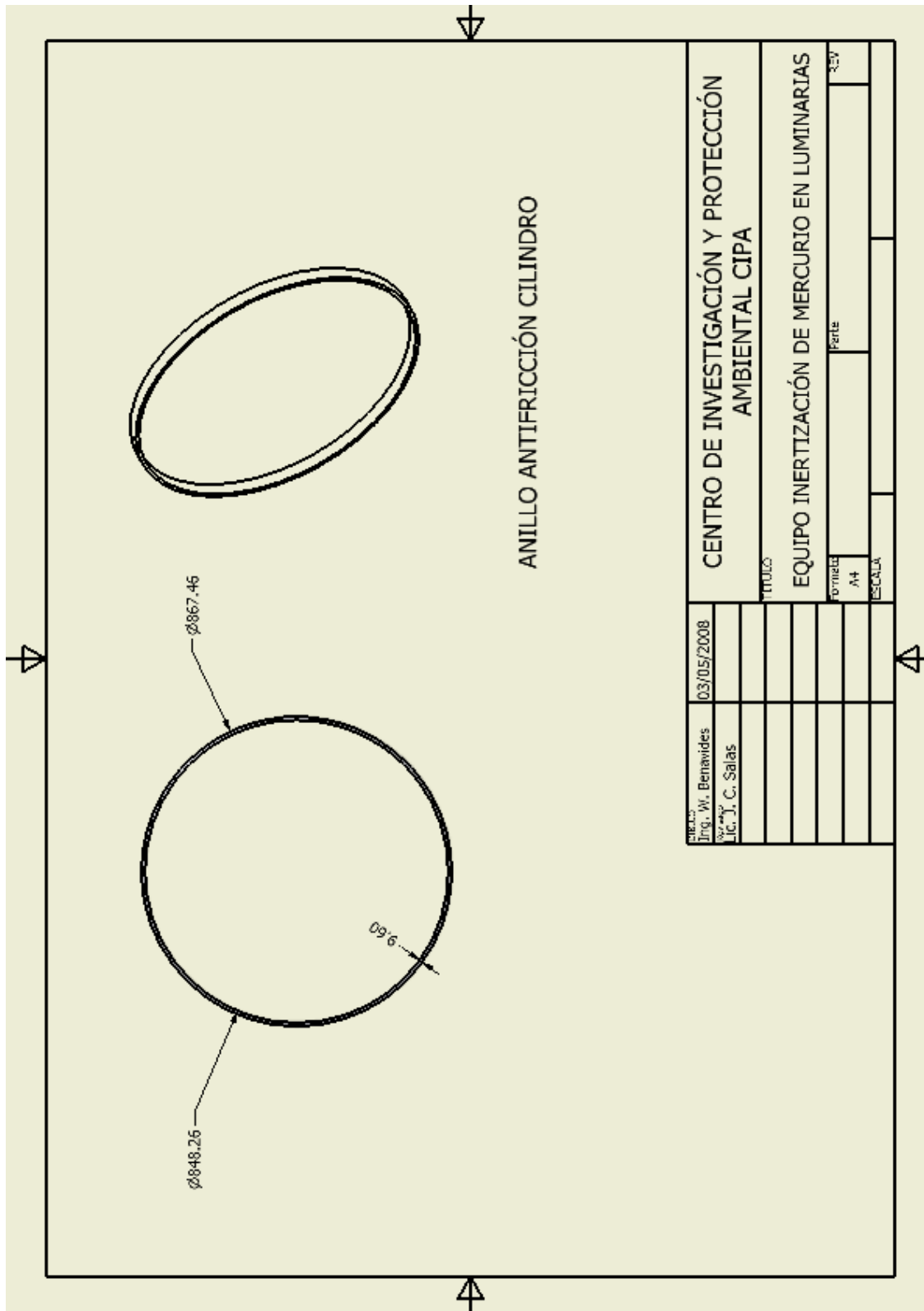
Continúa Apéndice 3



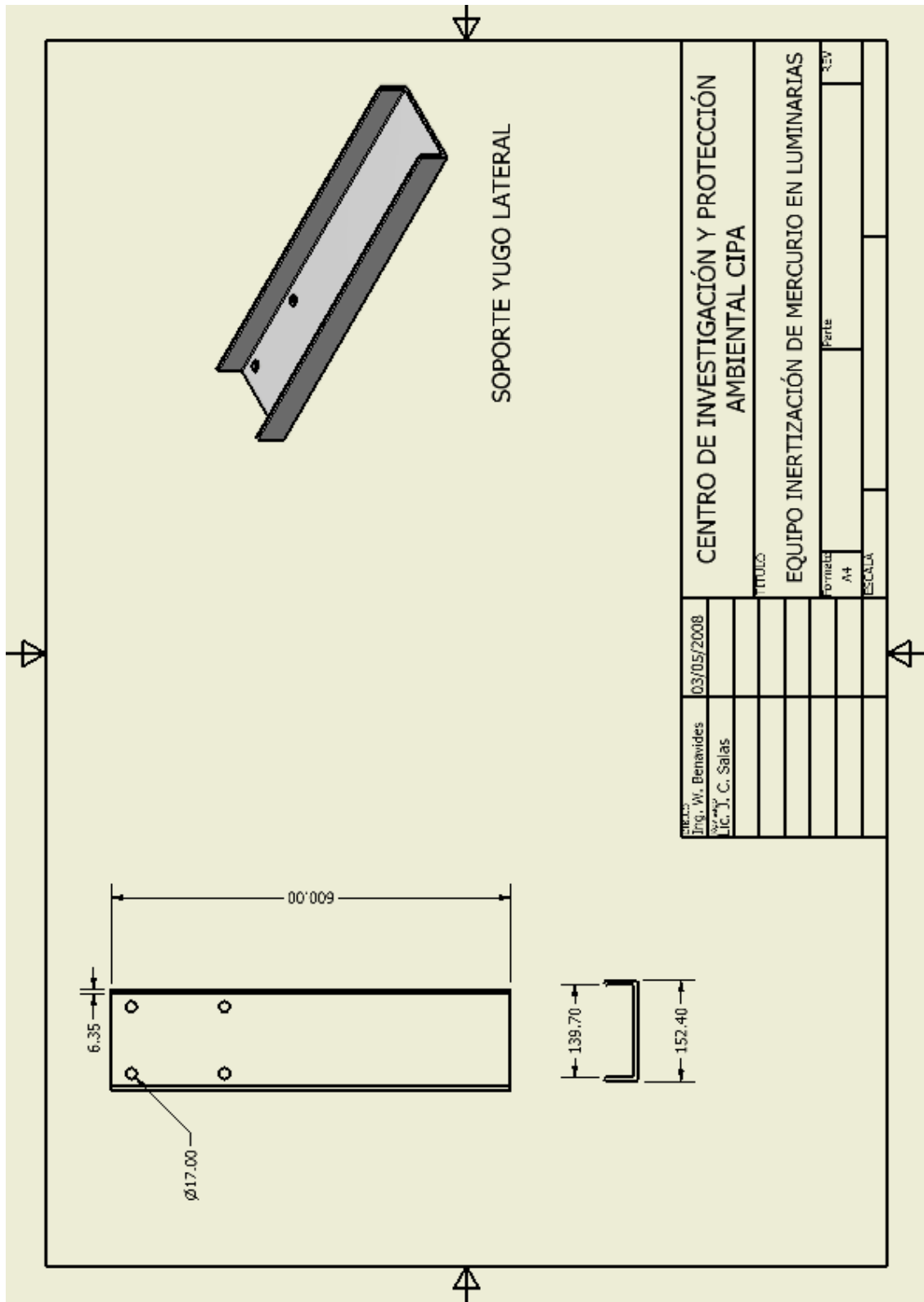
Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3

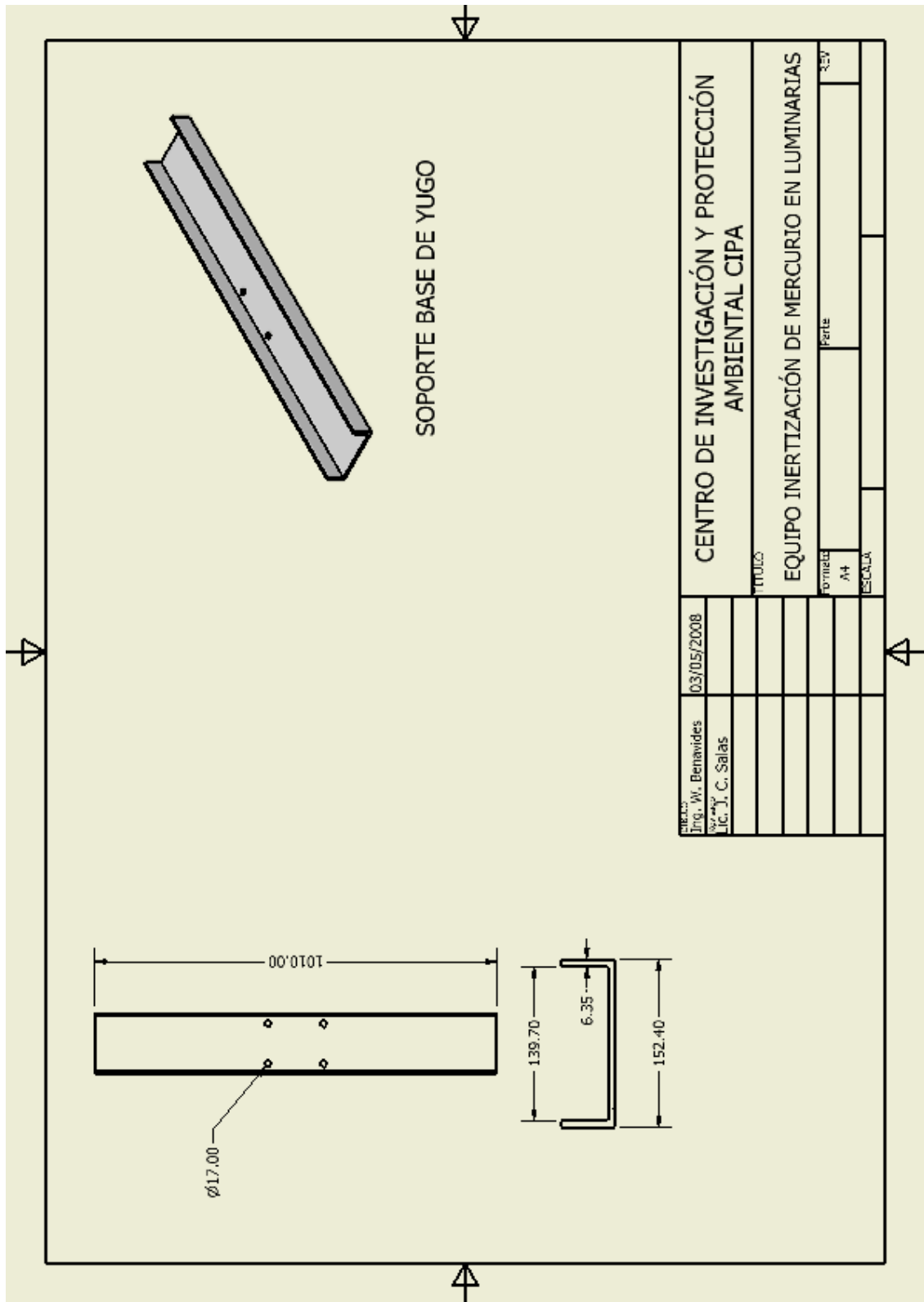


Continúa Apéndice 3

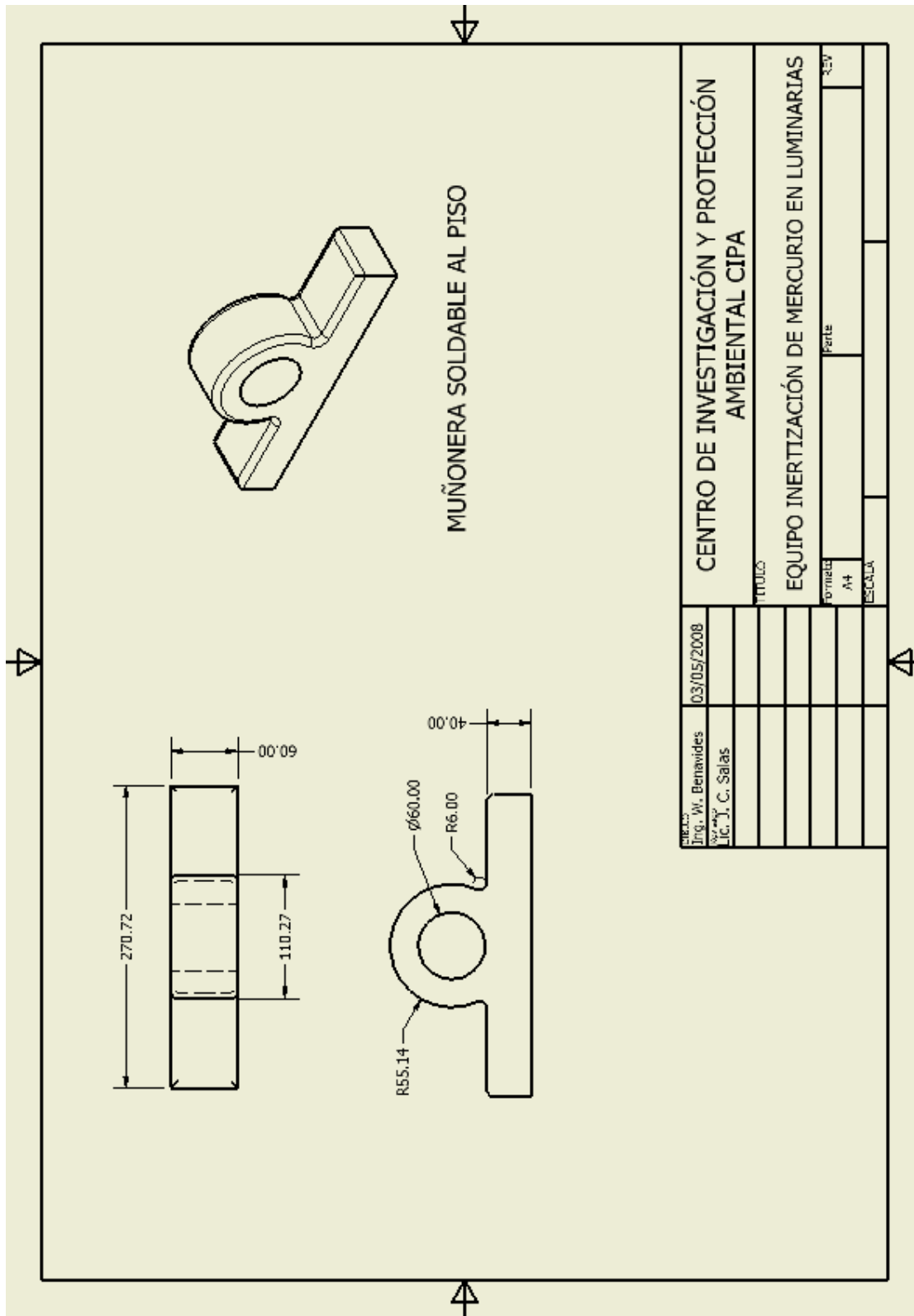


PROYECTO	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
PROYECTADO	Ing. W. Benavides	TITULICO	
REVISADO	Lic. J. C. Salas	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
APROBADO		Formado	REV
		A4	
		ESCALA	
		Parte	

