

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS DE  
PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P SOBRE ACEROS**

PRESENTADO POR:

**MANUEL DE JESÚS PORTILLO HERNÁNDEZ**

**CARLOS ROBERTO VELÁSQUEZ MONTES**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO :

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR :

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS DE  
PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P SOBRE ACEROS**

Presentado por :

**MANUEL DE JESÚS PORTILLO HERNÁNDEZ**

**CARLOS ROBERTO VELÁSQUEZ MONTES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. Y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

San Salvador, Marzo de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. Y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

## **DEDICATORIA**

Primeramente a Dios por darme el regalo más grande, la vida; a mi madre, Virginia Hernández, por ser una fuente inagotable de amor, consejos, paciencia y apoyo a lo largo de mi formación académica; a mi padre José Héctor Portillo (QDDG) por darme el mejor ejemplo de vida que pude tener; a mi esposa Delmis de Portillo por su amor, apoyo y paciencia en cada uno de los difíciles momentos que se presentaron a lo largo de mis estudios; a mi hijo Héctor Manuel por brindarme felicidad y ser mi inspiración durante estos años; a mis hermanos y hermanas por darme su apoyo; y a mis sobrinos; Mario, Josué, Douglas, Karla, Fernando, Gabriel y Milena por su entusiasmo y alegría.

Manuel de Jesús Portillo Hernández

## **DEDICATORIA**

Dedicado Primeramente a Dios todopoderoso por permitirme culminar este trabajo de graduación, y por darme muchas bendiciones en mi vida.

Dedicado a mi padre José Rolando Velásquez y mi madre Guadalupe del Carmen Montes de Velásquez, ya que con gran esfuerzo me brindaron mi educación y un gran amor incondicional, gracias por sus consejos y gran apoyo.

Dedicado a mi amada esposa Gloria Carolina García de Velásquez ya que siempre me brindo su ayuda y apoyo incondicional.

Dedicado a mis hermanos Rolando Ernesto Velásquez y José Guillermo Velásquez por su apoyo y por estar siempre a mi lado en las buenas y malas.

Dedicado a mis amigos por su apoyo y palabras de aliento que me dieron cuando más las necesitaba.

Carlos Roberto Velásquez Montes

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Todas aquellas personas que aportaron sus conocimientos y tiempo para el desarrollo de este trabajo de graduación.

Al personal docente y administrativo de la escuela de ingeniería mecánica por su ayuda desinteresada en la formación académica.

Y muy especialmente a nuestro asesor Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, por compartir sus conocimientos y dedicar el tiempo necesario en la elaboración de este trabajo de graduación.

# PROPUESTA DE MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS DE PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P SOBRE ACEROS

Estudiantes: Brs. Manuel de Jesús Portillo Hernández <sup>1</sup> &

Carlos Roberto Velásquez Montes<sup>2</sup>

Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>3</sup>

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad de El Salvador

## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realizó un análisis sobre la propuesta de manejo de residuos químicos de procesos autocatalíticos de Ni-P sobre aceros, la cual es una técnica que en El Salvador aún no se realiza a nivel industrial y con el desarrollo de esta investigación se espera facilitar el desarrollo de dichos procesos. La investigación se desarrolló con la ayuda de información bibliográfica donde se describen los procesos, el manejo y almacenamiento de los químicos utilizados en los procesos y una cantidad significativa de los muchos baños que se producen, de los cuales se eligieron dos para presentar la propuesta, tomando en cuenta también el factor económico para la deposición final, con la cual se realizará la eliminación de los residuos químicos del proceso de deposición autocatalítica de Ni-P sobre aceros.

---

1 email: manuportern@gmail.com

2 email: rober\_6780@hotmail.com

3 email: jaberriosortiz@gmail.com

# PROPOSED CHEMICAL WASTE MANAGEMENT PROCESS OF Ni- P AUTOCATALYTIC STEELS

Students: Brs. Manuel de Jesús Portillo Hernández <sup>1</sup> &  
Carlos Roberto Velásquez Montes<sup>2</sup>

Teaching Adviser: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>3</sup>

School of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture  
University of El Salvador

## ABSTRACT

In this graduate work an analysis of the proposed management of chemical residues of autocatalytic processes Ni-P steels was performed, which is a technique that in El Salvador still not done on an industrial level and the development of this research is expected to facilitate the development of these processes. The research was conducted with the help of bibliographic information where processes, handling and storage of chemicals used in the process and a significant amount of long baths that are produced, of which two were chosen to present the proposal are described, taking into account also the economic factor for final disposal, with which the removal of residual process chemicals autocatalytic deposition of Ni-P steels made.

---

1 email: manuportern@gmail.com

2 email: rober\_6780@hotmail.com

3 email: jaberriosortiz@gmail.com

# ÍNDICE

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Procesos para la obtencion de recubrimientos autocataliticos de Ni-P.....	2
1.1.1. Preparación mecanica de la superficie a recubrir.....	2
1.1.2. Pre limpieza de la superficie a recubrir.....	4
1.1.3. Desengrasado de la superficie a recubrir.....	5
1.1.4. Activación de la superficie a recubrir.....	6
1.1.5. Deposición autocatalítica de Ni-P.....	8
1.1.6. Clasificación de los procesos de deposición de Ni-P.....	9
1.1.7. Propiedades del depósito de Ni-P.....	14
1.1.8. Control de la película de níquel.....	17
1.1.9. Recubrimientos autocataliticos comparados con recubrimientos electroliticos.....	19
1.2. Envejecimiento de cada proceso de obtención de los recubrimientos autocataliticos de Ni-P.....	20
1.2.1. Envejecimiento de solución para pre limpieza de la superficie a recubrir.....	21
1.2.2. Envejecimiento de solución para desengrasado de la superficie a recubrir.....	21
1.2.3. Envejecimiento de la solución para la activación de la superficie a recubrir.....	22
1.2.4. Envejecimiento de la solución para la deposición autocatalítica de Ni-P.....	23
1.3. Normas de control y seguridad ambiental aplicadas a los procesos para la obtencion de recubrimiento autocatalíticos de Ni-P.....	24
1.3.1. Normas de control y seguridad para aguas con residuos de jabón aceites y grasas.....	25

	Pág.
1.3.2. Normas de control y seguridad para el manejo de químicos utilizados en la activación.....	26
1.3.3. Normas de control y seguridad para aguas con residuos del proceso de activación.....	28
1.3.4. NFPA (National Fire Protection Association) asociación nacional de protección contra el fuego.....	30
1.3.5. Normas de control y seguridad para el manejo de productos de deposición autocatalítica.....	33
2. SELECCIÓN DE LOS PROCESOS AUTOCATALÍTICOS MÁS USADOS.....	34
2.1. Procesos autocatalíticos más usados.....	34
2.1.1. Baños ácidos con base de hipofosfito.....	36
2.1.2. Baños alcalinos con base de hipofosfito.....	38
2.1.3. Selección de los procesos.....	40
2.2. Selección de desengrasantes.....	41
2.2.1 selección de jabón líquido para la prelimpieza.....	41
2.2.2. Selección de disolventes desengrasantes.....	41
2.2.3. Selección de desengrasantes alcalinos.....	43
2.3. Selección de activadores.....	44
2.4. Selección de baños autocatalíticos.....	45
3. PROPUESTA DE MANEJO DE RESIDUOS OBTENIDOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE NI-P.....	46
3.1. Manejo y almacenamiento para residuos químicos y desechos generados en procesos autocatalíticos de Ni-P.....	47
3.1.1. Manejo y almacenamiento de residuos de la prelimpieza.....	47
3.1.2. Manejo y almacenamiento de residuos del proceso de desengrase con disolvente.....	48
3.1.3. Manejo y almacenamiento de residuos del proceso de activación.....	49

	Pág.
3.1.4. Manejo y almacenamiento de Residuos del proceso de deposición autocatalítica de Ni-P. Que pueden ser en un baño ácido o un baño alcalino.....	51
3.2. Procedimientos de tratamiento de residuos químicos generados en procesos autocatalíticos de Ni-P.....	54
3.2.1. Clasificación de los residuos químicos.....	54
3.2.2. Procedimientos de eliminación de los residuos químicos generados en procesos autocatalíticos de Ni-P según su clasificación.....	56
3.3. Disposición final para residuos químicos generados en procesos autocatalíticos de Ni-P.....	62
3.3.1. Consideraciones sobre disposición final de los disolventes desengrasantes.....	62
3.3.2. Consideraciones sobre disposición final de desengrasantes alcalinos.....	63
3.3.3. Consideraciones sobre disposición final de activadores.....	64
3.3.4. Consideraciones sobre disposición final de los componentes de la solución para baños autocatalíticos Ni-P.....	65
3.3.5 Normativa para desechar los químicos utilizados en el proceso de deposición autocatalítica Ni-P.....	66
3.4. Equipos de protección utilizados en procesos autocatalíticos de Ni-P...69	
3.4.1. Equipos de protección a utilizar para el manejo de disolventes desengrasantes.....	70
3.4.2. Equipo de protección a utilizar para el manejo de desengrasantes alcalinos.....	70
3.4.3. Equipo de protección a utilizar para el manejo de activadores....	71
3.4.4. Equipo de protección a utilizar para el manejo de los componentes de la solución para baños autocatalíticos de Ni-P.	72
3.4.5. Equipos de protección colectiva.....	72

	Pág.
3.5. Costos para el coprocesamiento de los residuos químicos de proceso autocatalíticos de Ni-P.....	73
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 3.1. Diagrama de flujo de residuos obtenidos en procesos autocatalíticos de Ni-P.....	46
Fig. 3.2. Diseño básico de una trampa de grasa.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Aplicaciones generales del revestimiento de Ni-P.....	13
Tabla 1.2. Tipos de deposición autocatalítica de acuerdo al contenido de P.....	14
Tabla 1.3. Principales campos de aplicación de los recubrimientos electrolíticos y autocatalíticos.....	20
Tabla 1.4. Valores máximos permisibles de residuos de detergentes aceites y grasas.....	26
Tabla 1.5. Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:09 Parámetros de valores permisibles para aguas residuales descargadas a un receptor.....	27
Tabla 2.1. Composición de algunos baños ácidos y alcalinos basados en hipofosfito de sodio.....	35
Tabla 2.2. Composición de algunos baños ácidos basados en hipofosfito.....	37
Tabla 2.3. Composición de algunos baños alcalinos a base de hipofosfito.....	39
Tabla 3.1. Listado de sitios autorizados para la eliminación y disposición final de desechos peligrosos.....	67
Tabla 3.2. Costos de transporte y eliminación de residuos químicos líquidos, proporcionado por Geocycle-Holcim.....	73
Tabla 3.3. Costos de transporte y eliminación de residuos químicos lodos o pastas, proporcionado por Geocycle-Holcim.....	73

## LISTADO SÍMBOLOS Y SIGLAS

ANDA: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados

ASTM: American Society for Testing and Materials

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

DQO: Demanda Química de Oxígeno

FDA: Food and Drugs Administration

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

MINSAL: Ministerio de Salud

NFPA: National Fire Protection Association

Ni-P: Níquel-Fósforo

NMP: Número Más Probable

NSO: Norma Salvadoreña Obligatoria

NTP: Nota Técnica de Prevención

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

PERC: Percloroetileno

PVC: Policloruro de Vinilo

SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno

TCE: Tricloroetileno

ua: Unidades adimensional

☢: Material Radioactivo

☣: Riesgo Biológico

## **INTRODUCCIÓN**

En el presente Trabajo de Graduación (TG) se aborda la problemática de los desechos generados por los procesos de deposición autocatalítica Ni-P, enfatizando claramente que se quiere llegar a la eliminación de estos residuos finales de una forma que se restrinja, en la mayor medida de lo posible, la contaminación que estos generan al medio ambiente con lo cual se dará una alternativa para que éstos no se liberen a la atmósfera.