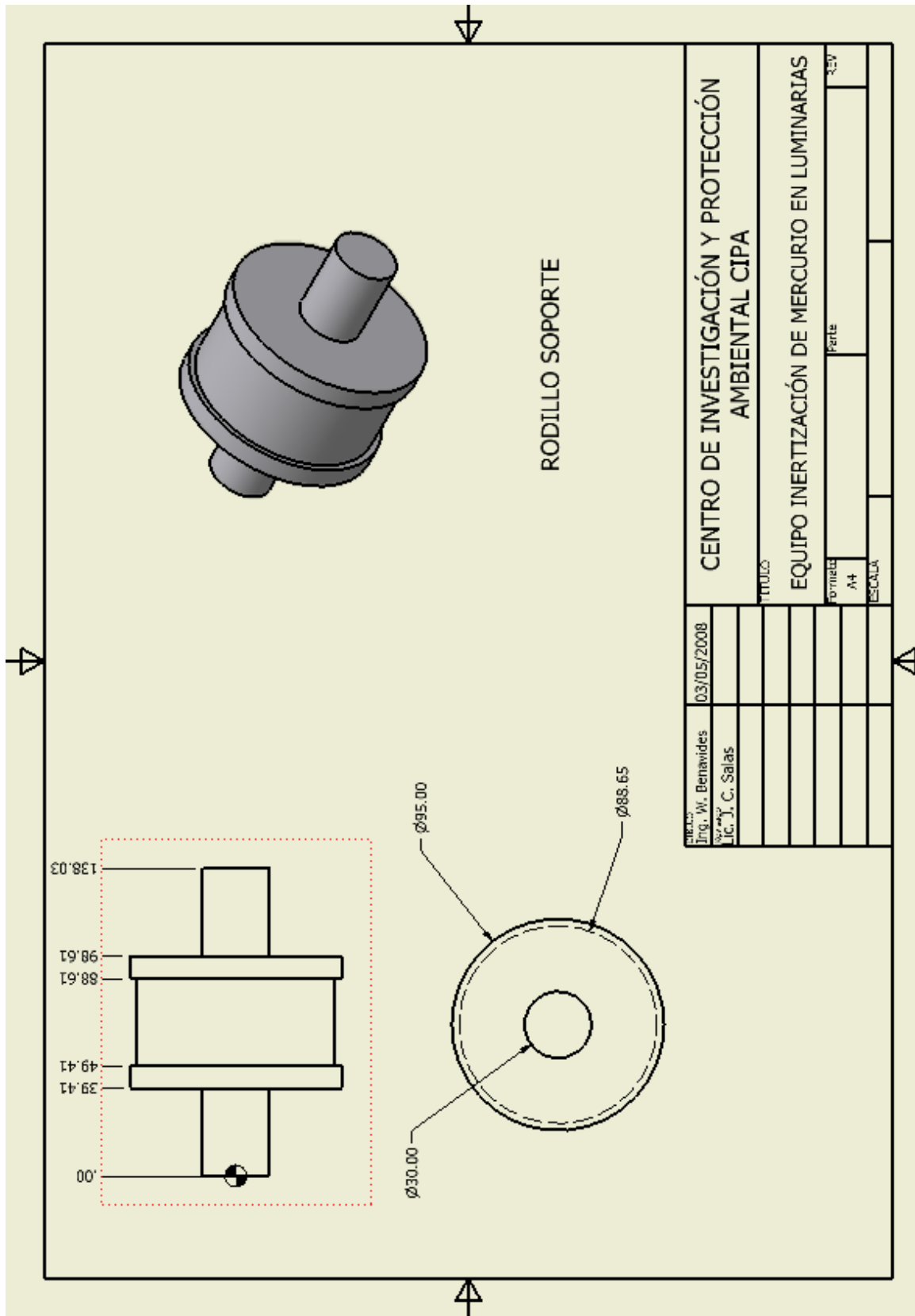
Continúa Apéndice 3



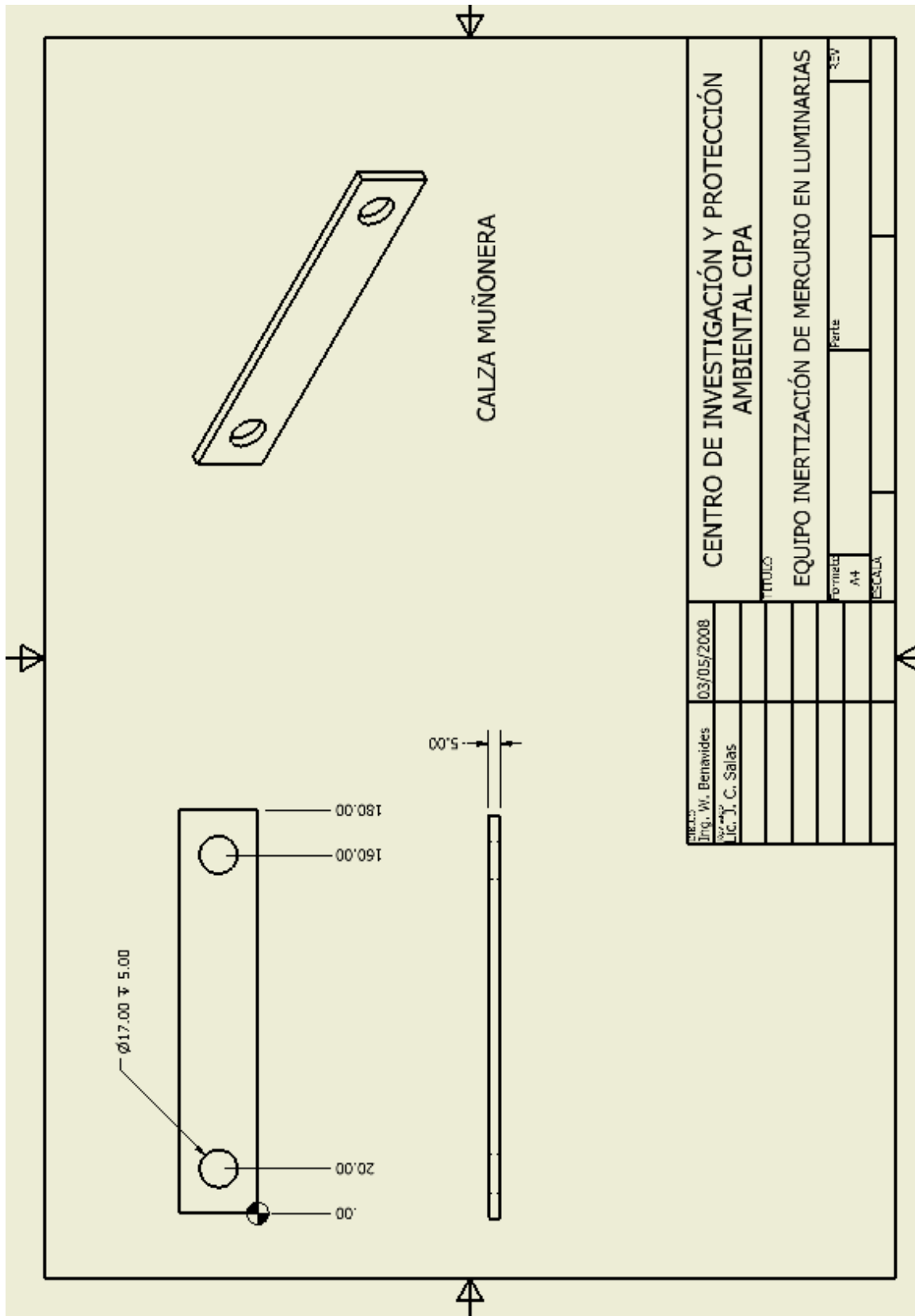
Continúa Apéndice 3



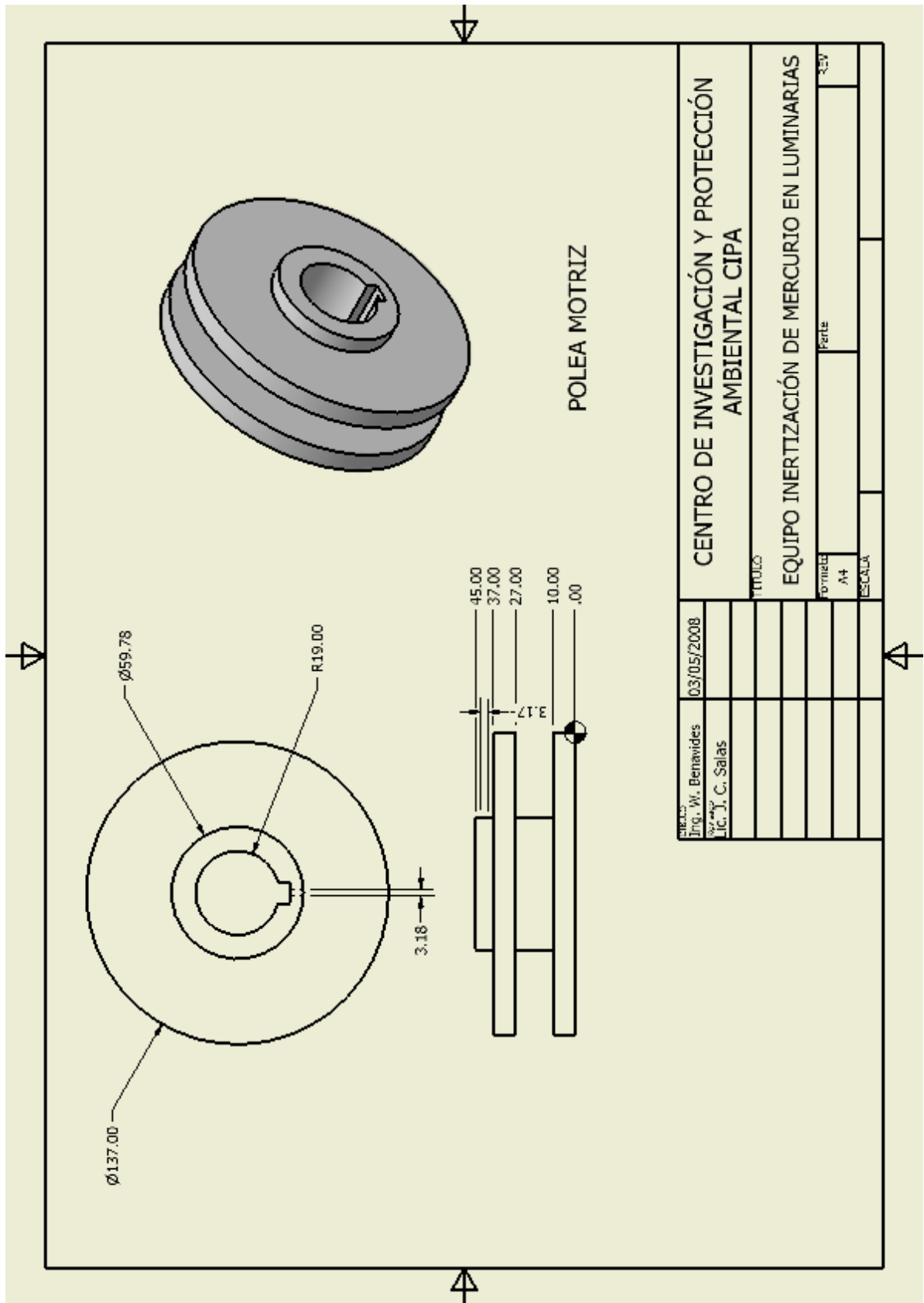
Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3

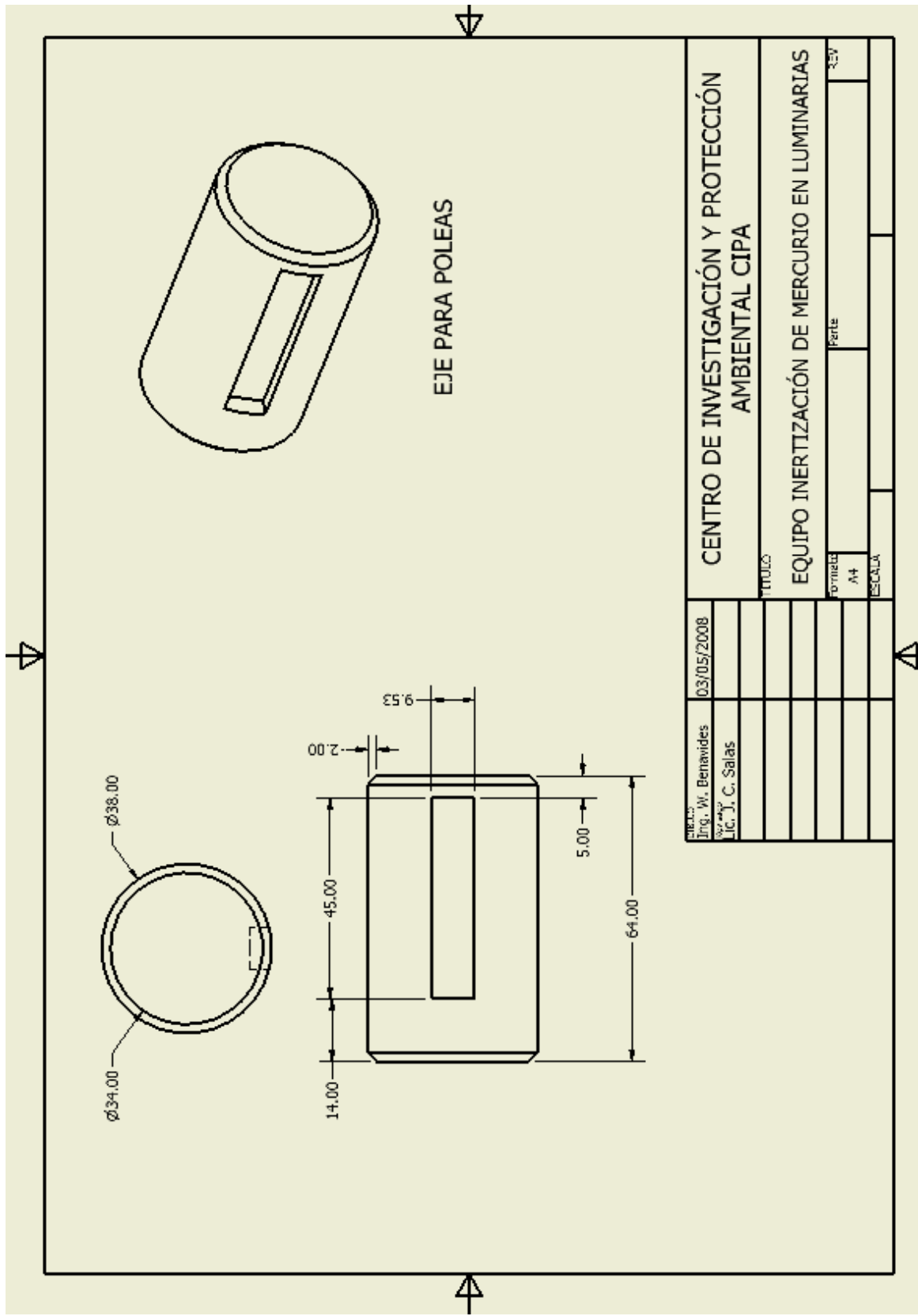


Continúa Apéndice 3



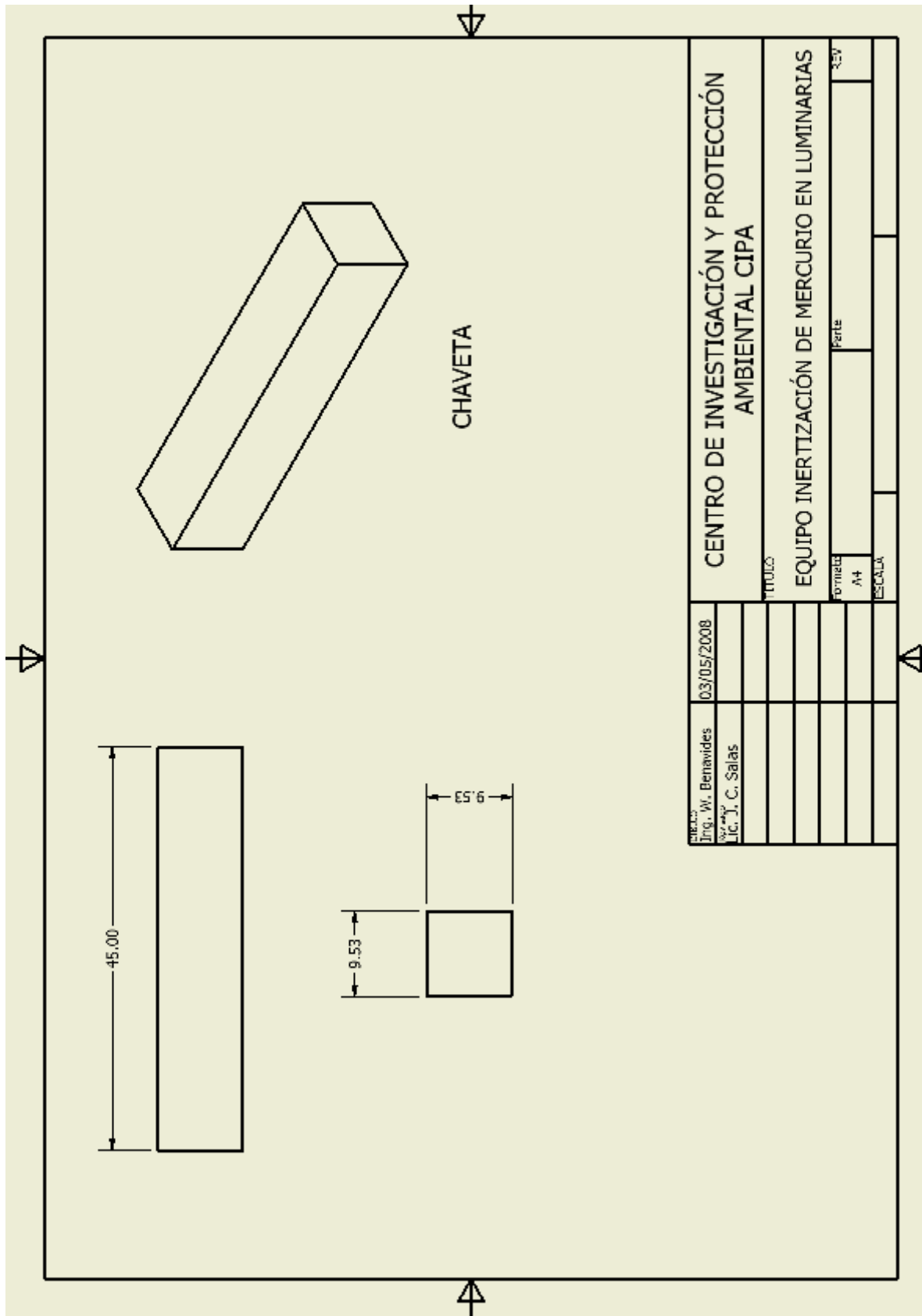
FECHA:	03/05/2008		
INGENIERO:	Ing. W. Benavides		
DISEÑADOR:	Lic. J. C. Salas		
TÍTULO:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA		
OBJETO:	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS		
ESCALA:	A4	Parte	REV

Continúa Apéndice 3



FECHA: 03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA		
INGENIERO: Ing. W. Benavides Lic. J. C. Salas	TÍTULO: EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS		
	FORMA: A4	PARTE:	REP:
	ESCALA:		

Continúa Apéndice 3



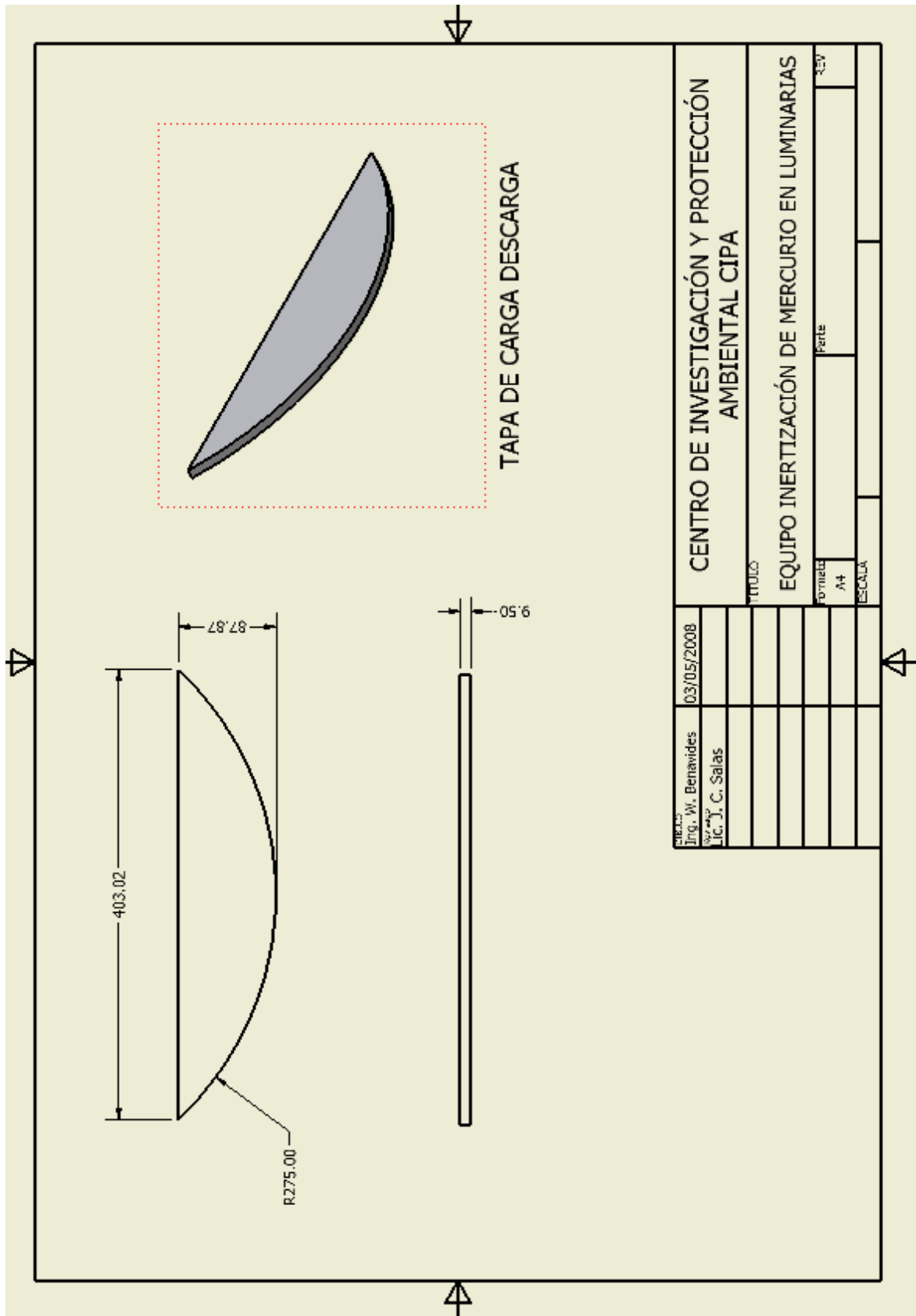
Continúa Apéndice 3

ENSAMBLE TAPA

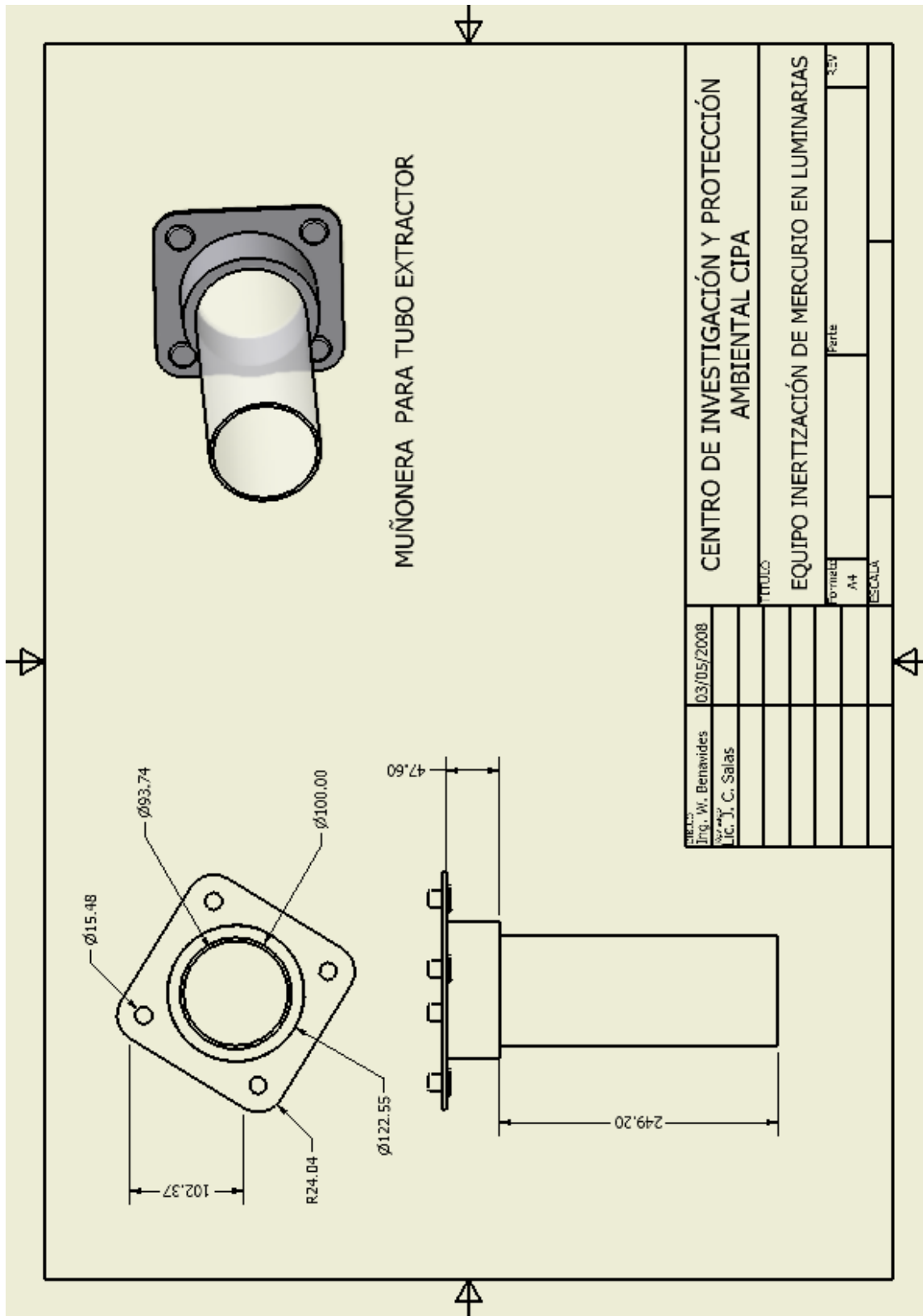
Parts List		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Tapa Principal
2	1	Tapa de Carga y Descarga
3	1	Banda de Caucho
4	8	Sujetadores de Banda
5	1	Mufionera y Tubo Extractor
6	1	Triturador

DISEÑO Ing. W. Benavides DISEÑO Lic. J. C. Salas	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA
EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS		
TÍTULO	PARTE	REV.
FORMATA A4	ESCALA	1:1