Como se sabe la contaminación del planeta es un grave problema que afecta a todos los seres vivos que lo habitan y a pesar de todos los protocolos, convenios y tratados internacionales de los que se tiene conocimiento aún quedan muchas cosas por hacer para evitar más problemas ambientales. Así, en ese sentido se busca una forma adecuada para la eliminación de los residuos finales de procesos de deposición autocatalítica de Ni-P sobre aceros.

La recopilación de la información plasmada en este TG es bibliográfica, obtenida de manuales, documentos de instituciones de gobierno, artículos científicos e información de empresas encargadas de desechar residuos químicos, sin dejar de lado información de algunas páginas Web.

## **1. MARCO TEÓRICO**

La presente información es con el fin de dar una descripción sobre los procesos para la obtención de recubrimientos autocatalíticos de Ni-P, así también se presenta el envejecimiento de las soluciones de cada proceso de obtención de dichos recubrimientos y las normas de control y seguridad ambiental aplicadas a los procesos para la obtención de recubrimientos autocatalíticos de Ni-P sobre aceros.

### **1.1. PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE RECUBRIMIENTOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

El recubrimiento Ni-P se deposita sobre un gran número de sustratos, los cuales pueden ser metálicos o no metálicos y de diferentes composiciones y propiedades. Por estas razones, es imposible seleccionar un sólo enfoque general para la preparación de la superficie, ya que se requieren procedimientos específicos para cada tipo de sustrato.

En términos generales, se puede clasificar los sustratos como metálicos o no metálicos. La mayoría de recubrimientos de Ni-P se realiza en superficies metálicas, y en este capítulo se describirá la preparación de superficies metálicas.

#### **1.1.1. PREPARACIÓN MECÁNICA DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR**

En todo proceso autocatalítico, antes de proceder al recubrimiento superficial de la pieza, se requiere de un tratamiento previo de preparación de la superficie. Este pretratamiento se realiza para eliminar los restos de grasas, aceites, taladrinas y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes presentes en la superficie, así como restos de óxido, entre otros. En general,

estos restos proceden del tratamiento de procesamiento mecánico, pudiendo también proceder del proceso de engrase de las piezas como protección anticorrosiva temporal.

A continuación se describe la preparación de la superficie a recubrir para el caso en que las superficies a recubrir son de tamaños pequeños en los cuales la preparación de la superficie se puede hacer manualmente utilizando papel lija (carburo de silicio) sobre la totalidad de la superficie de las piezas en aplicaciones sucesivas desde el numerado con el 100 hasta el 1200, lo cual implica asegurarse que la superficie quede libre de los sólidos gruesos que pudiesen quedar sobre la superficie; éste paso determina el acabado superficial que tendrá la superficie a recubrir [1].

En el mismo sentido el proceso de preparación de la superficie se puede desarrollar en forma semiautomática, el cual consiste en el pulido mecánico con cintas abrasivas, equipos de vibración o bien, mediante la proyección a gran velocidad con aire comprimido, de un material abrasivo en estado sólido (arena de sílice, escorias, granalla de acero, etc.) sobre la superficie en cuestión. Con este sistema, se van eliminando las capas de impurezas que se encuentran adheridas a la superficie a tratar. Así, en los casos en que los acabados superficiales mecánicos sean en piezas grandes y piezas de geometría complicada que no permiten el uso de procesamiento manual. El acabado de tales superficies será el granallado o disparo de chorro de arena o abrasión con rueda [1].

Cabe señalar que incluso las superficies naturalmente activas se pueden pasivar cuando están contaminadas con residuos extraños o capas de óxido. Por esta razón, la preparación de la superficie para el recubrimiento de Ni-P, requiere el más alto grado de cuidado y control de todos los procedimientos de acabado de metales [1].

### **1.1.2. PRELIMPIEZA DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR**

Es esencial que se seleccionen limpiadores adecuados y condiciones operativas adecuadas, ya que, incluso en la misma categoría, no todos los productos de limpieza son igualmente eficaces. Un limpiador puede ser muy eficaz para eliminar grasas en la superficie pero ineficaz para eliminar óxidos.

Se debe tomar en consideración la superficie, el tipo de agua, tiempo disponible, instalaciones de lavado, tipo de metal, calefacción, y la agitación, instalaciones para la eliminación de contaminantes, y productos de limpieza. Obviamente, lo económico también se debe considerar [2].

La prelimpieza está considerada para eliminar el exceso de suciedad, especialmente residuos del pulido de la superficie o grasa. También, es útil en la reducción de la viscosidad de aceites pesados o para quitar huellas dactilares, para permitir que las etapas posteriores de limpieza sean más eficaces.

La vida efectiva de un baño de limpieza debe ser estimada y estos baños de limpieza se desechan cuando estos se agotan. La vida del baño está influenciada por algunos de los factores descritos anteriormente, así como por el área superficial de piezas procesadas [2].

La prelimpieza de la superficie a recubrir se realiza por medio de un lavado de la pieza con un jabón líquido. A continuación se describe como se debe de realizar la prelimpieza.

El lavado apropiado requiere de jabón y sólo una pequeña cantidad de agua. Las piezas húmedas se deben cubrir con jabón y frotar toda la superficie, por lo menos durante 20 s. Luego, se deben enjuagar bien con agua preferiblemente usando un chorro de agua destilada.

### 1.1.3. DESENGRASADO DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR

El desengrasado de la superficie a recubrir es una limpieza que se realiza en dos etapas: una limpieza con disolvente seguido de una limpieza alcalina, las cuales servirán para eliminar los residuos aceitosos ligeros, así:

A) LIMPIEZA CON DISOLVENTE: Estos disolventes son utilizados tanto en frío como en fase vapor. Eliminan grasas, pinturas y barnices. A continuación se describen los procesos para ambos desengrasados, la forma de aplicarlos y los nombres de los disolventes que se pueden utilizar:

- ✓ Desengrasado en frío, se aplican por inmersión. Para realizar este tipo de limpieza se pueden utilizar solventes fríos como: mineral spirits; tricloroetileno; percloroetileno; 1,1,1-tricloroetano (metilcloroformo); cloruro de metileno; o triclorotrifluoroetano. La inmersión sencilla en disolvente es con frecuencia ineficaz. Por otro lado, estos solventes combinados con el cepillado manual dan resultados excelentes, pero esta combinación no se pueden aplicar en condiciones de producción industrial [2].
- ✓ Desengrasado al vapor con disolvente, en este proceso los disolventes del baño se evaporan y producen vapores que se condensan sobre la pieza realizando el efecto desengrasante, éste se puede utilizar para limpiar todo tipo de metales incluyendo los aceros, aleaciones de acero, aleaciones de metales ligeros, bronce especiales, metales no ferrosos, níquel y titanio. Este método simplifica la limpieza de estos metales porque limpia por la acción disolvente en lugar de la acción química; no existe peligro de una limpieza excesiva o deficiente porque no existe ninguna actividad química en los metales presentes. Debido a la acción penetrante rápida del vapor del disolvente, este método es eficaz en partes de la pieza que contengan rebajes, agujeros ciegos, perforaciones, hendiduras y soldaduras. En si cuando las superficies de las piezas son de geometría complicada y de difícil acceso, este proceso a veces se complementa con una limpieza por ultrasonidos en una cámara con solución disolvente [2].

B) LIMPIEZA ALCALINA: La limpieza alcalina elimina residuos de disolventes y residuos de suciedades que se han ablandado o reducido por la limpieza previa. Esta puede ser por pulverización o de remojo de una solución alcalina. También, se puede utilizar como una etapa de limpieza previa, si el metal está aún sucio y fuera necesaria una limpieza alcalina adicional [2].

Esta limpieza adicional no es necesaria para los metales que son sensibles a la limpieza alcalina, como el zinc, ya que el tiempo de permanencia en el limpiador alcalino debe ser mínimo [2].

A continuación se describe el proceso tanto para la limpieza alcalina de remojo como para la limpieza alcalina de pulverización:

- ✓ Limpieza alcalina de remojo, se realiza en una solución de limpiador alcalino de 30 a 120 g/l a temperaturas de 82 °C a ebullición, durante periodos de 3 a 15 min. Si se utiliza ultrasonidos, las temperaturas de 70 °C a ebullición. Los productos de limpieza contienen habitualmente, materiales jabonosos como tensioactivos que al agitarlos fuertemente producen espuma [2]
- ✓ Limpieza alcalina de pulverización, se lleva a cabo usualmente en una solución de limpiador alcalino de 4.0 a 15 g/l a temperaturas de 50 a 82 °C durante 1 a 3 min con presiones de pulverización de 69 a 345 kPa (10 a 50 psi). La formación de espuma puede ser un problema, a menos que el limpiador esté diseñado correctamente para ser pulverizado [2].

#### **1.1.4. ACTIVACIÓN DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR**

La práctica para la obtención de recubrimientos autocatalíticos de Ni-P demanda que la superficie del sustrato a recubrir debe estar limpia, libre de grasa y de cualquier contaminante y que no exista la más mínima partícula de óxido.

En todo proceso de recubrimiento, el brillo de la superficie depende del pulido de la pieza antes de recubrir; es decir, entre más pulido esté el sustrato, más brillante será el recubrimiento.

La superficie a ser recubierta debe ser capaz de iniciar la reacción de deposición y esto indica que la superficie del sustrato sea catalíticamente activa por sí misma o ser activada por la deposición de núcleos de un metal catalíticamente apropiado. Esto es debido a que el níquel es catalíticamente activo por sí mismo, el proceso de deposición continuará aún después de recubrirse completamente el sustrato. Los sustratos pueden ser clasificados en términos de su actividad catalítica para el proceso de deposición [3].

La activación tiene que ser en forma apropiada (directamente o a través de alguna reacción intermedia) para que la superficie sea un catalizador eficiente en la reducción de los cationes de níquel en esta operación se elimina sobre todo los óxidos metálicos de la superficie a recubrir. Según el tipo de óxido a eliminar se utilizan baños ácidos en frío o en caliente [3].

La activación con la solución apropiada para cada material en nuestro caso para los aceros será ácido clorhídrico al 20 % durante 1 min. Luego enjuagado con agua destilada [4].

Posteriormente, los sustratos deben ser sumergidos inmediatamente en la solución, sin dejar que éstos se sequen.

El procedimiento para realizar la activación es el siguiente:

- ✓ Realizar la activación de la superficie, al sumergirla dentro de una solución diluida de ácido clorhídrico al 20 % en volumen. Se deberá tener mucho cuidado al realizar este proceso, pues el ácido clorhídrico diluido es muy corrosivo y daña cualquier tejido humano que entre en contacto con ésta solución; por lo cual, el tiempo recomendado es de ~1 min [4].
- ✓ Retirar la superficie de la solución ácida y aplicarle dos enjuagues con agua destilada, el primer enjuague deberá estar a la temperatura ambiente y el segundo deberá estar a la misma temperatura a la cual se realizará la deposición; el tiempo de aplicación por enjuague es de ~3 min, tratando en lo posible de evitar que la superficie no se corra [4].
- ✓ Retirar la superficie activada del segundo enjuague y sin esperar que la superficie llegue a secarse, introducirla en la solución autocatalítica; la cual

deberá estar a las condiciones de deposición. Verificando que no se observen manchas u óxidos sobre dichas superficies [4].

### **1.1.5. DEPOSICIÓN AUTOCATALÍTICA DE Ni-P**

El proceso de deposición de metales por reducción química autocatalítica consiste en el recubrimiento de un metal a partir de una solución sobre una superficie adecuada, por acción química en ausencia de corriente eléctrica externa. Las soluciones empleadas para este tipo de deposición es una mezcla de diferentes reactivos en la que cada uno de ellos desarrolla una función importante; la solución está constituida por los siguientes componentes: una fuente de iones níquel (generalmente sulfato de níquel), un agente reductor que suministra electrones para reducir el níquel (por ejemplo, hipofosfito de sodio), una fuente de energía (calor), agentes complejantes para controlar el níquel libre disponible para la reacción, agentes amortiguantes para resistir los cambios de pH causados por el hidrógeno liberado durante la deposición, aceleradores (catalizadores) que ayudan a incrementar la velocidad de la reacción, inhibidores (estabilizadores) que inhiben la formación de núcleos metálicos y subproductos de la reacción. La mayoría de los recubrimientos de níquel obtenidos por reducción química autocatalítica, se depositan a partir de soluciones reducidas con hipofosfito de sodio. Las principales ventajas de estas soluciones con respecto a las que se basan en el boro o la hidracina son su bajo costo, su facilidad de control y la mejor resistencia a la corrosión del depósito. A diferencia de la electrodeposición convencional, no se requiere corriente eléctrica para que exista deposición metálica. Las soluciones para este procedimiento producen un depósito que sigue exactamente el contorno del substrato sin importar la forma de la pieza. El substrato a recubrir debe ser catalítico a la reacción de deposición. Una pieza preparada adecuadamente proporciona una superficie catalítica que al ser introducida en la solución, se recubrirá uniformemente. Pequeñas cantidades del ion metálico catalizarán la reacción, de tal forma que la deposición

continuará autocatalíticamente después de que la superficie original se haya recubierto. La deposición por reducción química autocatalítica continuará por sí sola si existen las concentraciones adecuadas de ion metálico y de agente reductor [5].

#### **1.1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE DEPOSICIÓN DE Ni-P**

Todos los métodos utilizados para depositar níquel no electrolítico a partir de soluciones acuosas se pueden clasificar así:

##### **A) AGENTE REDUCTOR UTILIZADO:**

Este es el más importante ya que describe no sólo la naturaleza del agente reductor, sino también (aunque en términos generales) el tipo de aleación y su amplia composición que se deposita. Obviamente las tres clasificaciones (agente reductor, de acuerdo al pH, baños de acuerdo a la composición y estructura) se complementan entre sí en lo que permite una descripción más precisa de un proceso y, como ejemplo, se podría describir un níquel no electrolítico depositado a partir de un baño a base hipofosfito de sodio alcalino a 60 °C [6].

Brenner y Riddell comenzaron sus estudios con un baño de níquel que a causa de la pérdida rápida y desagradable de amoníaco a altas temperaturas entre 85 a 92 °C, se consideró que la primera solución era de poca utilidad práctica al ser soluciones débilmente ácidas, por lo cual se utilizó la siguiente composición [6]:

- ✓ Cloruro de níquel 30 g/l
- ✓ Hipofosfito de sodio 10 g/l
- ✓ El acetato de sodio 50 g/l
- ✓ El amoníaco a pH 4-6

Esta formulación actualmente sigue siendo la base de muchos sistemas de deposición autocatalítica. Todas las formulaciones de tales baños

(soluciones acuosas) contienen: iones de níquel, reductores y agentes complejantes y reguladores de pH [6].

Además, pueden contener: aceleradores, estabilizadores y agentes humectantes.

En contraste con la mayoría de los baños autocatalíticos, todos los baños electrolíticos poseen ciertas características que pueden resumirse como sigue:

- 1) El baño contiene iones de níquel y agente reductor en equilibrio metaestable. El baño normalmente se estabiliza de tal manera que los dos componentes no reaccionarán espontáneamente uno con el otro bajo temperaturas normales de funcionamiento. Dicho esto, la estabilidad de un baño es un criterio importante [6].
- 2) El contenido de níquel de estos baños es muy baja (2 a 8 g/l) [6].
- 3) La tasa de deposición suele ser alrededor de 10 a 25  $\mu\text{m/h}$ ; es decir, relativamente bajo.
- 4) Aparte de la composición del baño, la velocidad de deposición depende estrechamente de la temperatura y el pH y, en cierta medida, de la edad del baño. Los complejantes, aceleradores y estabilizadores añaden y garantizan una tasa de deposición óptima y estabilidad del baño.
- 5) El metal del cual se hará la deposición se inicia y se mantiene por un catalizador, la eliminación de los cuales pone fin a la reacción.
- 6) La superficie a recubrir se activa por sí misma como catalizador en los casos en que este material es en sí mismo catalíticamente activo o cuando se ha activado utilizando un catalizador. El metal a depositar en sí mismo debe ser catalíticamente activo con el fin de que el proceso sea heterogéneo y pueda continuar.
- 7) La reducción de níquel está acompañada por el desprendimiento de hidrógeno. La relación molar de níquel depositado y de hidrógeno desprendido está variando en el intervalo de 1:1.76 a 1:1.93.
- 8) Los recubrimientos formados por deposición no electrolítica no son normalmente de metal puro, sino que también contienen fósforo o boro, que

se derivan del agente reductor. Las cantidades presentes dependen de las condiciones de deposición. Cuando se utilizan metales pesados como estabilizadores (Tl, Pb o Cd) estos también se incorporarán en el depósito.

9) Los productos químicos que se consumen en la reacción, se deben reponer ya sea de forma continua o a intervalos regulares cuando su concentración cae por debajo de un nivel dado. Tal reposición es permisible hasta que la acumulación de productos de reacción y las especies que no se descomponen ejerce una influencia perjudicial. El baño debe entonces ser desechado.

Los agentes reductores más comunes son hipofosfito, borohidruro, aminoboranos e hidracina [6].

El hipofosfito de sodio,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , que se forma como cristales higroscópicos incoloros que son fácilmente solubles en agua.

El ortofosfito formado como subproducto ( $\text{H}_2\text{PO}_3$ ) se precipita como la  $\text{CaHPO}_3$  insoluble mediante la adición de  $\text{Ca} \cdot (\text{OH})_2$ .

El potencial redox del ion hipofosfito es a  $-1.065 \text{ V}$  (a  $\text{pH} = 7$ ) y  $-0.882 \text{ V}$  ( $\text{pH} = 4.5$ ) mientras que los valores alternativos son  $-1.57 \text{ V}$  en alcalino y  $-1.36 \text{ V}$  en medio ácido. Sobre esta base, se ve que el hipofosfito es uno de los más fuertes agentes reductores [6].

De los borohidruros, el borohidruro de sodio se utiliza más ampliamente (conocido en algunas terminologías anteriores como borato de sodio). Borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) es una sal incolora, ligeramente higroscópico que no presenta cambios cuando se calienta en aire hasta  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . En contacto con la llama, se quema fácilmente. Es soluble en agua fría ( $55 \text{ g NaBH}_4/100 \text{ g}$  de agua a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se descompone lentamente en solución por hidrólisis para formar borato de sodio e hidrógeno [6].

La hidracina es otra opción como reductor para el níquel electrolítico. Hidracina puro (a veces conocido como di-amida,  $\text{H}_2\text{N-NH}_2$ ) es un líquido higroscópico incoloro que reacciona con el aire. Es totalmente miscible con agua, alcoholes o aminas. La hidracina actúa como un agente reductor fuerte para un número de iones de metales pesados, que puede ser catalíticamente

oxidantes para formar agua y nitrógeno, con prácticamente ningún otro tipo se forman estos elementos. Ante estos hechos, la hidracina parece ser un agente ideal para la reducción de níquel no electrolítico. Desafortunadamente, los baños basados en hidracina no son muy estables y por lo tanto rara vez se utiliza en la práctica. Por otra parte, los depósitos formados cuando se utiliza como agente reductor, carecen de muchos de los atributos de los basados en Ni-P o Ni-B formados a partir de hipofosfito o boro que contienen estos agentes reductores respectivamente [6].

#### B) BAÑOS DE ACUERDO AL pH

Los recubrimientos de Ni-P. Se pueden depositar a partir tanto de baños alcalinos como ácidos, cada baño origina revestimientos de níquel con aplicaciones diferentes; en el primer caso, se favorece la deposición sobre plásticos a temperaturas de deposición bajas. En el segundo caso, se depositan revestimientos menos porosos a mayor velocidad y con alta resistencia a la corrosión y erosión. En la Tabla 1.1 se presentan las aplicaciones típicas para este tipo de revestimiento [7]. Así, estos baños, de acuerdo al pH, se clasifican en:

##### ✓ BAÑOS ÁCIDOS CON HIPOFOSFITO

Durante la década de 1950, provenientes principalmente de sus experiencias industriales, se reconoció que los baños ácidos con hipofosfito ofrecen una serie de ventajas en comparación con los tipos alcalinos amoniacales. Estas ventajas incluyen mayores tasas de deposición, una mayor estabilidad, mayor simplicidad de los depósitos de control de baño y de Ni-P con propiedades mejoradas [6].

Desde entonces, las casas de suministro han desarrollado y ofrecido más de 100 formulaciones basadas en soluciones de hipofosfito ácido. Tales baños permiten depósitos que contienen de 5 al 14% en peso de P [6].

Tabla 1.1. Aplicaciones generales del revestimiento de Ni-P.

Tipo de baño	Propiedades específicas	Servicio/Componentes
Alcalino	Temperatura de deposición baja. < 30 °C	Deposición sobre plásticos
Ácido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 90 °C, alta velocidad (12-30 mm/h) Alto P &gt; 10 %,</li> <li>- Revestimiento amorfo y no magnético con, alta resistencia</li> <li>- Medio P 7-10 %</li> <li>- Revestimiento con resistencia a la corrosión/desgaste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desgaste/Corrosión</li> <li>- Motores (eje)</li> <li>- Compresores de gas (ejes, impulsores, rotores)</li> <li>- Turbinas de vapor y gas (rotor)</li> <li>- Válvulas</li> <li>- Extrusores</li> <li>- Tubería de perforación</li> <li>- Bombas (barril, pistón)</li> <li>- Redimensionamiento de Partes</li> </ul>

#### ✓ BAÑOS ALCALINOS CON HIPOFOSFITO

La primera patente de níquel electrolítico fue presentada por Roux en 1916 y tanto ésta como las investigaciones posteriores de Brenner y Riddell (1946), se basaron en hipofosfito alcalino. El comportamiento de los iones de níquel en solución alcalina es el mismo que en medio ácido, que es acompañada por el desprendimiento de hidrógeno y la oxidación del hipofosfito a fosfito. Los índices de depósito son algo más lento en soluciones alcalinas y los depósitos formados son más porosos y menos resistente a la corrosión, aunque a menudo más brillante. Por otro lado, estas soluciones, tienen una tendencia a formar superficies complejas y fuertes debido a la mayor solubilidad de los fosfitos en la solución, son extremadamente estables, estas soluciones y fáciles de trabajar. El contenido de fósforo de los depósitos formados a partir de ellos es generalmente menor que cuando se utilizan soluciones ácidas, una característica que puede ser un atractivo en ciertas aplicaciones [6].

Las soluciones alcalinas se introdujeron gradualmente en la práctica industrial y su interés radica en gran medida por los resultado obtenidos en aplicaciones especializadas y el desarrollo de la deposición sin corriente eléctrica a bajas temperaturas (< 65 °C) sobre plásticos.

#### C) BAÑOS DE ACUERDO A LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

Para níquel reducido autocatalíticamente a partir de hipofosfito y dependiendo de la composición del baño de la solución los revestimientos

comerciales pueden contener de 3 a 12 % de fósforo disueltos en níquel, y hasta 0.25 % de otros elementos. El contenido de fósforo tiene un gran efecto sobre las propiedades del depósito. Industrialmente se identifican los recubrimientos por deposición autocatalítica por su contenido de fósforo. Los de bajo fósforo (2-5 % P), medio fósforo (6-9 % P) y alto fósforo (10-13 % P).

La mayoría de los recubrimientos por deposición autocatalítica que contienen entre 6 a 12% de fósforo son amorfos una vez depositados, no tienen cristales o estructuras de fase. Sin embargo, Moyseyer propuso un sistema de tres fases: níquel cristalino beta para depósitos que contienen menos de 5 % de fósforo, níquel alfa y beta parcialmente cristalino entre 5 y 8.5 % de fósforo, y depósitos de níquel alfa amorfo para depósitos que contienen más de 8.5 % de fósforo. Los diferentes tipos de deposición autocatalítica de Ni-P permiten obtener propiedades físicas, químicas y mecánicas diferentes, las cuales se clasifican según el porcentaje de fósforo que contenga el baño. En la Tabla 1.2 se presenta dicha clasificación [8].