Continúa Apéndice 3

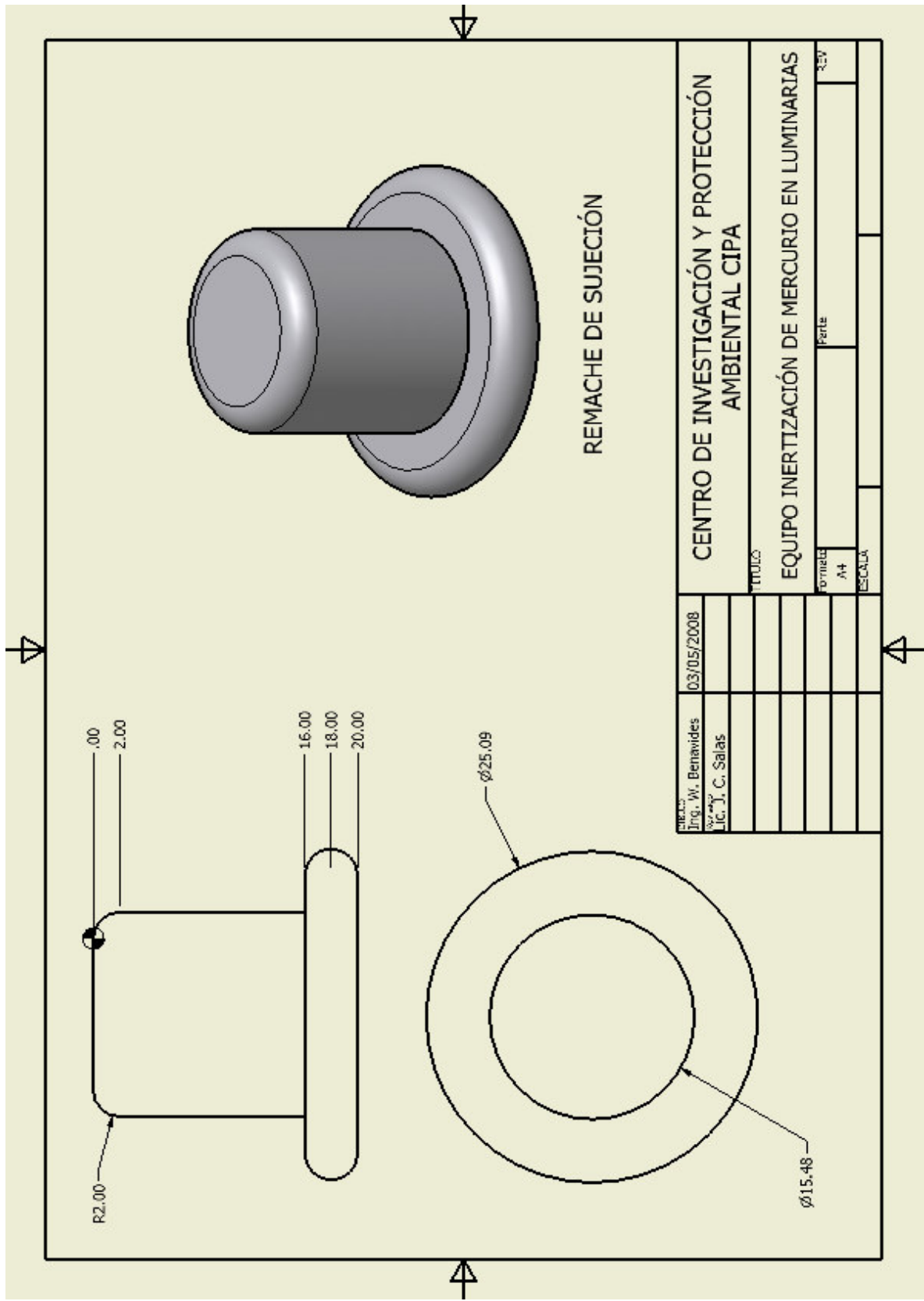


Continúa Apéndice 3



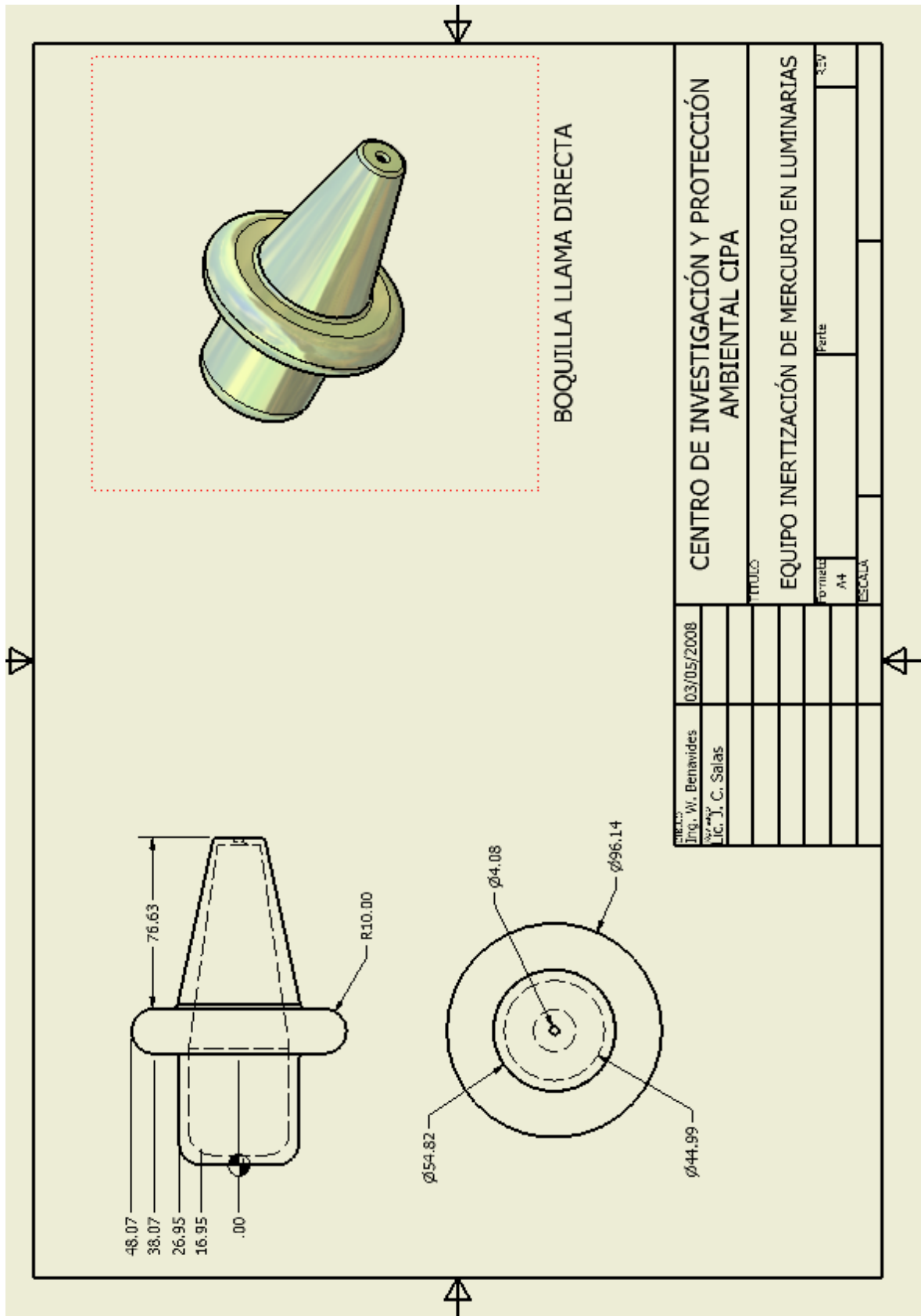
PROYECTO	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
INGENIERO	Ing. W. Benavides	TITULOS	
PROYECTISTA	Lic. J. C. Salas	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
		FORMA	REV
		A4	15V
		ESCALA	

Continúa Apéndice 3

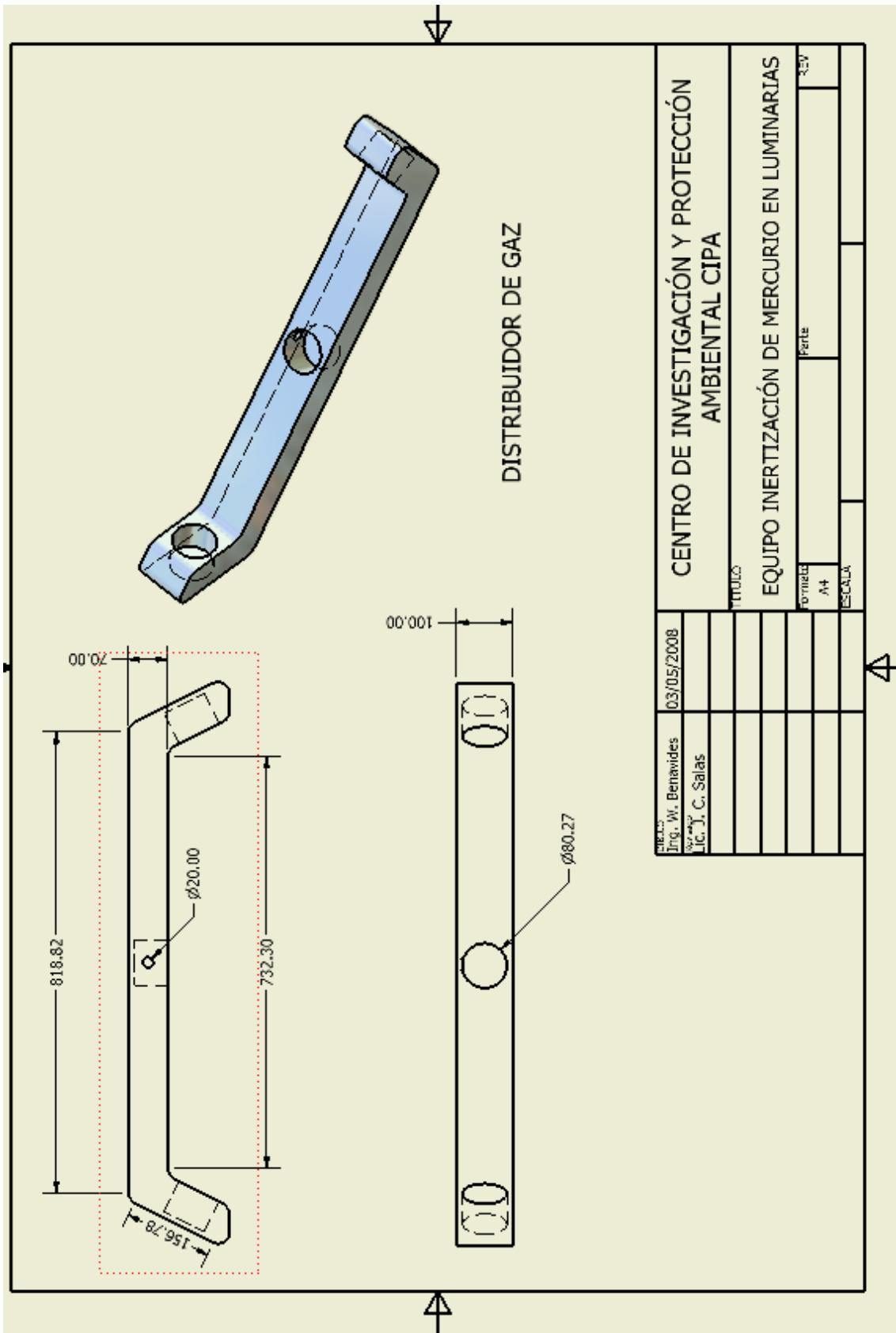


03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
Ing. W. Benavides	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
Lic. J. C. Salas	TITULO	
	Parte	REV
	A+	
	ESCALA	