Tabla 1.2. Tipos de deposición autocatalítica de acuerdo al contenido de P.

Tipos de deposición autocatalítica	Porcentaje de fósforo
Níquel de bajo contenido de fósforo	Del 2 al 4 % en fósforo
Níquel de medio contenido de fósforo	Del 5 al 7 % en fósforo
Níquel de alto contenido de fósforo	Del 11 al 13 % en fósforo

### 1.1.7. PROPIEDADES DEL DEPÓSITO DE Ni-P

Los baños de Ni-P ofrecen una gran resistencia y ductilidad limitada. El límite elástico a la tracción excede los 70 kg y la ductilidad del depósito es de 4-6 %. Aunque esto es menor que las mayorías de los metales en ingeniería, es suficiente para casi todas sus aplicaciones. Las capas de estos recubrimientos pueden ser plegadas completamente sin ruptura, pudiendo ser usadas en el campo de la conformación mecánica. Sin embargo, no se deberá de usar con

este fin, ya que las deformaciones severas causan grietas o ruptura del depósito, exponiendo al metal base a corrosión y a la abrasión [8].

Las propiedades físicas de los baños de Ni-P, son similares a las del acero inoxidable austénico, entre las cuales se pueden citar:

- ✓ Su resistividad eléctrica es de  $\sim 75 \text{ m}\Omega/\text{cm}$ , siendo más elevada que la de conductores convencionales tales como el cobre.
- ✓ Su conductividad térmica es  $\sim 0.01 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C}$ .
- ✓ Los tratamientos térmicos precipitan el P de la aleación aumentando la conductividad térmica y eléctrica.
- ✓ Los recubrimientos con alto contenido de P son totalmente a magnético.
- ✓ La rugosidad superficial de los recubrimientos de Ni-P copian exactamente el sustrato. Teniendo en consideración este detalle, se puede decir que hasta  $15 \mu\text{m}$ , la rugosidad superficial será la misma que la del material base. A partir de  $15 \mu\text{m}$  el depósito tendrá una rugosidad superficial mínima.

Los baños por deposición autocatalítica de Ni-P mejoran las propiedades de los aceros, a continuación se describen las propiedades más importantes de dichos baños [8]:

#### A) DUREZA DEL DEPÓSITO

Una de las más importantes propiedades para la mayoría de las aplicaciones es la dureza y la resistencia al desgaste de los baños de Ni-P.

El depósito de Ni-P tiene una Microdureza de 550-650 Vickers, equivalente a la mayoría aceros. Esta dureza se puede aumentar hasta 1,000 Vickers después de un tratamiento térmico a  $400^\circ\text{C}$  durante una hora, siendo su valor de dureza comparable al cromo duro y ciertas cerámicas.

Esta dureza es esencialmente debida a la precipitación del nitruros de fósforo en el recubrimiento. A la temperatura de  $\sim 260^\circ\text{C}$ , las partículas del hipofosfito de níquel empiezan a formarse y a la temperatura de  $340\text{-}360^\circ\text{C}$  se cristalizan.

La dureza varía de manera sensible dependiendo del tipo de baño de Ni-P usado.

## B) RESISTENCIA AL DESGASTE DEL DEPÓSITO

La propiedad de resistencia al desgaste, se encuentra relacionada indirectamente con la dureza y el índice de deslizamiento, y no sólo con la dureza como se creía de manera errónea.

La resistencia al desgaste suele venir determinada por la prueba de Taber de abrasión.

Este ensayo consiste en un disco rotatorio por el que se hace deslizar dos ruedas tratadas con depósitos de Ni-P previamente pesadas. Después de un número determinado de ciclos, generalmente 1000, se vuelven a pesar las ruedas tratadas y se cuantifica la pérdida de peso. El resultado de esta pérdida se expresa en mg por cada mil ciclos.

## C) RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DEL DEPÓSITO

El depósito de Ni-P es un protector. Protege mucho mejor que la mayoría de los depósitos galvánicos, resistiendo casi totalmente a los alcalinos, a las soluciones salinas, a los gases ácidos tales como los que provienen de las industrias petroleras y a todos los hidrocarburos. Los baños de Ni-P resisten bien a las soluciones amoniacales, los ácidos orgánicos y a los reductores. No obstante, no todos los baños de Ni-P dan la misma protección, pues según el contenido en fósforo la resistencia varía.

## D) PROPIEDADES ESPECIALES PARA LA INDUSTRIA ELECTRONICA

Debido al contenido de fósforo, se tendrá que a partir del 9-10 %, las capas del depósito de Ni-P no son magnéticas, manteniendo estas características de no magnetismo a elevadas temperaturas (275 °C). Con un 7-8 % en fósforo las capas son magnéticas, aumentando su magnetismo después del tratamiento térmico.

La resistividad de los depósitos de Ni-P con un 10 % de fósforo es de 75 a 100 mΩ/cm. En otros recubrimientos con más bajo contenido de fósforo puede ser del orden de 20-25 mΩ/cm. Estos valores bajan con el tratamiento térmico a 250 °C. Los depósitos autocatalíticos de bajo contenido de fósforo tienen la misma resistividad (5-10 mΩ/cm).

#### E) SOLDABILIDAD DEL DEPÓSITO

La soldabilidad se puede realizar de manera perfecta inmediatamente después que se han efectuado los baños de Ni-P. No se recomienda que el depósito se envejezca para soldarlo.

#### F) APARIENCIA

El depósito no debe presentar en ningún caso brillo, rugosidad, grietas, ampollas o falta del mismo sobre la superficie. Las películas de níquel serán lisas, adherentes, de grano fino y apariencia uniforme. Son admisibles manchas superficiales, producidas por los enjuagues, o ligera decoloración originada por los tratamientos térmicos.

### 1.1.8. CONTROL DE LA PELÍCULA DE NÍQUEL

Debido a que los depósitos autocatalíticos de Ni-P presentan una lista muy grade de aplicaciones estos tienen que ser sometidos a muchas pruebas antes de que se puedan utilizar. A continuación se describen las pruebas por las que pasa la película de Ni-P resultante de los baños autocatalíticos:

#### A) EXAMEN MICROSCÓPICO

El depósito se examina con un microscopio a un aumento de 1000x, debe ser completamente homogéneo sin poros, y con estructura laminar [9].

#### B) PRUEBA DE ÁCIDO NÍTRICO

Un espesor de 25  $\mu\text{m}$ , debe resistir como mínimo una inmersión en ácido nítrico durante 3 s [9].

#### C) RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

El depósito debe de resistir atmósferas salinas, comportándose de diferente manera según la condición exigida. Las pruebas de corrosión se efectúan según la norma ASTM B 117.

Después de la exposición a la prueba de corrosión, esta deberá estar desprovista de toda evidencia de corrosión del metal base, así como blíster o

desprendimiento del depósito. Estas pruebas variaran dependiendo del tipo de proceso autocatalítico usado [9].

#### D) ADHERENCIA

Existen diversos métodos para comprobar la adherencia del depósito, pudiéndose usar cada una de ellas según las circunstancias y los materiales. A continuación se detallan alguna de éstas:

- ✓ Prueba del doblado. Consiste en doblar la pieza en un cilindro igual al diámetro de la misma. En la zona de ruptura, observar con un aumento de 4x, la aparición de las primeras grietas no debe de llevar separación [9].
- ✓ Corte por cuadrículas. Consiste en efectuar trazos cortantes por mediación de unas de las cuchillas de tungsteno, las cuales deben de llevar una separación ~3 mm y una profundidad tal que corten completamente el deposito autocatalítico de Ni-P, sin apretar este último sobre el metal base. la prueba se repite en tres lugares diferentes y no deben producirse ni escamas ni desprendimiento del depósito [9].

#### E) CHOQUE TÉRMICO

Consiste en calentar la pieza a una temperatura conveniente de acuerdo a las condiciones del metal base con una tolerancia de 10 °C para piezas de acero, la temperatura correcta será de 300 °C [9].

#### F) POROSIDAD

Existen diversos métodos para comprobar si una pieza cumple con las condiciones de porosidad. En espesores delgados (menor de 10 y 15  $\mu\text{m}$  y dependiendo del material base) no se llega a tapar del todo los poros con lo cual el ensayo no puede ser válido. A continuación se indican algunas de ellas:

- ✓ Prueba del agua hirviendo. La muestra se coloca en agua desionizada hirviendo durante 5 min, después de secar, la pieza no debe de presentar ningún punto de óxido. Esta prueba es la más apropiada para espesores pequeños [9].
- ✓ Prueba del ácido clorhídrico. La muestra se sumerge en una solución de HCl al 50% a temperatura ambiente durante 2 min. Durante la inmersión la muestra no debe revelar escapes gaseosos [9].

- ✓ Prueba del ferrocianuro. La muestra después de haberla limpiado, se sumerge en una solución de ferrocianuro (25 g de ferrocianuro de potasio, 15 g de cloruro sódico en 2 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico en 1 litro de agua) durante 5 min, después de la inmersión no debe de aparecer ninguna mancha azul [9].

### **1.1.9. RECUBRIMIENTOS AUTOCATALÍTICOS COMPARADOS CON RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS**

Es interesante comparar los métodos autocatalíticos y electrolíticos de preparación de películas delgadas o recubrimientos en función de la aplicación o no de energía eléctrica externa, tipos de sustratos, adherencia, etc. En la Tabla 1.3 se presenta un resumen de las principales características de los métodos por deposición autocatalítica y electrolítica de obtención de recubrimientos. Las propiedades específicas de los recubrimientos dependen, por ejemplo, de los componentes del electrolito utilizado, ya que un determinado metal se puede depositar a partir de baños o electrolitos de diferente composición. La calidad del recubrimiento exigida para un campo de aplicación específico, sólo se puede cumplir manteniendo unas condiciones de trabajo constantes y definidas y realizando un seguimiento exhaustivo de los mismos [10].

Los campos de aplicación de los recubrimientos obtenidos por métodos químicos y electroquímicos son muy amplios, entre los que cabe destacar los siguientes: anticorrosión, decorativos y recubrimientos funcionales (electrotecnia, antifricción y soldadura). A continuación, en la Tabla 1.3. se presentan las aplicaciones más destacadas de éstos recubrimientos [10].

Tabla 1.3. Principales campos de aplicación de los recubrimientos electrolíticos y autocatalíticos [10].

Recubrimientos	Anticorrosión	Decorativos	Recubrimientos funcionales		
			Electrotécnica	Antifricción	Soldadura
Electrolítico	X	X	X	X	X
Autocatalítico	X	X		X	X

Entre las ventajas de los baños de deposición autocatalítica de Ni-P, se pueden citar:

- ✓ Alta resistencia a la corrosión. Muy superior a cualquier otro revestimiento electrolítico o químico. Alta dureza (1050 HV<sub>100</sub>).
- ✓ Excelente resistencia al desgaste, similar al cromo duro.
- ✓ Libre de porosidades, bordes de laminaciones, grietas y otros defectos.
- ✓ Espesor de capa desde 5 a 150 µm completamente uniforme.
- ✓ Fácilmente soldable con estaño para uso eléctrico.
- ✓ Fácilmente maquinable sin post-tratamiento térmico.
- ✓ Sustituye aceros importados de alto costo.
- ✓ Revestimientos duros para metales blandos.
- ✓ Lubricación natural, otorgándole excelentes propiedades de desmolde.
- ✓ Revestimiento selectivo para recuperar partes de máquinas en mal estado o mal maquinadas. y
- ✓ Reduce costos de inversión y operativos.

Todas estas características están aprobadas por la Food and Drug Administration (FDA) de los EEUU para su uso en contacto con productos alimenticios y medicinales [11].