Continúa Apéndice 3

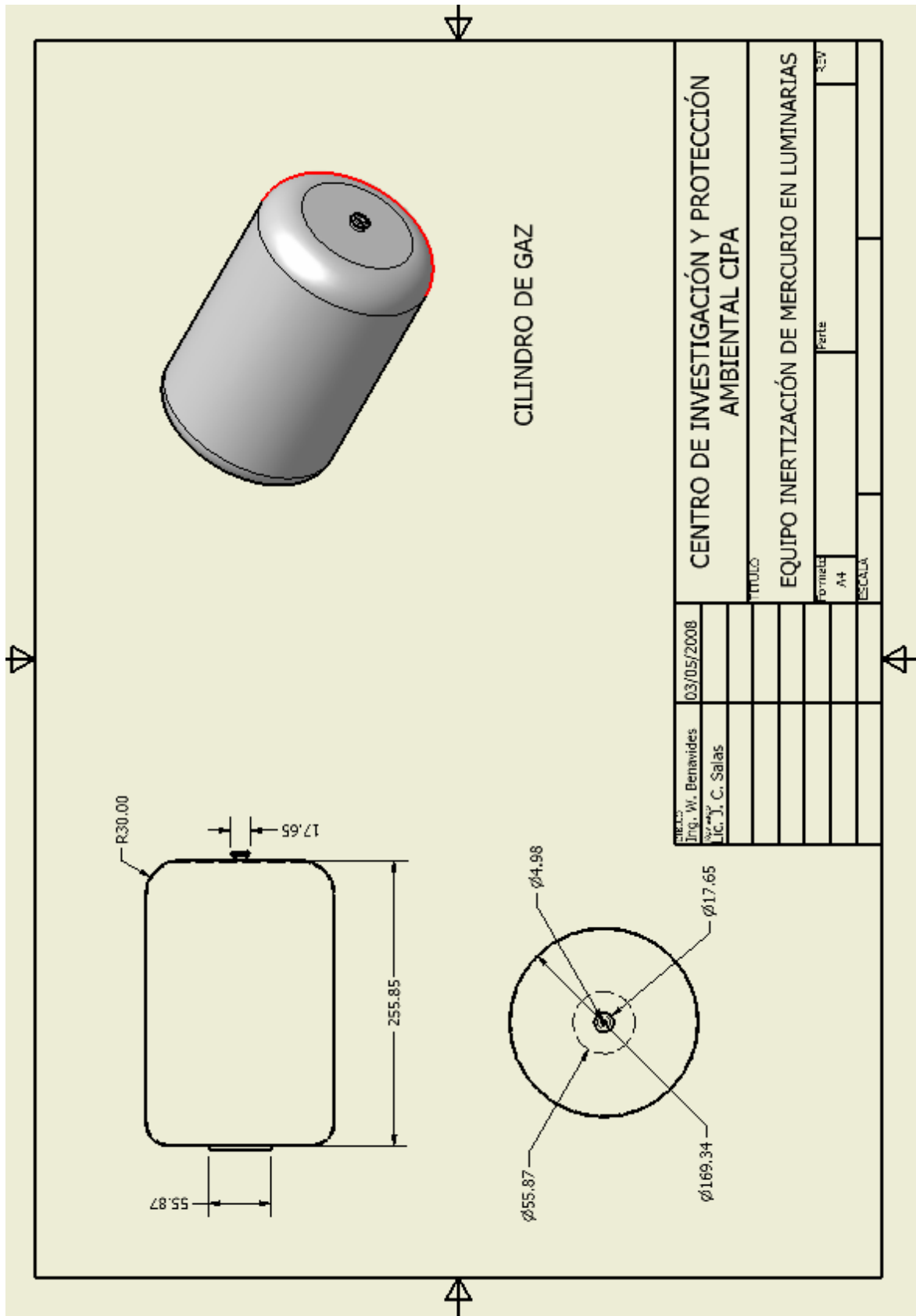


Continúa Apéndice 3

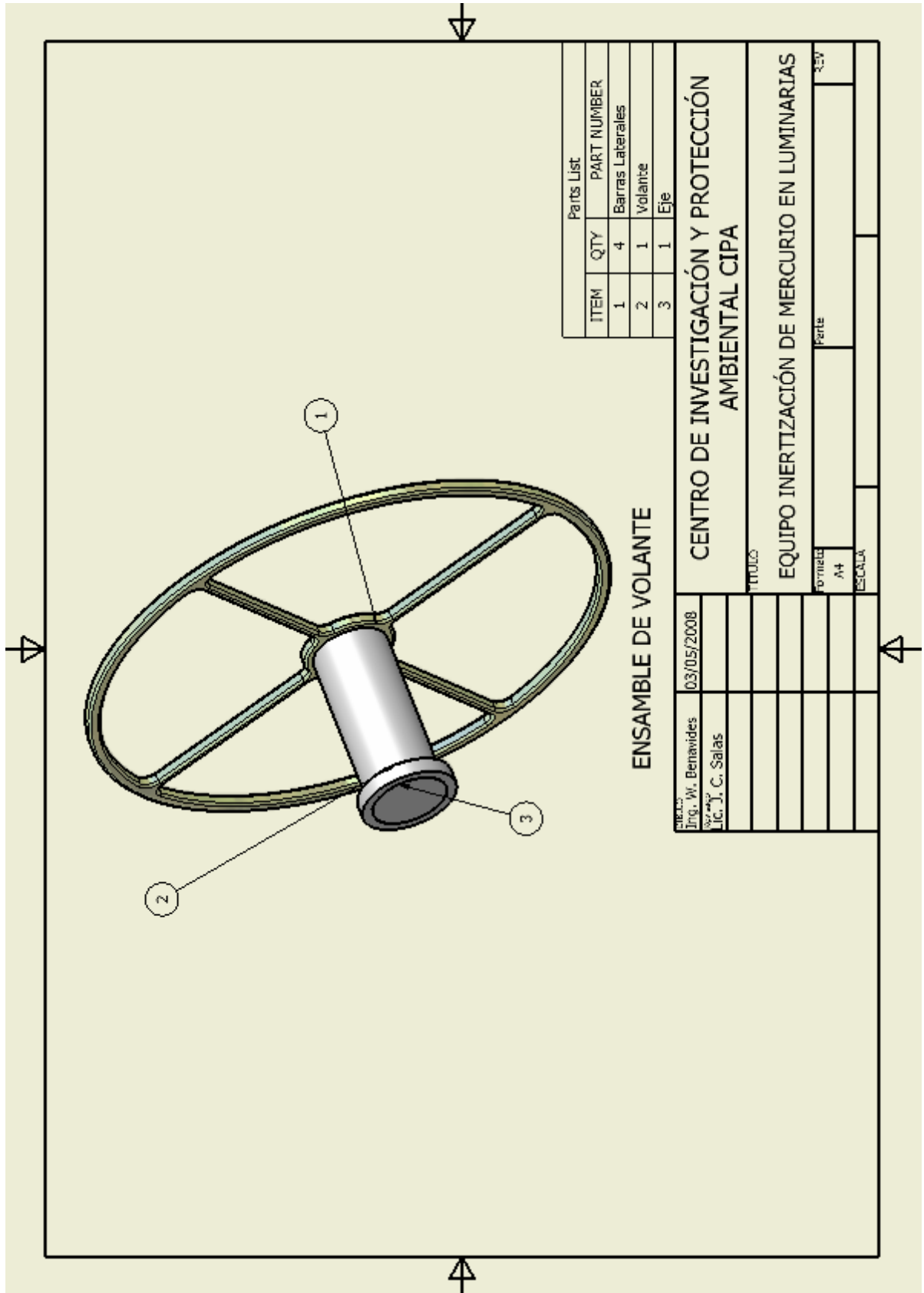


FECHA:	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
ING.:	Ing. W. Benavides	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
DISEÑO:	Lic. J. C. Salas	TÍTULO	
		FORMA:	350
		A+	
		ESCALA:	

Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3

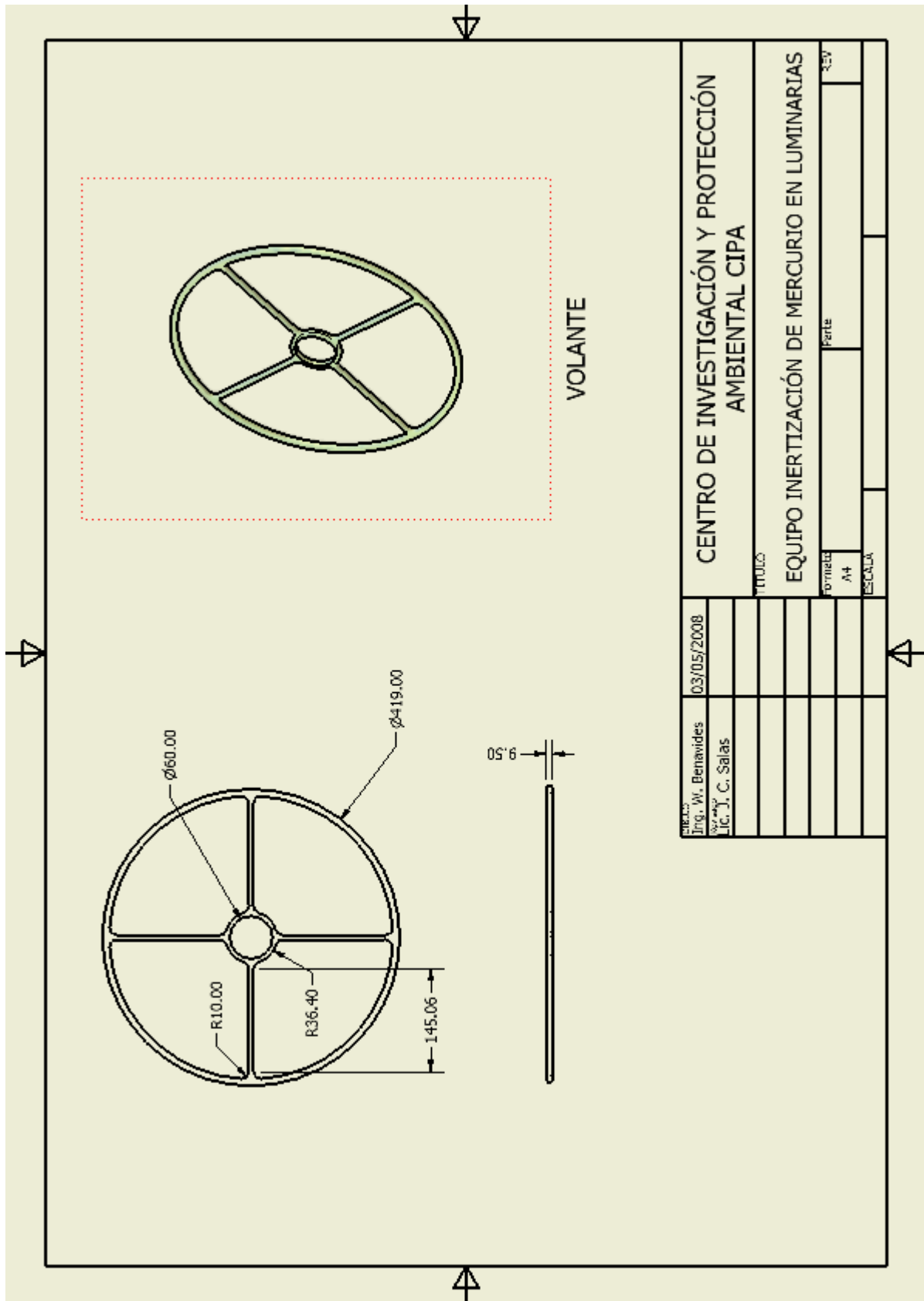


Parts List		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	4	Barras Laterales
2	1	Volante
3	1	Eje

ENSAMBLE DE VOLANTE

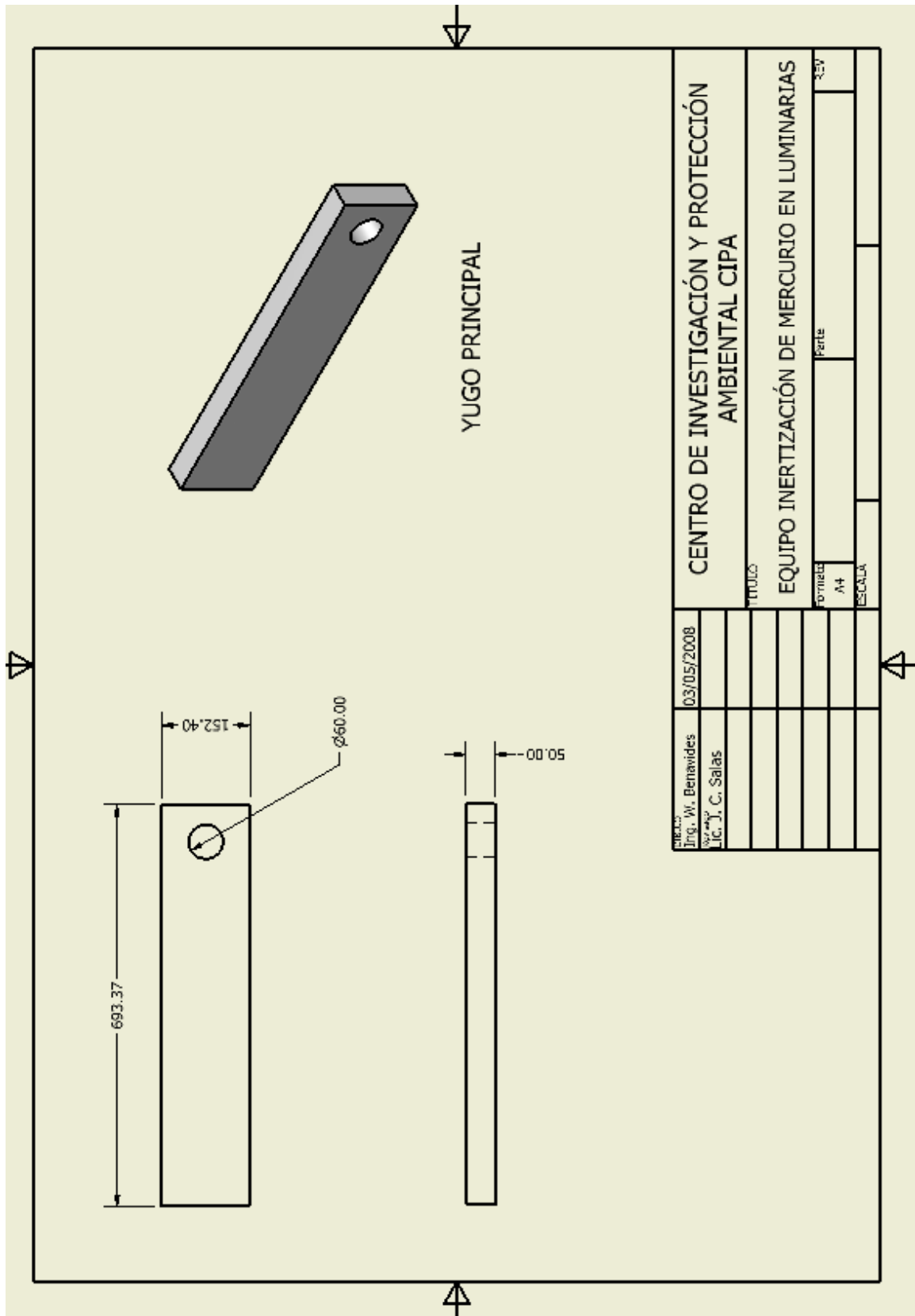
PROYECTO:	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
INGENIERO:	Ing. W. Benavides	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
PROYECTISTA:	Lic. J. C. Salas	TITULO:	
		FORMA:	35V
		A4	
		ESCALA:	

Continúa Apéndice 3



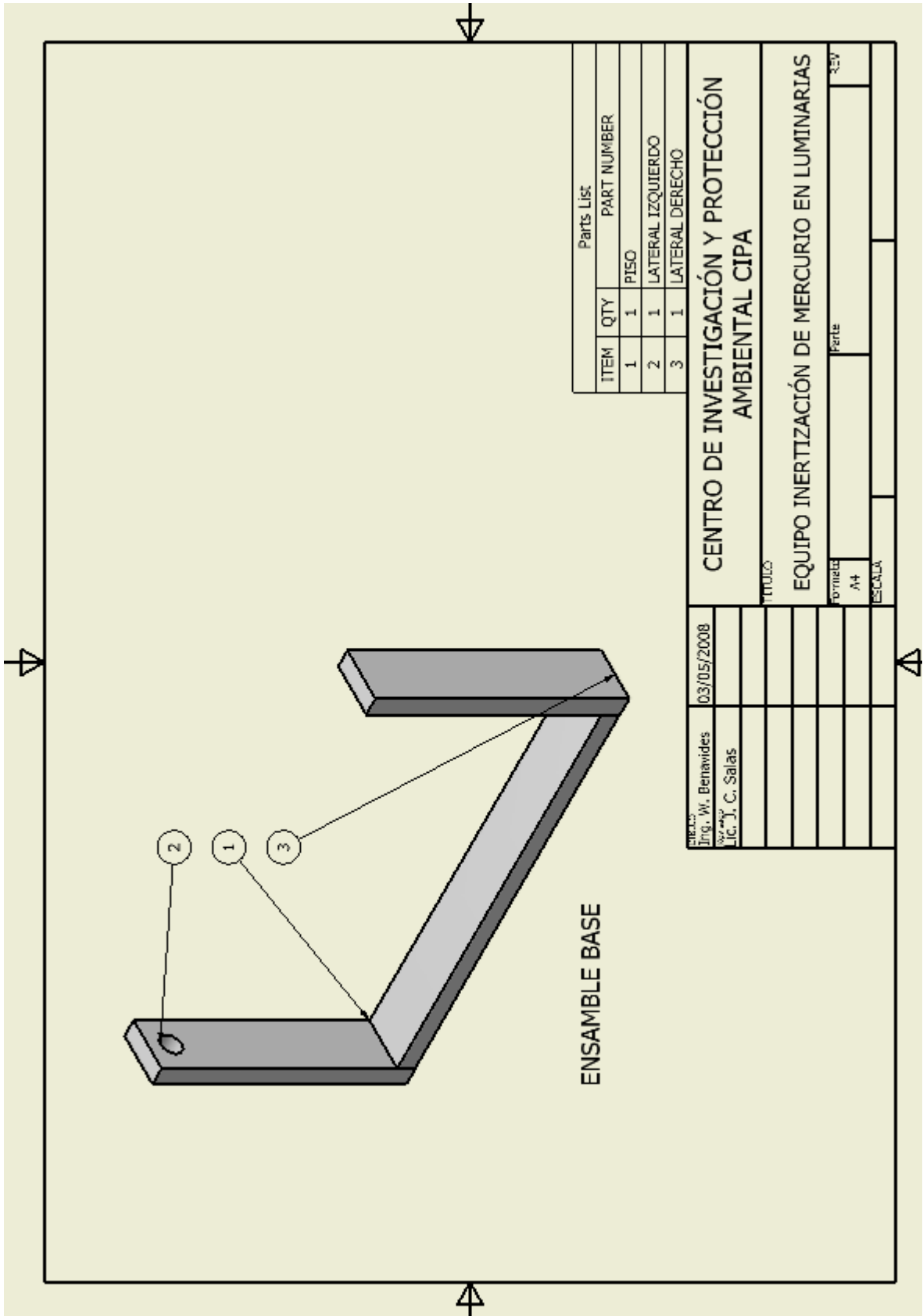
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	03/05/2008
	Ing. W. Benavides Lic. J. C. Salas
TÍTULO	
EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
PARTES	REV
A4	
ESCALA	