## 1.2. ENVEJECIMIENTO DE CADA PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS AUTOCATALITICOS DE Ni-P

En los procesos para la obtención de recubrimientos de Ni-P la vida útil de cada uno de los productos químicos es limitada, por tal razón es importante

conocer esta información para posteriormente determinar el costo del tratamiento de residuos ya que puede ser alto debido a la rápida renovación química [12].

### **1.2.1. ENVEJECIMIENTO DE SOLUCIÓN PARA PRELIMPIEZA DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR**

La vida efectiva de un baño de limpieza debe ser estimada y estos baños de limpieza se desechan cuando se agotan. La vida de estas soluciones está influenciada por algunos de los factores descritos anteriormente, así como por el área de la superficie de las piezas procesadas [2].

### **1.2.2. ENVEJECIMIENTO DE SOLUCIÓN PARA DESENGRASADO DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR**

En las soluciones de desengrase se acumulan principalmente dos grupos de impurezas: el primero corresponde a aquellas partículas incorporadas a la solución con las piezas en forma de suciedades, pigmentos y similares que pueden eliminarse normalmente por filtración; en el segundo grupo están los aceites y grasas del mecanizado y pulido previo, así como los de protección anticorrosiva provisional. Los aceites se encuentran en el baño de desengrase en forma de emulsión de gotas de tamaño muy variable de 0.1 a 100  $\mu\text{m}$  y en ocasiones de 0.01  $\mu\text{m}$  que varía en función del tipo de emulgente empleado y del tipo de aceite y grasas contaminantes. Los agentes emulgentes fuertes mantienen una gran parte del aceite en una emulsión muy fina con gotas que se encuentran por debajo de 0.01  $\mu\text{m}$  de diámetro. Por otro lado, cuanto mayor es el tamaño de las gotas de aceite, más fácilmente se separan de la fase acuosa debido a la diferencia de densidad, ascendiendo hasta la superficie de la solución y acumulándose en la misma [13].

### **1.2.3. ENVEJECIMIENTO DE LA SOLUCIÓN PARA LA ACTIVACIÓN DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR**

A todos los materiales a los cuales se les realiza el proceso de recubrimiento autocatalítico, sin importar del tipo que sean, tienen que ser sometidos a proceso de decapado o activación de la superficie, con este proceso la solución de activación se descompone lo cual hace que, con el tiempo, sea inservible en el proceso de activación.

Las soluciones más utilizadas en el proceso de activado de la superficie son las siguientes:

#### **A) ÁCIDO SULFÚRICO**

El ácido sulfúrico comercial tiene una concentración del 95 %; su acción sobre el hierro y acero es pequeña. Empezando con una baja concentración de ácido, se observa que al aumentar la misma, disminuye el tiempo de decapado, hasta que alcanza un máximo cuando la concentración esta próxima al 25 %; después, la velocidad del decapado disminuye rápidamente. Por otra parte el efecto de la temperatura es muy marcado [3].

Así en algunas pruebas sobre el decapado del acero oxidado se encontró que aumentando la temperatura del ácido sulfúrico diluido al 5 %, de 18 a 60 °C disminuía el tiempo de decapado casi a la décima parte. Por esta razón, el decapado con ácido sulfúrico deberá llevarse a cabo con ácido caliente; así se podrá lograr un mayor rendimiento [3].

Se ha fijado en 80 g/l la máxima cantidad de hierro que puede tolerarse en los baños de decapado con ácido sulfúrico, por lo tanto cuando ésta iguale esa cantidad se dejará de usar esa sustancia ya que se ha descompuesto [3].

#### **B) ÁCIDO CLORHÍDRICO**

El ácido clorhídrico comercial consiste en una solución acuosa de 30 a 35 % de ácido clorhídrico gaseoso. La volatilidad del ácido hace impracticable su empleo a elevadas temperaturas. Así, a temperaturas superiores a 40 °C la velocidad de volatilización del ácido es realmente rápida. En la práctica, la

velocidad de decapado se incrementa más con elevadas concentraciones de ácido que con un incremento en la temperatura [3].

En este aspecto el ácido clorhídrico se diferencia del ácido sulfúrico; con este último, las concentraciones tienen poca influencia, y el principal método para incrementar las velocidades de decapado consiste en un incremento de temperatura. A veces se practica la adición de ácido clorhídrico al ácido sulfúrico. Con tales adiciones se acelera el decapado, y la mayor solubilidad del cloruro ferroso hace posible usar la solución mucho más tiempo, se pretende que todo el decapado se lleve a cabo por el ácido sulfúrico; el ácido clorhídrico sirve solamente para regenerar el ácido sulfúrico [3].

Cuando se alcanza una concentración de 350 g/l de sulfato ferroso, la solución se ha contaminado, con lo cual se tiene que utilizar a una nueva solución.

#### **1.2.4. ENVEJECIMIENTO DE LA SOLUCIÓN PARA LA DEPOSICIÓN AUTOCATALÍTICA DE Ni-P**

Las reacciones de reducción en baños de revestimiento con níquel por deposición autocatalítica deben ser controladas, para que el depósito se efectúe a una velocidad sobre un determinado sustrato. Para este efecto, se agregan inhibidores o estabilizadores. Las soluciones de níquel para la deposición autocatalítica, pueden funcionar por horas o días, sin inhibidor, aunque se puede descomponer inesperadamente. La descomposición es usualmente iniciada por la presencia de coloides, o núcleos sólidos en la solución. Estas partículas pueden ser resultado de la presencia de materia foránea (polvo), o pueden ser generadas por el baño, cuando la concentración del ortofosfito excede el límite de solubilidad. Cualquiera que sea el origen, la gran área superficial de las partículas, cataliza la reducción permitiendo así una acelerada reacción en cadena provocando su descomposición, la cual se debe a un incremento del

desprendimiento de hidrógeno y la presencia de un precipitado fino de apariencia oscura que se observa en la solución. El precipitado consiste de níquel y/o fosforo de níquel [3].

### **1.3. NORMAS DE CONTROL Y SEGURIDAD AMBIENTAL APLICADAS A LOS PROCESOS PARA LA OBTENCION DE RECUBRIMIENTOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

Debido a la contaminación que actualmente se vive en el mundo, se han encontrado fenómenos que antes era impensable que se llegaran a producir. Con frecuencia ocurren inundaciones, sequias, deslaves, ríos y lagos contaminados, depósitos de basura en medio de los océanos que ya pueden ser consideradas como islas, incendios forestales provocados por la sequias y la mano del hombre, calor o frío intenso en regiones del planeta donde no es normal que esto ocurra, todo tipo de enfermedades que dañan la salud o plagas que dañan cultivos y así se pueden describir un sinfín de problemas que afectan debido a la contaminación [14].

La contaminación que se genera debido a los residuos de los baños para revestimiento que se obtienen para la industria en general, también es un problema importante que se tiene que resolver. Si bien en este estudio solo se tratan los residuos que se generan por la deposición autocatalítica por Ni-P no se puede dejar de lado los residuos que generan otros tipos de revestimientos, y aunque se tiene que ser muy enfáticos al considerar que el tipo de revestimiento, del cual se hace el estudio para el destino final de los residuos, es el que menos contamina el planeta [14].

En el mismo sentido, el agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce en la tierra es limitada, y su calidad está bajo presión constante. La preservación de la calidad del agua dulce es importante para el abastecimiento de agua potable, la producción de alimentos y el uso recreativo del agua. La

calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radioactivos [14].

Las soluciones industriales más rentables se centran en prevenir que los contaminantes entren en el flujo de aguas servidas o desarrollar sistemas cerrados de uso del agua. La industria puede beneficiarse accediendo a recursos de agua más limpios, ya que las impurezas pueden añadir costos a los procesos de producción [14].

### **1.3.1. NORMAS DE CONTROL Y SEGURIDAD PARA AGUAS CON RESIDUOS DE JABÓN, ACEITES Y GRASAS**

En El Salvador para el correcto cumplimiento de las obligaciones y normas de control y seguridad para aguas con residuos de jabón, aceites y grasas se cuenta con una ley que tiene como principal encargado del cumplimiento de la misma al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Sin embargo, la norma para regular calidad de aguas servidas de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario de ANDA PLAN HIDRO 2009, brinda parámetros que son de utilidad [15].

Los niveles máximos permisibles de los parámetros de esta norma deberán de ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos o adecuación de procesos. Para alcanzar dichos niveles no se permite la descarga de materias sólidas y líquidas, que por sí solas o por interacción con otras, puedan solidificarse o dar lugar a obstrucciones o dificulten el normal funcionamiento de los sistemas de recolección de aguas servidas tales como gasolina, petróleo, aceites lubricantes, aceites vegetales, grasas, ácidos y alcalinos [15].

En la Tabla 1.4. se presenta el valor máximo permisible de residuos de detergentes, aceites o grasas que se pueden verter al sistema de alcantarillas nacionales.

Tabla 1.4. Valores máximos permisibles de residuos de detergentes aceites y grasas.

Parámetro	Unidades	Valor máximo permisible
Aceites y grasas	mg/l	150
Detergentes (SAAM*)	mg/l	35

\*Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

En caso de que cualquier persona o empresa no respete estos valores máximos permisibles el MARN está en toda la obligación de aplicar sanciones.

### **1.3.2. NORMAS DE CONTROL Y SEGURIDAD PARA AGUAS CON RESIDUOS DEL PROCESO DE ACTIVACIÓN**

La Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01.09 editada por el Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), es una adaptación de la propuesta de normas de aguas servidas descargadas a un cuerpo receptor, editada por el Ministerio de Salud de El Salvador, en octubre de 1996. En esta norma se presentan los parámetros sobre valores permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor (alcantarillas, ríos o el mar directamente). La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) es el ente encargado, según la Ley Constitutiva de atender lo concerniente al alcantarillado sanitario y le corresponde otorgar los permisos de descargo de residuos industriales en el sistema de alcantarillado, también el Ministerio de Salud (MINSAL) y el MARN son los encargados de velar por el cumplimiento de esta norma [16].

En la Tabla 1.5. se presentan los valores de pH máximos permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

Tabla 1.5. Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:09. Parámetros de valores permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

Parámetros	Unidades	Valores máximos permisibles
Aluminio (Al)	mg/l	5
Arsénico (As)	mg/l	0.1
Bario total (Ba)	mg/l	5
Berilio (be)	mg/l	0.5
Boro (B)	mg/l	1.5
Cadmio (Cd)	mg/l	0.1
Cianuro total (CN <sup>-</sup> )	mg/l	0.5
Cinc (Cn)	mg/l	5
Cobalto (Co)	mg/l	0.05
Cobre (Cu)	mg/l	1
Coliformes fecales	NMP/100 m/l	2000
Coliformes totales	NMP/100 m/l	10000
Color		1)
Compuestos fenólicos sintéticos	mg/l	0.5
Cromo hexavalente (Cr VI)	mg/l	0.1
Cromo total (Cr)	mg/l	1
Detergentes (SAAM)	mg/l	10
Fluoruros (F)	mg/l	5
P total (P)	mg/l	15
Organofluorina	mg/l	0.1
Fosfatina	mg/l	0.1
Benzimidazol	mg/l	0.1
Piretroides	mg/l	0.1
Bipiridilos	mg/l	0.1
Fenoxi	mg/l	0.1
Triazina	mg/l	0.1
Fosfonico	mg/l	0.1
Hierro total (Fe)	mg/l	10
Manganeso total (Mn)	mg/l	2
Materiales flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0.01
Molibdeno (Mo)	mg/l	0.1
Níquel (Ni)	mg/l	0.2
Nitrógeno total (N)	mg/l	50
Organoclorados	mg/l	0.05
Organofosforados y Carbamatos	mg/l	0.1
pH	ua	5.5- 9.0 <sup>2)</sup>
Plata (Ag)	mg/l	0.2
Plomo (Pb)	mg/l	0.4
Selenio (Se)	mg/l	0.05
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/l	1000
Temperatura	°C	20-35 <sup>3)</sup>
Turbidez (turbiedad)	NTU	4)
Vanadio (V)	mg/l	1

1) Efluente líquido no deberá aumentar color visible en cuerpo receptor.