Continúa Apéndice 3



<small>PROF.</small> Ing. W. Benavides <small>DISEÑO</small> Lic. J. C. Salas	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA		
		EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS		
		<small>TÍTULO</small>		
		<small>FECHA</small>		
		<small>ESCALA</small>		
		<small>35V</small>		

Continúa Apéndice 3

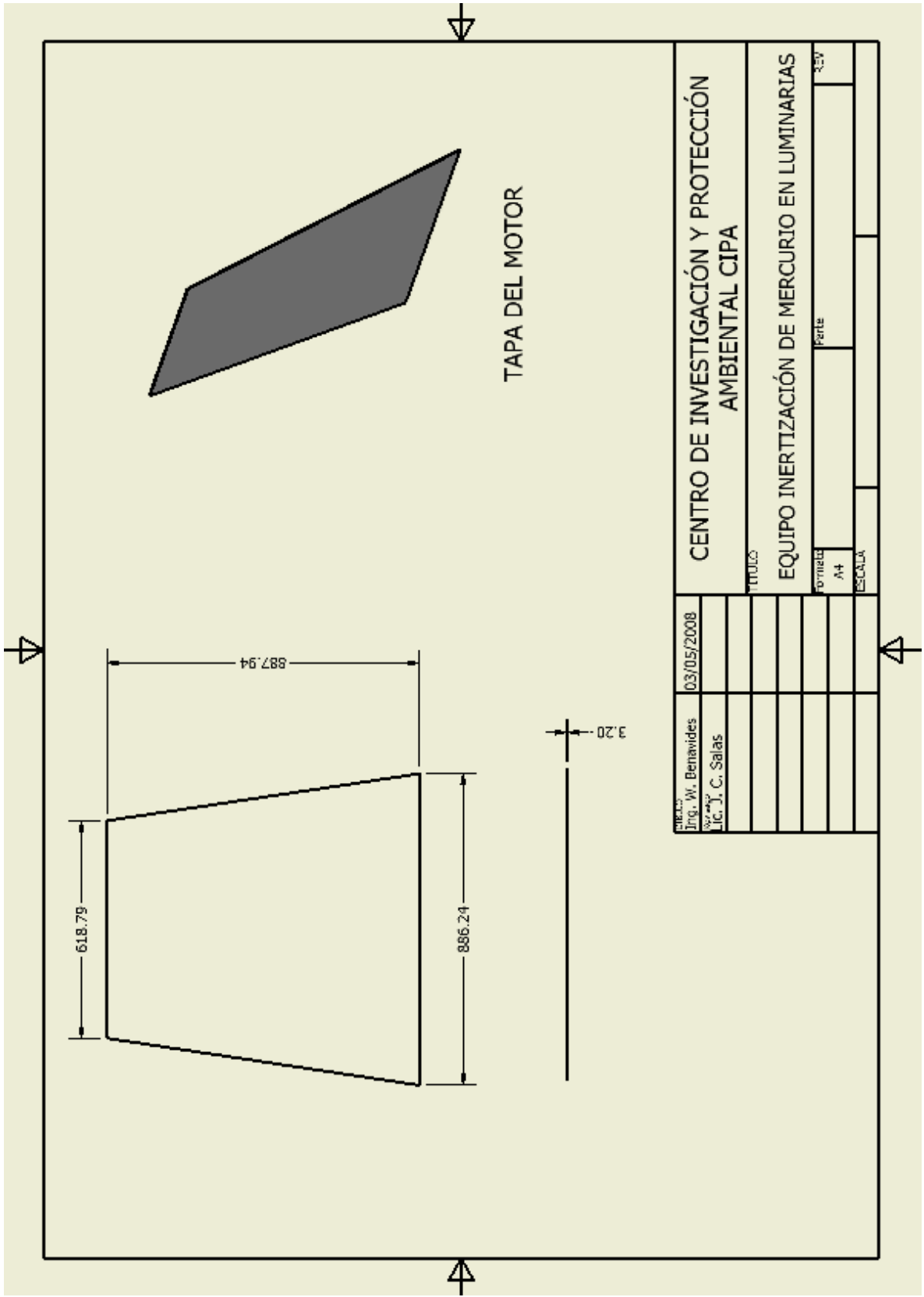


Parts List	
ITEM	QTY
1	1
2	1
3	1

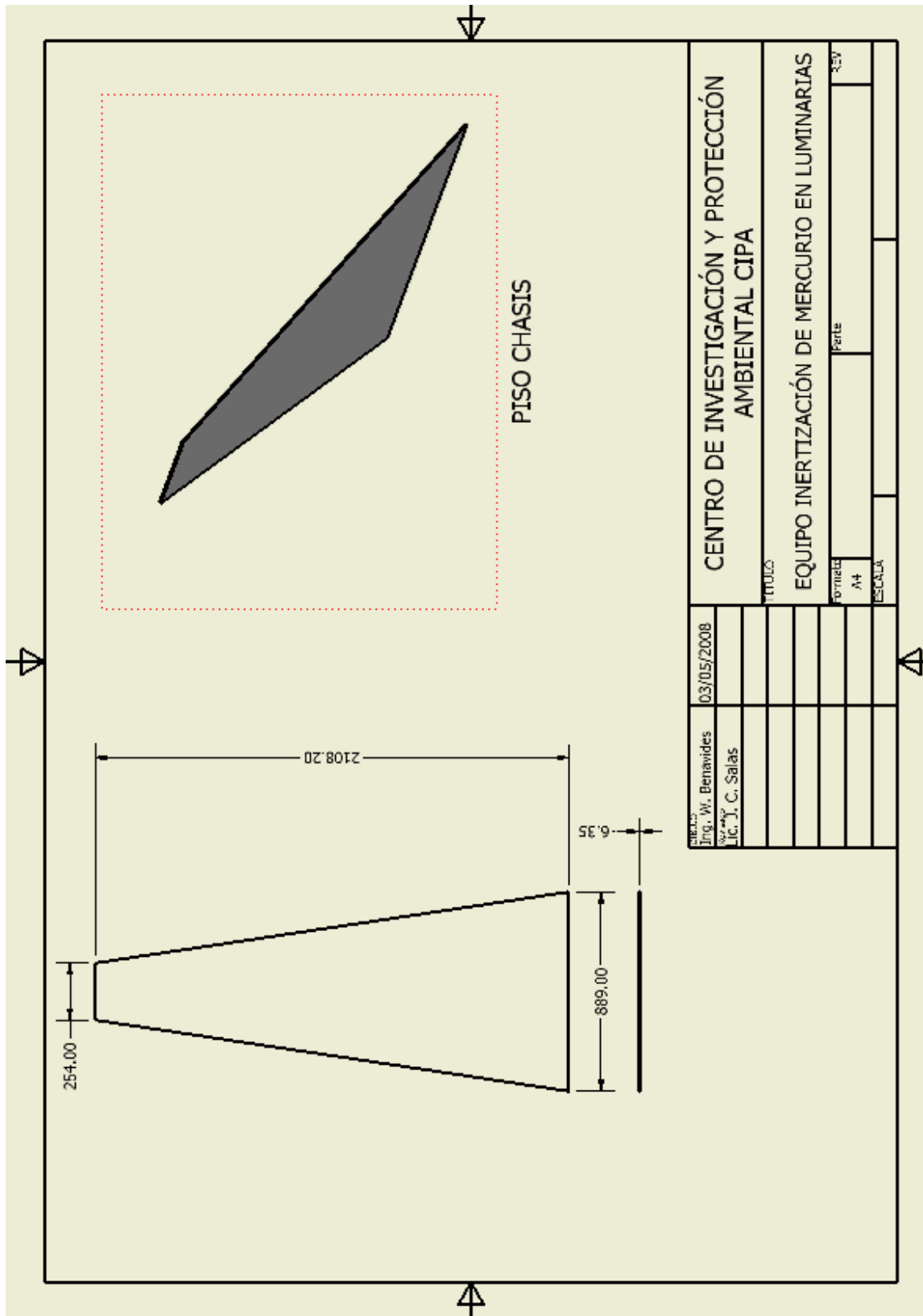
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
TÍTULO	
03/05/2008	
Ing. W. Benavides	
Lic. J. C. Salas	
FOLIO	
Parte	
A4	
ESCALA	
3:1	