2) El valor de pH 5.5-9.0 aplica para descargas en aguas lenticas; definiéndose un valor de pH entre 6.0-9.5 para vertidos en aguas costero marinas.

3) En todo caso la temperatura del H<sub>2</sub>O de descarga al cuerpo receptor no podrá alterar en ± 5 °C, con respecto a la temperatura natural del cuerpo receptor.

4) No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.

### 1.3.3. NORMAS DE CONTROL Y SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE PRODUCTOS DE DEPOSICIÓN AUTOCATALÍTICA

A continuación se describen los elementos para la deposición de Ni-P y sus características fisicoquímicas [17]:

#### A) CLORURO DE NÍQUEL

- ✓ Etiqueta de identificación al riesgo. Peligroso, dañino si es digerido o inhalado. Causa irritación a la piel, ojos y las vías respiratorias. Puede causar efectos alérgicos a la piel o a la reacción respiratoria. Riesgo de cáncer, el peligro a contraer cáncer depende de la duración que el individuo se exponga en contacto con este compuesto químico y del nivel de exposición al que se vea expuesto.
- ✓ Etiquetado preventivo:
- ✓ Código de almacenamiento: Azul, almacenar en un área segura para químicos venenosos.
- ✓ Clasificación del daño contra la salud: 3, precaución. Tóxico o corrosivo, evite contacto con la piel o inhalación.
- ✓ Clasificación del efecto de inflamabilidad de la sustancia: 0, Incombustible.
- ✓ Grado de reactividad: 0, estable, No reacciona cuando se mezcla con agua.

#### B) HIPOFOSFITO DE SODIO

- ✓ Etiqueta de identificación al riesgo. Peligroso, descomposición de este compuesto produce gas fosfito tóxico e inflamable. Fuerte agente reductor. Puede ser dañino si se ingiere o inhala. Causa irritación a la piel, ojos y las vías respiratorias.
- ✓ Etiquetado preventivo:
- ✓ Código de almacenamiento: Naranja, almacenar en el área reservada para todos los químicos no peligrosos.
- ✓ Clasificación del daño contra la salud: 1, cuidado, puede ser irritante.
- ✓ Clasificación del efecto de inflamabilidad de la sustancia: 0, incombustible.

- ✓ Grado de reactividad: 2, precaución, inestable o puede reaccionar violentamente si es mezclado con agua.

#### C) CLORURO DE AMONIO

- ✓ Etiqueta de identificación al riesgo. ¡Peligro! Causa irritación a la piel, ojos y las vías respiratorias. Nocivo si es ingerido o inhalado.
- ✓ Etiquetado preventivo:
- ✓ Código de almacenamiento: Naranja, almacenar en el área reservada para todos los químicos no peligrosos.
- ✓ Clasificación del daño contra la salud: 1, cuidado, puede ser irritante.
- ✓ Clasificación del efecto de inflamabilidad de la sustancia: 0, incombustible.
- ✓ Grado de reactividad: 0, estable, no reacciona cuando se mezcla con agua.

#### D) CITRATO DE SODIO

- ✓ Etiqueta de identificación al riesgo. ¡Precaución! Causa irritación a la piel, ojos y las vías respiratorias. Nocivo si es ingerido o inhalado.
- ✓ Código de almacenamiento: Verde.
- ✓ Clasificación del daño contra la salud: 1, cuidado, puede ser irritante.
- ✓ Clasificación del efecto de inflamabilidad de la sustancia: 1, combustible si es calentado.
- ✓ Grado de reactividad: 0, estable, no reacciona cuando se mezcla con agua.

Estos elementos por sus características fisicoquímicas se clasifican como sustancia alérgica, sustancia química peligrosa que su concepto se define a continuación:

- ✓ Sustancia Alérgica: Son aquellas sustancias o preparados que a consecuencia de una exposición inhalatoria (respiratoria), oral (ingestión), o cutánea (piel) pueden producir o aumentar las posibilidades de generar reacciones no habituales en el sistema inmunológico.
- ✓ Sustancia Química Peligrosa: Toda sustancia que por sus características fisicoquímicas, presentan riesgos de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad, por lo cual puede presentar

problemas a la salud o el ambiente bajo condiciones de almacenamiento y manejo inadecuado.

#### **1.3.4. ASOCIACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, NFPA)**

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (inglés: National Fire Protection Association, NFPA) es una asociación estadounidense que explica el "diamante de materiales peligrosos" utilizado para comunicar los riesgos de los materiales peligrosos. Es importante para ayudar a mantener el uso seguro de productos químicos. Se emplea para el transporte de productos envasados y a granel, y no para el almacenamiento estacionario como tanque de crudo, productos, etc. [18].

Las cuatro divisiones tienen colores asociados con un significado. El azul hace referencia a los peligros para la salud, el rojo indica la amenaza de inflamabilidad y el amarillo el peligro por reactividad: es decir, la inestabilidad del producto. A estas tres divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo). Por su parte, en la sección blanca puede haber indicaciones especiales para algunos materiales, indicando que son oxidantes, corrosivos, reactivos con agua o radiactivos, así [18]:

##### **A) AZUL/SALUD:**

- ✓ El 4 corresponde a elemento que, con una muy corta exposición, puede causar la muerte o un daño permanente, incluso en caso de atención médica inmediata. Por ejemplo, el cianuro de hidrógeno.
- ✓ El 3 corresponde a materiales que bajo corta exposición pueden causar daños temporales o permanentes, aunque se preste atención médica, como el hidróxido de potasio.
- ✓ El 2 corresponde a materiales bajo cuya exposición intensa o continua se puede sufrir incapacidad temporal o posibles daños permanentes a menos

que se suministre tratamiento médico rápido, como el cloroformo o la cafeína.

- ✓ El 1 corresponde a materiales que causan irritación, pero solo daños residuales menores aún en ausencia de tratamiento médico. Un ejemplo es la glicerina.
- ✓ El 0 corresponde a materiales bajo cuya exposición no existe peligro en caso de ingestión o inhalación en dosis considerables, como el cloruro de sodio.

#### B) ROJO/INFLAMABILIDAD:

- ✓ El 4 corresponde a materiales que se vaporizan rápido o completamente a la temperatura a presión atmosférica ambiental, o que se dispersan y se queman fácilmente en el aire, como el propano. Tienen un punto de inflamabilidad por debajo de 23 °C (73 °F).
- ✓ El 3 corresponde a líquidos y sólidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental, como la gasolina. Tienen un punto de inflamabilidad entre 24 °C (73 °F) y 37 °C (100 °F).
- ✓ El 2 corresponde a materiales que deben calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas altas antes de que ocurra la ignición, como el petrodiesel. Su punto de inflamabilidad oscila entre 38 °C (100 °F) y 92 °C (200 °F).
- ✓ El 1 corresponde a materiales que deben precalentarse antes de que ocurra la ignición, cuyo punto de inflamabilidad es superior a 93 °C (200 °F).
- ✓ El 0 corresponde a materiales que no se queman, como el agua o expuesto a una temperatura de 815 °C (1.500 °F) por más de 5 minutos.

#### C) AMARILLO/INESTABILIDAD/REACTIVIDAD:

- ✓ El 4 se refiere a la facilidad de detonar o descomponerse explosivamente en condiciones de temperatura y presión normales (ejemplo: nitroglicerina, RDX)
- ✓ El 3 se refiere a la capacidad de detonar o descomponerse explosivamente pero requiere una fuente de ignición, debe ser calentado

bajo confinamiento antes de la ignición, reacciona explosivamente con agua o detonará si recibe una descarga eléctrica (ejemplo: flúor).

- ✓ El 2 se refiere a la capacidad para experimentar cambio químico violento en condiciones de temperatura y presión elevadas, reacciona violentamente con agua o puede formar mezclas explosivas con agua (ejemplo: fósforo, compuestos del potasio, compuestos de sodio).
- ✓ El 1 corresponde a normalmente estable, pero puede llegar a ser inestable en condiciones de temperatura elevada (ejemplo: acetileno).
- ✓ El 0 corresponde a normalmente estable, incluso bajo exposición al fuego y no es reactivo con agua (ejemplo: helio).

#### D) BLANCO/RIESGOS ESPECÍFICOS:

El espacio blanco puede contener los siguientes símbolos:

- ✓ 'W' - reacciona con agua de manera inusual o peligrosa, como el cianuro de sodio o el sodio.
- ✓ 'OX' o 'OXY' - oxidante, como el perclorato de potasio o agua oxigenada.
- ✓ 'SA' - gas asfixiante simple, limitado para los gases: hidrógeno, nitrógeno, helio, neón, argón, kriptón y xenón.
- ✓ 'COR' o 'CORR' - corrosivo: ácido o base fuerte, como el ácido sulfúrico o el hidróxido de potasio. Específicamente, con las letras 'ACID' se puede indicar "ácido" y con 'ALK', "base".
- ✓ 'BIO' o ☣ - riesgo biológico, por ejemplo, un virus.
- ✓ 'RAD' o ☸ - el material es radioactivo, como el plutonio.
- ✓ 'CRYO' o 'CYL' - criogénico, como el nitrógeno líquido.
- ✓ 'POI' - producto venenoso, por ejemplo, el arsénico

Los símbolos: 'W', 'OX' y 'SA' se reconocen oficialmente por la norma NFPA 704, pero se usan ocasionalmente símbolos con significados obvios como los señalados.

La expresión 'RAAD' es la más importante por la razón A2 en riesgos extremos, donde fue desarrollado en 1976 por Aguilare et al.

### **1.3.5. MANEJO DE LOS DESECHOS PELIGROSOS**

Los desechos generados por el manejo y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas estén o no vencidos, así como: recipientes descartados y materiales contaminados a causa de recolección de derrames, deberán ser dispuestos conforme a lo establecido en el Reglamento Especial en Materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales [17].

En este capítulo se describieron todos los pasos a seguir, los materiales a utilizar y las normas de control y seguridad ambiental que se deben utilizar para realizar los baños por deposición autocatalítica de Ni-P y que la contaminación que estos generan no sea tan perjudicial para el medioambiente. Así, en el siguiente capítulo se describen y seleccionan los procesos autocatalíticos más usados así como la selección de desengrasantes, activadores y la selección de baños autocatalíticos.

## **2. SELECCIÓN DE LOS PROCESOS AUTOCATALÍTICOS MÁS USADOS**

En la actualidad existen muchos procesos de deposición autocatalítica de Ni-P que se pueden depositar en una gran cantidad de materiales como cerámicos, hierros, aceros, plásticos, etc. Este capítulo está orientado en el estudio de los procesos por deposición autocatalítica, más usados entre los que destacan baños ácidos, y alcalinos o básicos, a base de hipofosfito, estos procesos se complementan con algunos desengrasantes, acomplejantes, activadores y otra cantidad de sustancias que se presentan en las Tablas 2.1. - 2.3.

Una vez se hayan descrito los procesos más usados se seleccionan dos, para obtener los mejores resultados, después se desarrolla el contenido donde se seleccionan los desengrasantes ya sean jabones, disolventes o alcalinos, los activadores y los baños que son los ácidos o alcalinos con los cuales se hace la investigación en el presente TG.

### **2.1. PROCESOS AUTOCATALÍTICOS MÁS USADOS**

Existen muchos tipos de baños autocatalíticos para materiales de cualquier tipo, los más usados son los que están compuestos de Ni-P entre los cuales están los baños ácidos y los baños alcalinos. En la Tabla 2.1. se presenta la composición de algunos baños ácidos y alcalinos basados en hipofosfito de sodio [6].

Tabla 2.1. Composición de algunos baños ácidos y alcalinos basados en hipofosfito de sodio [6].

Baño / Sustancia	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Función
Cloruro de níquel, g/l	25	37.5				16		30	50	1
Sulfato de níquel, g/l			67	17.5	17.5		80			1
Hipofosfito de sodio, g/l	8	9	20	20	20	20	24	10	20	2
Hidroxi-acetato de sodio, g/l	8.3-42									3,4
Citrato de sodio, g/l		83						98	50	3,4
Acetato de sodio, g/l				10			12			3
Fluoruro de sodio, g/l				1.8	2					5,6
Succinato de sodio, g/l					13.3					6
Malato de sodio, g/l						21.7				3,4
Amino-acetato de sodio, g/l						5.8				3,4,6
Cloruro de sodio, g/l		42					6	48	50	3,5
Ácido bórico, g/l			5				8			3
Ácido láctico 80 %, g/l			6.7	28.3	28.3					3,4,6
Plomo, g/l				4.3-18.7	4.3-18.7	4.3-12.5				7
Telurio, g/l						6.25				7,8
Ácido proptónico, g/l				1.75						6
Acetato de cobalto, g/l								12		3
pH		8.5-9	4.8-5.8	4.5-4.7	4.5-4.7	6.5-6.7	4.8-5.8	9-9.2	9	
Temperatura, °C	90	90-100	93	93	95	94	94	92	80	
Velocidad de deposición, m/h	16	16	16-24	22-27	32-36	55	20	18	26	

1: Suministra sales de níquel. 2: Sustancia reductora. 3: Regulador de pH. 4: Quelatos. 5: Medio formador de complejos. 6: Acelerador. 7: Estabilizador. 8: Abrillantador.

### 2.1.1. BAÑOS ÁCIDOS CON BASE DE HIPOFOSFITO

Durante la década de 1950, proveniente principalmente de sus experiencias industriales, se conoció que los baños ácidos a base de hipofosfito ofrecen una serie de ventajas en comparación con los de tipos alcalinos amoniacal. Estos incluyen mayores tasas de deposición, una mayor estabilidad, mayor simplicidad de los depósitos y de control del baño de Ni-P con propiedades mejoradas [6].

Desde entonces, se han desarrollado más de 100 baños basados en soluciones con hipofosfito ácido. Tales baños permiten depósitos que contienen entre el 5 y el 14 % de peso en fósforo según se establezca [6].

En la Tabla 2.2. se presentan las composiciones de algunas soluciones ácidas, a base de hipofosfito, utilizadas para realizar baños autocatalíticos de Ni-P.

Como se presenta en la Tabla 2.2., los baños tienden a caer en dos clases; los basados en cloruro de níquel y los basados en sulfato de sodio. Anteriormente la concentración promedio de cloruro de níquel que se utilizaba era de alrededor de 6.7 g/l y los basadas en sulfato de sodio era 5.5 g/l la concentración media de hipofosfito de sodio es de 20 g/l, mientras que la de los ácidos orgánicos sus sales son típicamente entre 10 y 40 g/l [6].

El pH de estos baños es de entre 4.6 y 5.0, su temperatura de funcionamiento de 85 a 95 °C y sus tasas de deposición están en el intervalo de 10 a 30  $\mu\text{m/h}$  [6].

Tabla 2.2. Composición de algunos baños ácidos basados en hipofosfito [6].

Baño Sustancia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cloruro de níquel, g/l	30		30		30				30	30	30	
Sulfato de níquel, g/l		0.1		28		21	34	45				30
Hipofosfito de sodio, g/l	10	0.28M	10	24	10	24	35	10	10	10	10	10
Ácido acético, g/l	30				30			10				
Acetato de amonio, g/l	38.8				38.5							
Acetato de sodio, g/l				17								10
Ácido cítrico, g/l		0.07 M										
Citrato de sodio, g/l											10	
Glicolato sódico, g/l									30	10		
Ácido láctico, g/l		0.3 M				28						
Ácido málico, g/l							35					
Ácido succínico, g/l							10					
Ácido aminoacético, g/l								40				
Hidroxiacetato de sodio, g/l			50									
Alcalino (a valor de pH)			NaOH									
Estabilizadores, mg/l		Thiourea 0-1.5	Pb 1.5	MbO <sub>3</sub>		Thiourea 1						Pb 0-1
Valor de pH	4-6	4.8	4-6	4.6	4.5	4.3-4.6	4.5-5.5	4.5-5.5	4-6	4-6	4-6	4-6
Temperatura, °C	85-100	87	90	82-86	95	88-95	88-95	88-95	80-100	80-100	80-100	80-100

### **2.1.2. BAÑOS ALCALINOS CON BASE DE HIPOFOSFITO**

La primera patente de baños autocatalíticos fue presentada por Roux en 1960 tanto esta como investigaciones posteriores se basaron en hipofosfito alcalino [6].

El comportamiento de los iones de níquel en la solución alcalina es mucho mejor que en el medio ácido ya que es acompañada por el desprendimiento de nitrógeno y de la oxidación de fosfito a hipofosfito. Los tiempos de deposición son más lentos en soluciones alcalinas, los depósitos son más porosos y menos resistentes a la corrosión, aunque si son más brillantes. Por otro lado, estas soluciones, debido a la mayor solubilidad de los fosfitos en ellos, son extremadamente estables incluso sin la adición de agentes [6].

El contenido de fósforo de los depósitos formados a partir de ellos, es generalmente menor que cuando se utilizan soluciones ácidas, una característica que puede ser atractiva en algunas aplicaciones [6].

Las soluciones alcalinas se introdujeron gradualmente en la práctica industrial y el interés en éstas es en gran medida el resultado de aplicaciones especializadas y el desarrollo de la deposición autocatalítica de baja temperatura [6].

Las concentraciones de níquel y de hipofosfito de estos baños son similares a los encontrados en las soluciones ácidas. En medios alcalinos, el amoníaco es muy buen acomplejante para los iones de níquel. El uso de otros acomplejantes es menos común y solo los citratos se podrían mencionar en este contexto. Otros agentes de adición para baños alcalinos no son de uso frecuente. En la Tabla 2.3. se presenta la composición de algunos baños alcalinos a base de hipofosfito [6].

La Tabla 2.3. Composición de algunos baños alcalinos a base de hipofosfito [6].

Baño \ Sustancia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cloruro de níquel, g/l	30		30	30		45	25	25		21	21	23	
Sulfato de níquel, g/l		30			33				32				10-30
Hipofosfito de sodio, m/l	10	30	10	8	17	11	25	25	15	24	24	10	10-50
Citrato de sodio, g/l			100	70	84	100			84	45	40	35	
Citrato de amonio, g/l	64												
Trietanolamina, g/l		100 ml					200						
Tetraborato de sodio, g/l												38	
Pirofosfato de sodio, g/l		60					50	50					
Cloruro de amonio, g/l	50		50	50	50	50			50	30	50		
Hidróxido de amonio, g/l	pH		pH	pH		pH		pH	60				50-100
Valor de pH	8-10	10	8-10	9.5-10.5	9.5	8.5-10	10-11	10-11	9.3	9	8.5-9	8-8.5	8-10
Temperatura °C	80-90	30-35	98	87	88	90-95	65-75		89	40	90	90-95	30-50

### 2.1.3. SELECCIÓN DE LOS PROCESOS

En los procesos de deposición autocatalítica también se encontró sub-procesos que sirven para: primeramente desengrasar el material a recubrir, luego activar o decapar dicho material para finalmente recubrirlo utilizando el baño que mejor se ajuste a las necesidades de las aplicaciones en la que se utilizará. A continuación se describen los procesos seleccionados:

#### A) PRIMER PROCESO

Puchi et al. [1996] citó que activó en acero AISI 1045 de la manera siguiente: limpieza con acetona en ultrasonido durante 15 minutos, enjuague con agua destilada, desengrasada en una solución de NaOH al 10 % a 60 °C durante 15 minutos, enjuague con agua destilada e inmersión en una solución de HCl al 50 % durante 1 minuto [3].

#### B) SEGUNDO PROCESO

Berrios [1998] citó haber activado un acero AISI 1045 de acuerdo a la recomendación de la norma ASTM B 656 – 91, para depositar un recubrimiento autocatalítico de Ni-P [3].

Los procedimientos más comunes son el desengrasado a vapor, limpieza con agua destilada y activación de la superficie a recubrir, lo cual se debe realizar de acuerdo a las recomendaciones de las normas de la ASTM [B 183-79 (1997), B 322-99] tal como se presentan a continuación [3]:

- ✓ Desengrasado con jabón líquido y agua;
- ✓ Enjuagado con agua destilada;
- ✓ Limpieza con acetona en ultrasonido durante 10 min;
- ✓ Secado con aire caliente;
- ✓ Desengrasado con soda cáustica al 10 % durante 10 min y a temperatura; de 60 °C;
- ✓ Enjuagado con agua destilada;
- ✓ Activación con ácido clorhídrico (HCl) al 20 % durante 1 min;
- ✓ Enjuagado con agua destilada; y

- ✓ Posteriormente, las probetas fueron sumergidas en la solución, sin dejar que éstas se secaran.

## **2.2. SELECCIÓN DE DESENGRASANTES**

El desengrasado de la superficie a recubrir es una limpieza que se realiza en las siguientes etapas: una prelimpieza con jabón líquido seguido de un desengrasado con disolvente y a continuación un desengrasado en una solución alcalina. Así, para este trabajo se seleccionarán dos limpiadores o desengrasantes para cada etapa [2].

### **2.2.1 SELECCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO PARA LA PRELIMPIEZA**

Los jabones líquidos ejercen su acción limpiadora sobre las grasas en presencia del agua debido a la estructura de sus moléculas. Éstas tienen una parte liposoluble y otra hidrosoluble [19].

El componente liposoluble hace que el jabón moje la grasa disolviéndola y el componente hidrosoluble hace que el jabón se disuelva a su vez en el agua [19].

Para la prelimpieza se selecciona un jabón líquido que dentro de las características que debe poseer es que tenga un pH que sea alcalino.

### **2.2.2. SELECCIÓN DE DISOLVENTES DESENGRASANTES**

Para realizar este tipo de desengrasado se pueden utilizar disolventes fríos como: acetona, mineral spirits; tricloroetileno; percloroetileno; 1,1,1, tricloroetano (metilcloroformo); cloruro de metileno; o triclorotrifluoroetano [2].

A continuación se mencionan cada uno de los disolventes antes mencionados, su concepto y algunas características:

- A) Acetona o propanona. Es un compuesto químico del grupo de las cetonas que se encuentra naturalmente en el medio ambiente. A temperatura ambiente se presenta como un líquido incoloro de olor característico. Se evapora fácilmente, es inflamable y es soluble en agua. La acetona sintetizada se usa en la fabricación de plásticos, fibras, medicamentos y otros productos químicos, así como disolvente de otras sustancias químicas, por ejemplo la grasa [20].
- B) Mineral spirits. Denominado gasolina blanca, white spirit, esencias minerales, trementina mineral o solvente Stoddard, es un disolvente extraído del petróleo, incoloro o muy levemente amarillento, con olor a queroseno, muy poco soluble en agua y con un intervalo de ebullición de entre 130 y 231 °C [21].
- C) El tricloroetileno (TCE). Es una sustancia química de síntesis que se presenta en forma de líquido incoloro, ininflamable, de aroma y sabor dulce. Se usa principalmente como solvente para eliminar grasa de partes metálicas, aunque también es un ingrediente en adhesivos, líquidos decapantes de pintura, para corregir escritura a máquina y quitamanchas [22].
- D) Percloroetileno (tetracloroetileno o PERC). Es un líquido incoloro, no inflamable, pesado y con un olor parecido al éter. Normalmente usado como disolvente en limpieza de textiles y metales [23].
- E) 1,1,1-tricloroetano (metilcloroformo). Es un compuesto orgánico del tipo cloroalcano. Este líquido incoloro de olor dulce se empezó a producir industrialmente en grandes cantidades como disolvente desde hace tiempo. Actualmente debido a que ataca la capa de ozono, prácticamente ha cesado su producción [24].
- F) Cloruro de metileno. Es un líquido incoloro con fórmula química  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  posee un leve aroma dulce, y es también conocido como diclorometano. El cloruro de metileno no se presenta de forma natural en el medio ambiente. Es ampliamente utilizado como disolvente, tanto industrialmente como a escala

de laboratorio, o para eliminar pintura o limpiar distintas partes de un computador. También, puede encontrarse en algunos aerosoles y pesticidas y se usa en la manufactura de películas fotográficas. Además, se utiliza en la fabricación de removedores en gel. Es un compuesto ampliamente utilizado como intermediario en distintas rutas de síntesis orgánica [25].