ENSAMBLE BASE

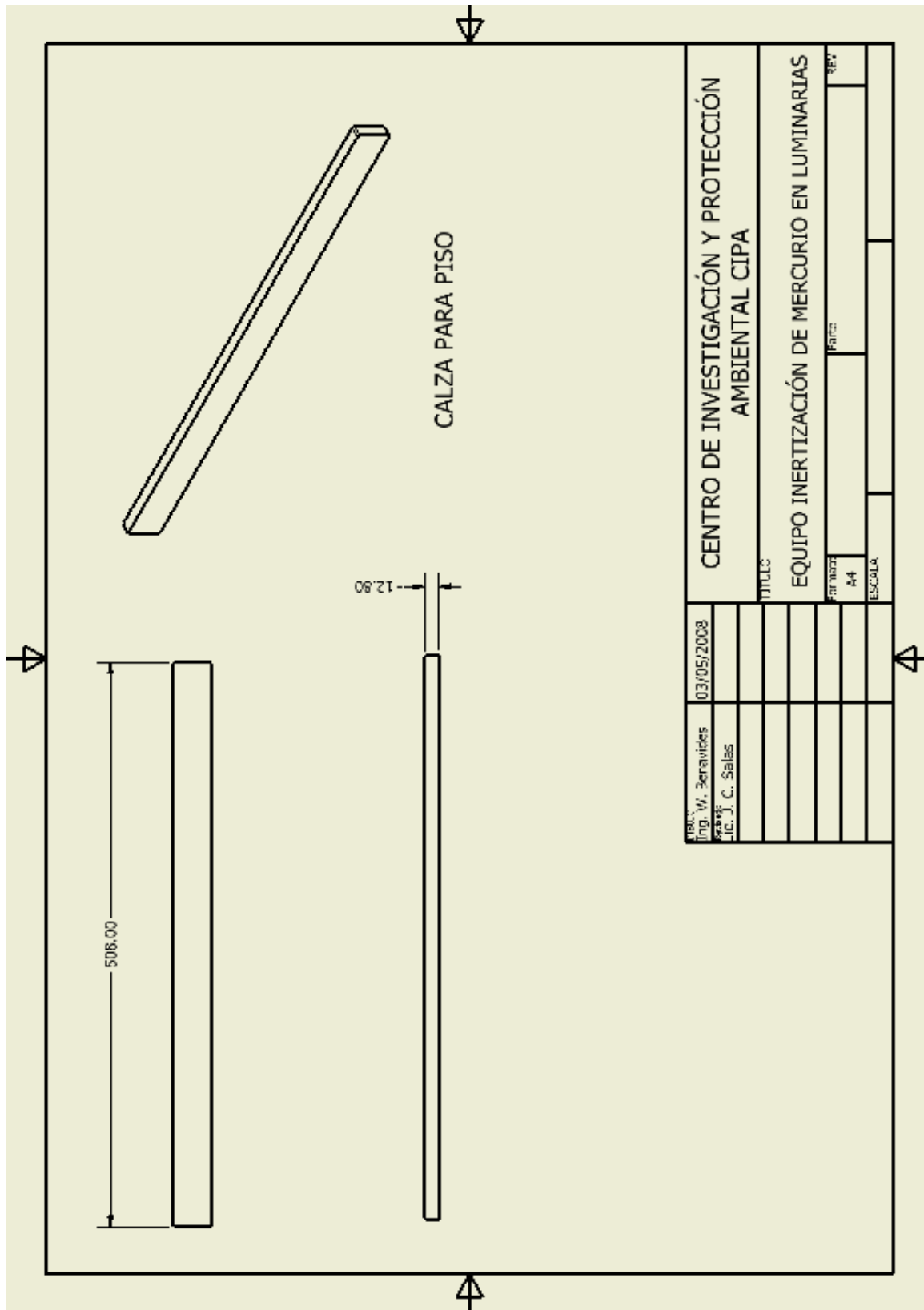
Continúa Apéndice 3



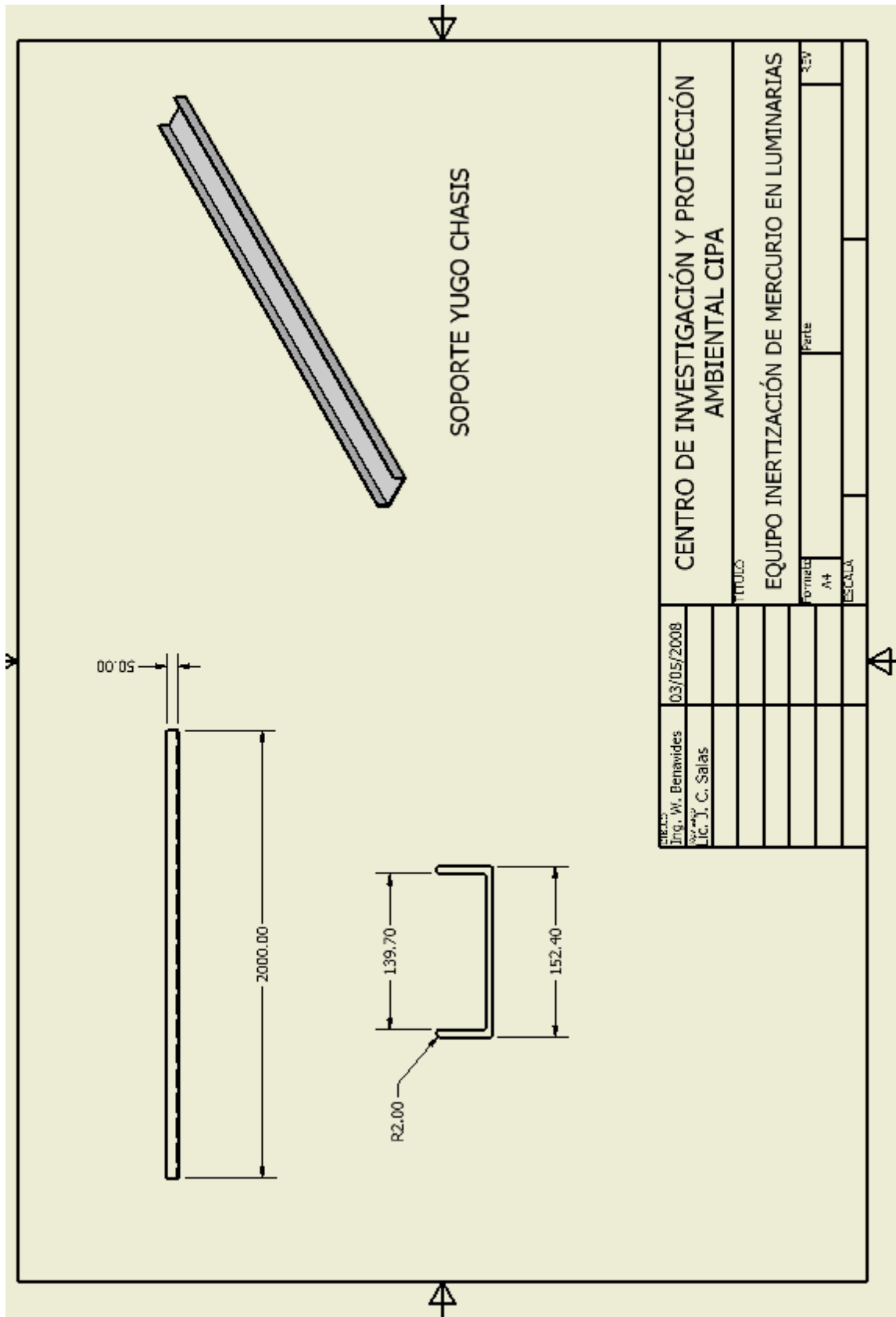
Continúa Apéndice 3



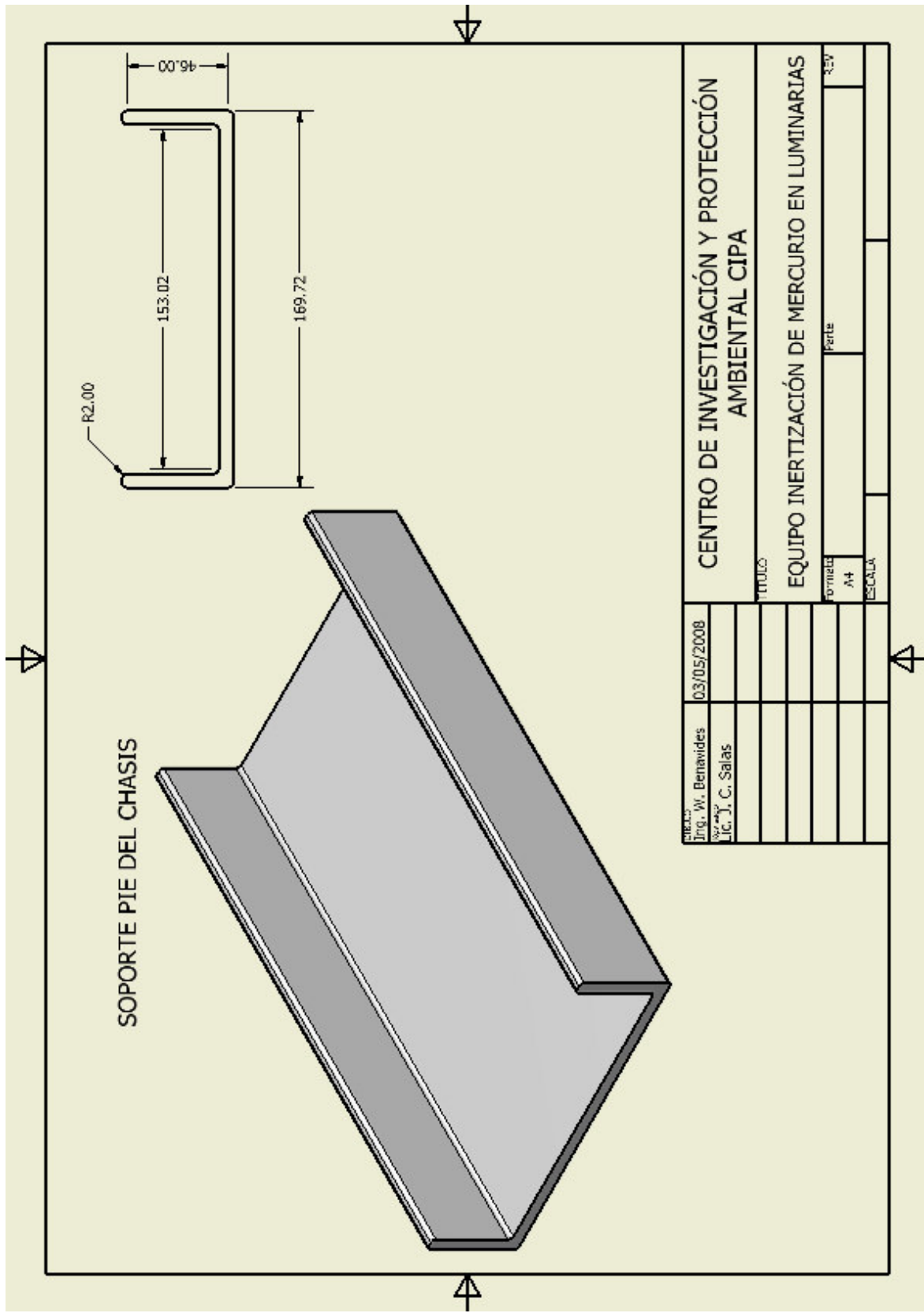
Continúa Apéndice 3



Continúa Apéndice 3



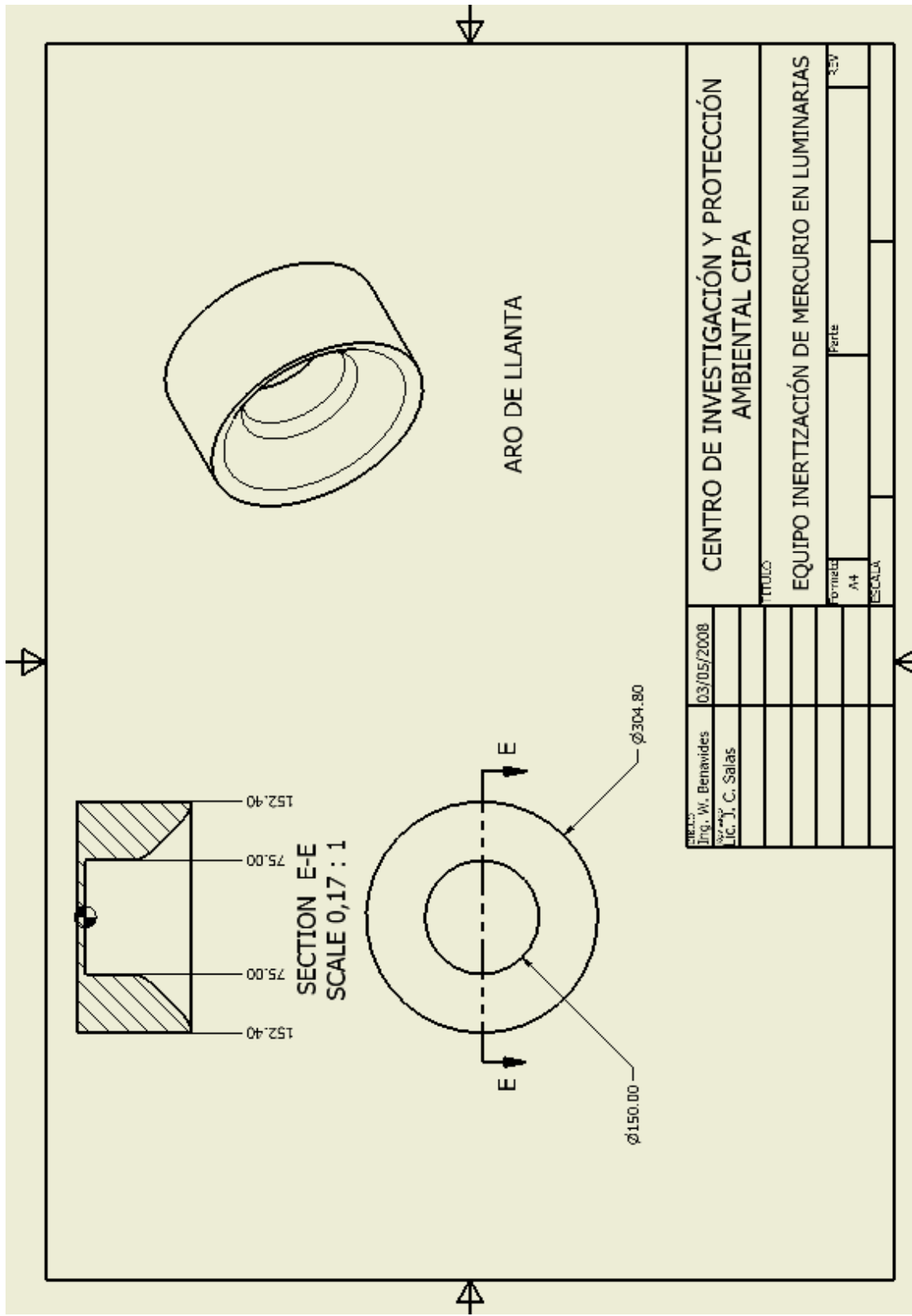
Continúa Apéndice 3



SOPORTE PIE DEL CHASIS

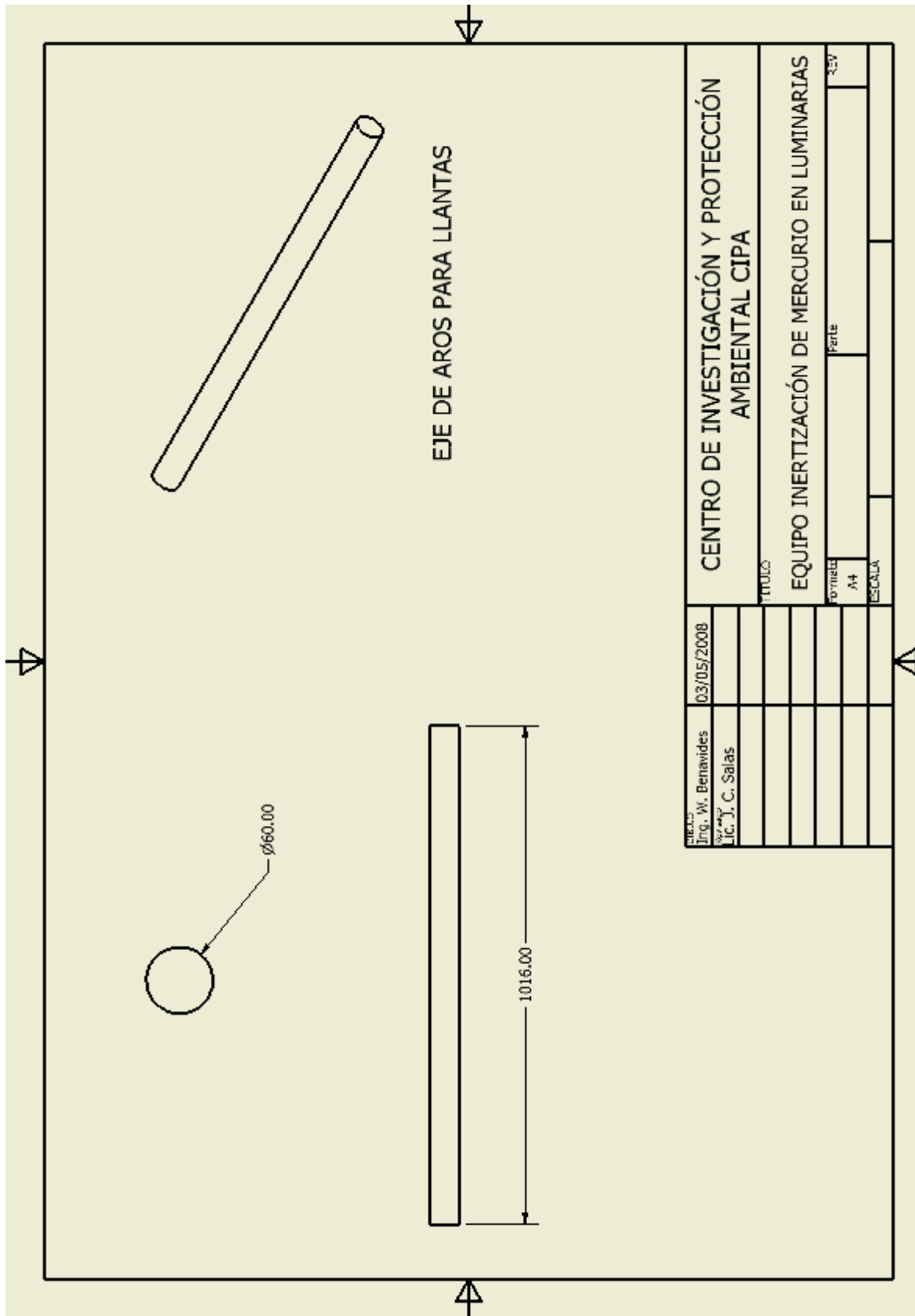
PROYECTO	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
INGENIERO	Ing. W. Benavides	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
PROYECTISTA	Lic. J. C. Salas	FORMA	
		A4	
		ESCALA	
		3:1	

Continúa Apéndice 3



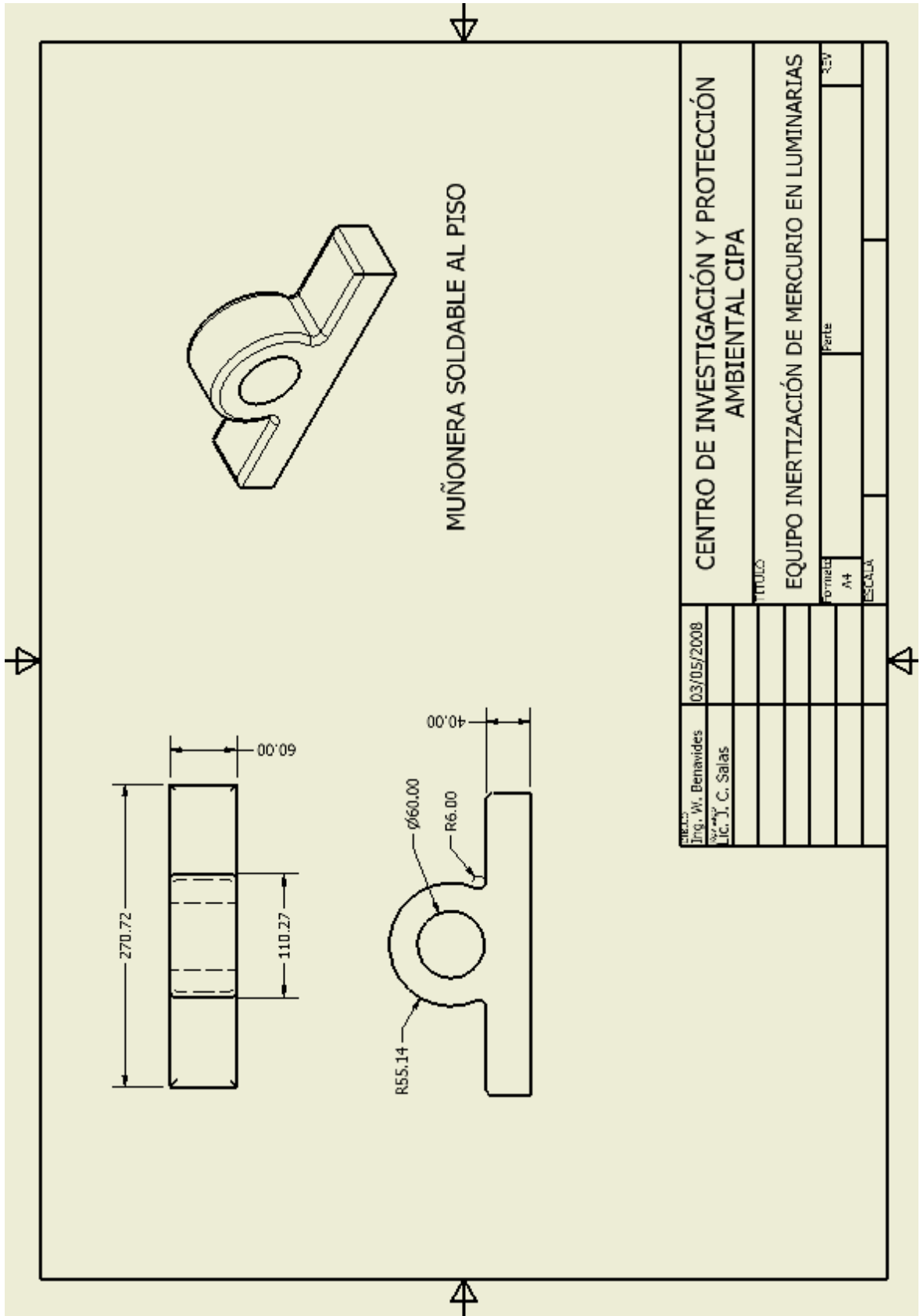
DISEÑO Ing. W. Benavides 03/05/2008 DIBUJO Lic. J. C. Salas	TÍTULO CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA
PARTE A4	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS
ESCALA 3:1	REVISIÓN

Continúa Apéndice 3



PROYECTO:	03/05/2008		
INGENIERO:	Ing. W. Benavides		
PROYECTISTA:	Lic. J. C. Salas		
TÍTULO:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA		
OBJETO:	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS		
ESCALA:	1:4	Parte	357

Continúa Apéndice 3



MUÑONERA SOLDABLE AL PISO

FECHA	03/05/2008	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL CIPA	
DISEÑADOR	Ing. W. Benavides	EQUIPO INERTIZACIÓN DE MERCURIO EN LUMINARIAS	
PROYECTANTE	Lic. J. C. Salas	TÍTULO	
ESCALA	A4	FOLIO	
ESCALA	357	TOTAL	

APÉNDICE 4

Determinación de la Concentración Inicial de Mercurio en las Luminarias.

Apéndice 4: Determinación de la Concentración Inicial de Mercurio en las Luminarias.

Muestra	Masa de la Luminaria (Gramos)	Concentraciones ppm. Lectura del colorímetro.	Concentración en las Luminaria en ppm.
Luminaria Transparente	125,8404	1.01	8.03
Luminaria Transparente	125.8326	0.91	7.23
Luminaria Transparente	130.0328	0.96	7.99

La determinación se realizo utilizando un colorímetro.

Procedimiento para determinar la concentración inicial de mercurio en las luminarias:

1. Cada lámpara se sumergió en 400 ml de agua y se quebró, luego se le agrego 100 ml HNO₃ concentrado.
2. Se agita durante una hora.
3. Se realiza un transvase cuantitativo a un balón aforado de 1000 ml.
4. La concentración de las muestra se determino por un método calorimétrico

APÉNDICE 5

Detalle de las Mezclas Analizadas en el Experimento

Apéndice 5: Detalle de las Mezclas Analizadas en el Experimento.

Cantidades en Gramos de cada Mezcla Evaluada (gr).

Mezcla	Mortero (relación 1:3)	Azufre	Desecho de Luminaria	Agua	Total
1	180	120	900	150	1350
2	420	120	660	170	1370
3	660	120	420	200	1400
4	900	120	180	216	1416
5	600	0	600	192	1392
6	240,975	53,55	241,0 + 0,5 Hg	77	612,5
7	445,5	0	0,5 Hg	80	525,5

Proporción de los componentes de cada Mezcla Evaluada (%).

Mezcla	Mortero (relación 1:3)	Azufre	Desecho de Luminaria	
1	15	10	75	
2	35	10	55	
3	55	10	35	
4	75	10	15	
5	50	0	50	control
6	45	10	45+ 0.5g Hg.	control
7	100	0	0.5g Hg.	control

ANEXOS:

ANEXO 1

Resultado de Análisis de las muestras evaluadas

Anexo 1: Resultado de Análisis de las muestras evaluadas.



Tel: (506) 2226-4468 • 2226-4462 • Fax (506) 2226-4462 • Apartado 5011 San José, Costa Rica
 E-mail: lambda@raesni.co.cr

RESULTADO DE ANÁLISIS # 171,328

--- RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO ---

FECHA: 28 DE ABRIL DEL 2008. SOLICITANTE: LIC. JUAN CARLOS BATAZ.

SOLICITADO: PRUEBA DE EXTRACCION PARA DETERMINAR LOS CONSTITUYENTES QUE HACEN DE UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE.

PROCEDIMIENTO: LAS MUESTRAS FUERON SOMETIDAS A UN TRATAMIENTO DE EXTRACCION CON LA DISOLUCION # 2 (ACIDO ACETICO AL 0,57 % EN AGUA pH= 2,88) (ADJUNTO DATOS), EN UNA RELACION 1:20 DE SOLIDO/LIQUIDO (BASE DE MATERIAL SOLIDO DE 100 GR.), CON AGITACION CONSTANTE DURANTE 18 HORAS, A 23 OC Y A 30 RPM. POSTERIORMENTE LAS MUESTRAS FUERON FILTRADAS A TRAVES DE UN FILTRO DE 0,6-0,8 um Y AL LIQUIDO SE LE DETERMINO EL ANALITO DE INTERES, MERCURIO.

RESULTADOS DE ANALISIS:

MUESTRA:	pH (ORIGINAL)	pH (EXTRACCION)	MERCURIO (Hg)
No. 1.....	8,14.....	5,02.....	0,12 mg/L
No. 2.....	8,60.....	5,56.....	0,39 mg/L
No. 3.....	8,72.....	6,10.....	0,066 mg/L
No. 4.....	9,24.....	6,40.....	0,044 mg/L
No. 5.....	11,53.....	11,10.....	0,24 mg/L
No. 6.....	9,32.....	7,12.....	0,36 mg/L
No. 7.....	11,72.....	11,35.....	0,25 mg/L

OBSERVACIONES:

- * pH ORIGINAL: pH DEL EXTRACTO ACUOSO DE LA MUESTRA AL 5,18 %.
- * pH EXTRACCION: pH DEL EXTRACTO FINAL CON HCl 0,035 N DE LA MUESTRA AL 5,18 %.
- * REFERENCIA: DECRETO No. 27001-MINAE (LA GACETA 27-MAYO-1998) Y DECRETO No. 27000-MINAE (LA GACETA 29-JUNIO-1998).
- * CUANTIFICACION DEL MERCURIO MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA, LLAMA FRIA.

Alberto A. Coto
 ALBERTO A. COTO GRIJALBA
 N. I. CFCIQ 985



U.L.

CURRICULUM VITAE

Currículo Vitae Juan Carlos Salas Jiménez

Licenciado en Química
Paso intermedio de Profesor Catedrático
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Teléfono: 2550-2229 / 2550-2568

Fax: 2550-2364

Celular: 8995-2542

Correo: jcsalas@itcr.ac.cr

Formación académica

2008, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Conclusión de los cursos de Maestría de Sistemas Modernos de Manufactura, proceso de presentación de Tesis.

1992, Universidad de Costa Rica

Licenciatura en Química

1991, Universidad de Costa Rica

Bachiller en Química

Cursos, Seminarios

1994 a 2008	Instituto Tecnológico de Costa Rica: Escuela de Química, Profesor
1999 a 2005	Coordinador del Proyecto de Manejo de Desechos del Instituto tecnológico de Costa Rica.
1996 a 2008	Investigador de Centro de Investigación en Protección Ambiental.
2001	Investigador en el proyecto reconversión Tecnológica para el Sector Cárnicos, hacia una producción más Limpia.
2002 al 2003	Investigador Proyecto Manejo Adecuado y Tratamiento de los Desechos Peligroso del ITCR, I y II Fase.
2003 al 2004	Investigador Proyecto Estrategias para manejo de desechos peligrosos Industriales.
2003 al 2004	Investigador proyecto Inmovilización del mercurio de las lámparas de alumbrado público.

Experiencia Laboral e investigación

1994-2008	Instituto Tecnológico de Costa Rica: Escuela de Química, Profesor.
1999-2005	Coordinador del Proyecto de Manejo de Desechos del Instituto tecnológico de Costa Rica.
1996-2008	Investigador de Centro de Investigación en Protección Ambiental.
2001	Investigador en el proyecto reconversión Tecnológica para el Sector Cárnicos, hacia una prod. más limpia.
2002-2003	Investigador Proyecto Manejo Adecuado y Tratamiento de los Desechos Peligroso del ITCR, I y II Fase.
2003-2004	Investigador Proyecto Estrategias para manejo de desechos peligrosos Industriales.
2003-2004	Investigador proyecto Inmovilización del mercurio de las lámparas de alumbrado público.
2001-2008	Coordinador del proyecto Gestión Integral de Desechos industriales en el Parque Industrial de Cartago.
2002-2003	Investigador en el proyecto Producción más Limpia en el Sector de Plástico.
2002-2004	Investigador en el Proyecto manejo de desechos peligrosos de laboratorios del ITCR.
2005	Investigador en el Proyecto: II fase de Manejo Desechos Peligrosos del ITCR. Proyecto Estrategias de Manejo desechos Peligrosos Industriales.
2006	Investigador en el proyecto “Establecimiento de una aula demostrativa en el manejo adecuado de desechos ordinarios, industriales y peligrosos”
2007	Investigador en el proyecto el proyecto” III fase de desechos peligroso del ITCR.
2008	Coordinador del Centro de Investigación el Protección Ambiental, ITCR.

Currículo Vitae William Benavides Ramírez

BENAVIDES RAMIREZ WILLIAM

INFORMACION PERSONAL

- Nacionalidad: Costarricense
- Fecha de nacimiento: 12 noviembre 1976

FORMACION ACADÉMICA

2006-Actual	Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura. Escuela en Ingeniería en Producción Industrial, del Instituto Tecnológico de Costa Rica San José.
1997	Bachiller en Ingeniería en Metalurgia. Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago, Costa Rica

FORMACION PROFESIONAL

- 18/05/2007 Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica
 - Seminario Taller "Norma ISO9001:2000" 24 H
- 19/06/2006 Centro Nacional de Alta Tecnología, San José, Costa Rica
 - Curso "Tools and Techniques of nanociencias" 60 H
- 30/05/2006 HDI,Inc. San José, Costa Rica
 - Curso "Systematic Ultrasonic Assembly " 20 H
- 11/05/2006 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica
 - Seminario "Herramientas Lean aplicadas en Extrusión" 8 H
- 06/04/2006 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica
 - Seminario "Caracterización de Procesos de Extrusión" 8 H
- 03/04/2006 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica
 - Curso "Formulación de Proyectos" 24 H
- 21/03/2006 HDI,Inc. San José, Costa Rica
 - Curso "Moldeo Universal" 30 H
- 21/11/2005 Comisión Nacional de Producción Mas Limpia CNP+L, Costa Rica
 - Seminario "Reciclaje de Materiales plásticos" 20 H
- 23/04/2004 Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago, Costa Rica
 - Seminario "Diseño y Manufactura de Moldes" 12 H
- 30 y 31/03/2004 Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica
 - "Introducción al nivel de (Banda amarilla) de Metodología Seis Sigma "16 H
- 26/03/2004 Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago, Costa Rica
 - Seminario "Materiales Inteligentes "12 H

EXPERIENCIA PROFECIONAL

2003-Actual	Profesor Escuela de Ciencias e Ing. De Materiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago, Costa Rica
En-Nov 2005	Investigador Proyecto Alfa Reciclaje y recuperación de componentes y equipos al final del ciclo de vida.Ecole Nationale Superior d'Arts et Metier ENSAM Chambéry, France Profesor
1998-2003	Supervisor de Reconstrucción y Mecanizado, Maquinaria y Tractores MATRA LTDA Santa Ana, San José, Costa Rica

ACTIVIDADES PROFECIONALES

Servicios profesionales para la reconstrucción y fabricación de recipientes a presión.

Servicios profesionales en END por Ultrasonido, Líquidos Penetrantes, y Radiografía Industrial.

Asesorías para pequeños talleres Metal mecánicos.

Certificación de Soldadores y Procesos de Soldadura

IDIOMAS

Español Lengua Materna

Ingles Intermedio

Francés Intermedio