Así, para este trabajo se han seleccionado dos disolventes, los cuales son: acetona ya que se puede utilizar para desengrasar la superficie de metales y el percloroetileno por su principal aplicación que es la limpieza en seco y el desengrase de metales.

### **2.2.3. SELECCIÓN DE DESENGRASANTES ALCALINOS**

Los desengrasantes altamente alcalinos (o detergentes industriales) utilizan sosa cáustica (hidróxido sódico) o potasio cáustico (hidróxido potásico). Una propiedad importante de estos detergentes fuertemente alcalinos es su poder saponificador de las grasas (formación de jabón). Estos limpiadores son utilizados para eliminar grasas. Los detergentes moderadamente alcalinos incluyen sodio, potasio o sales de amonio de fosfatos, silicatos o carbonatos.

A continuación se describen los dos desengrasantes alcalinos que se utilizarán:

- A) El hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o hidróxido sódico, también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes. Además, se utiliza en la industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. A nivel doméstico, son reconocidas sus utilidades para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños, entre otros. A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como

para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50% [26].

- B) El hidróxido de potasio (también conocido como potasa cáustica) es un compuesto químico inorgánico de fórmula KOH, tanto éste como el hidróxido de sodio (NaOH), son bases fuertes de uso común. Tiene muchos usos tanto industriales como comerciales [27]. El KOH es higroscópico absorbiendo agua de la atmósfera, por lo que termina en el aire libre. Por ello, el hidróxido de potasio contiene cantidades variables de agua. Su disolución en agua es altamente exotérmica, con lo que la temperatura de la disolución aumenta, llegando incluso, a veces, al punto de ebullición.

Así, para este trabajo se ha seleccionado dos desengrasantes alcalinos los cuales son: el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio ya que son limpiadores altamente alcalinos que se utilizarán para el desengrase de piezas de aceros.

### **2.3. SELECCIÓN DE ACTIVADORES**

La activación de los aceros se efectúa en una solución que puede ser de ácido sulfúrico o clorhídrico por tal razón se seleccionan los dos tipos de ácidos los cuales se describen a continuación:

- A) **ÁCIDO CLORHÍDRICO.** Es un ácido muy corrosivo, el cual se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa. Además, el ácido clorhídrico comercial consiste en una solución acuosa entre el 30 y 35 % de ácido clorhídrico gaseoso. La volatilidad del ácido hace impracticable su empleo a elevadas temperaturas; es decir, a temperaturas superiores a 40 °C la velocidad de volatilización del ácido es realmente rápida.
- B) **ÁCIDO SULFÚRICO.** Es un compuesto químico extremadamente corrosivo. Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza

como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Su acción sobre el hierro y el acero es pequeña. Empezando con una baja concentración de ácido, se observa que al aumentar la misma, disminuye el tiempo de decapado, hasta que alcanza un máximo cuando la concentración está próxima al 25 %; después, la velocidad del decapado disminuye rápidamente.

## **2.4. SELECCIÓN DE BAÑOS AUTOCATALÍTICOS**

En este apartado se seleccionaran los tipos de baños autocatalíticos, los cuales se trataron ampliamente en el capítulo 1 [6].

Por lo tanto, se han seleccionaran los baños siguientes:

### **A) COMPOSICIÓN DE BAÑOS ÁCIDOS (baño 11 de Tabla 2.1.)**

Cloruro de níquel 30 g/l (fuente de metal).

Hipofosfito de sodio 10 g/l (agente reductor).

Citrato de sodio 10 g/l (regulador de pH)

pH: 4-6

### **B) COMPOSICIÓN DE BAÑOS BASICOS (baño 10 de la Tabla 2.2.)**

Cloruro de níquel 21 g/l (fuente de metal)

Hipofosfito de sodio 24 g/l (agente reductor)

Cloruro de amonio 30 g/l (agente acomplejante)

Citrato de sodio 45 g/l (agente estabilizador)

Hidróxido de potasio al 10 % 100 g (agente retenedor)

pH: 9

Una vez que en este capítulo se han definido todos los componentes químicos para cada uno de los pasos que incluyen los procesos de deposición autocatalítica de Ni-P, en el siguiente capítulo se describe el control y manejo de los productos antes y después de su utilización para dar una propuesta coherente a la propuesta de eliminación de los residuos generados por los procesos de deposición autocatalítica de Ni-P sobre aceros.

### 3. PROPUESTA DE MANEJO DE RESIDUOS OBTENIDOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P

Para la selección de los distintos métodos de manejo aplicables a los diferentes productos residuales que se generan en los procesos autocatalíticos de Ni-P, se debe conocer el tipo de residuo químico que se está generando y de acuerdo a esto efectuarle el ciclo completo de gestión que incluye el adecuado manejo, almacenamiento, tratamiento para la disposición final a la sustancia en análisis.

En el capítulo anterior se seleccionaron los dos tipos de químicos de acuerdo a cada uno de los procesos que se realizan para obtener las deposiciones autocatalíticas de Ni-P. En la Figura 3.1. se presenta un diagrama de flujo de cada uno de los residuos que se van obteniendo en los procesos autocatalíticos de Ni-P.

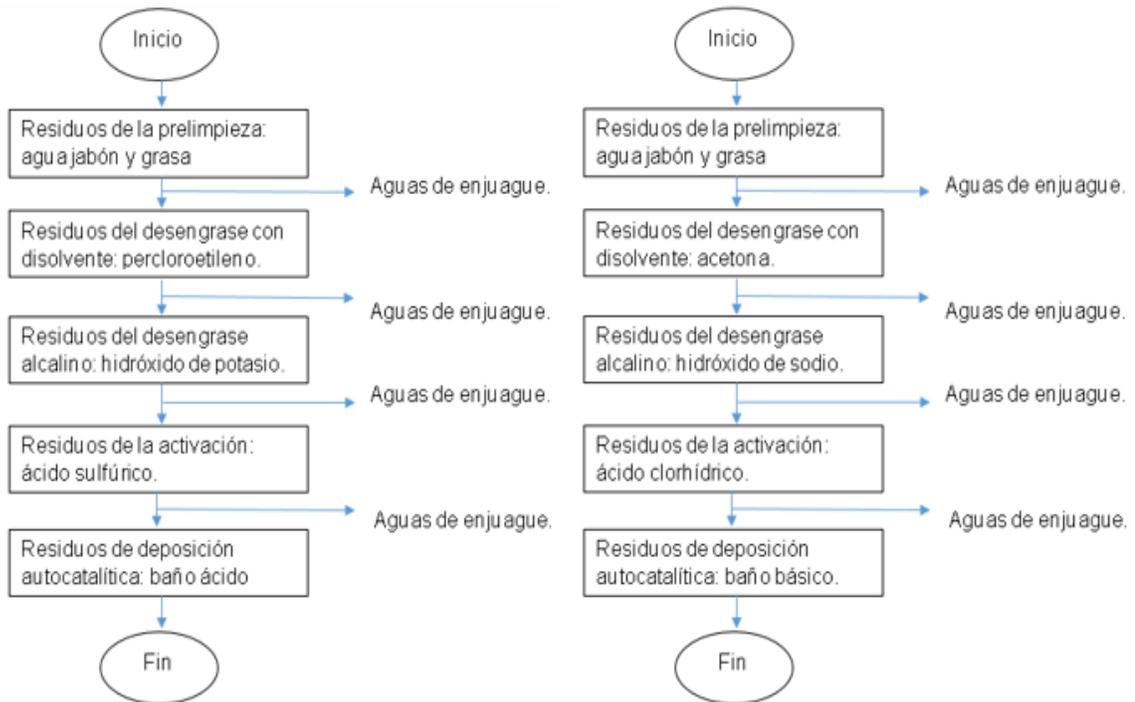


Fig. 3.1. corresponde a un diagrama de flujo de residuos obtenidos en procesos autocatalíticos de Ni-P.

### **3.1. MANEJO Y ALMACENAMIENTO PARA RESIDUOS QUÍMICOS Y DESECHOS GENERADOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

En el proceso de deposición autocatalítica de Ni-P, los residuos químicos que se generan son:

- ✓ Residuos de prelimpieza, la cual es realizada con agua y jabón alcalino.
- ✓ Residuos del proceso de desengrase con disolvente, el cual puede ser por medio de acetona o percloroetileno.
- ✓ Residuos del segundo proceso de desengrase con solución alcalina, que puede ser con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio.
- ✓ Residuos del proceso de activación, que éste puede ser con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico.
- ✓ Residuos del proceso de deposición autocatalítica de Ni-P, que pueden ser en un baño ácido o alcalino.

#### **3.1.1. MANEJO DE RESIDUOS DE PRELIMPIEZA**

El manejo de los residuos de prelimpieza que son agua, jabón y aceites o grasas aunque ofrecen un riesgo leve en su manipulación se recomienda usar guantes para evitar dermatitis y sensibilización en la piel, también se recomienda evitar el contacto innecesario de la piel con estos residuos.

El manejo de los residuos de la prelimpieza que se realiza con agua y jabón alcalino será en este caso de verter dichos residuos en trampas de grasa y después verter al drenaje dichos residuos de acuerdo a los parámetros establecidos por la norma técnica para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario que se citan en el capítulo 1, Tabla 1.4., que contiene los valores máximos permisibles de residuos de detergentes, aceites y grasas [10].

### **3.1.2. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DEL PROCESO DE DESENGRASE CON DISOLVENTE Y DESENGRASE ALCALINO**

Este se realizará en dos etapas y se han seleccionado dos tipos de disolventes, los cuales son acetona o percloroetileno. Además, el desengrase con solución alcalina que puede ser con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. A continuación se detalla el manejo y almacenamiento de cada uno de ellos:

#### **A) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE ACETONA**

- ✓ Manejo: Los recipientes se deben conectar a un polo tierra cuando se hace el llenado para evitar el riesgo de chispas por estática. No se debe fumar en el área cuando se manipula este producto.
- ✓ Almacenamiento: Almacenar el producto en contenedores cerrados, en un área seca, bien ventilada y alejada de agentes oxidantes, fuentes de ignición, chispas o llamas. El área debe cumplir con las exigencias de almacenamiento para inflamables clase 1B. No fumar en el área donde se almacena este producto. Evitar el daño de los contenedores. Mantener los niveles de concentración en áreas confinadas por debajo del 25 % [28].

#### **B) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE PERCLOROETILENO**

- ✓ Manejo: higiene estricta. No comer, beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer. No utilizar cerca del fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura.
- ✓ Almacenamiento: Separado de metales tales como aluminio, litio, bario o berilio; y de alimentos. Mantener en la oscuridad. Ventilación a ras del suelo [29].

#### **C) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE SODIO**

- ✓ Manejo: Utilizar los elementos de protección personal así sea muy corta la exposición o la actividad que realizar con la sustancia; mantener estrictas normas de higiene. No fumar ni beber en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar.

- ✓ Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. En recipientes no metálicos, preferiblemente a nivel del piso. Señalizar adecuadamente. Rotular los recipientes adecuadamente [30].

#### D) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE POTASIO

- ✓ Manejo: usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. No permita que el material alcance temperaturas superiores a los 360 °C. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. No usar agua en el área de trabajo.
- ✓ Almacenamiento: almacenar en lugares ventilados, frescos, secos y señalizados. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotularlos recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados. Inspeccione periódicamente las áreas de almacenamiento para detectar daños y fugas en los contenedores. Almacenarlos contenedores por debajo del nivel de los ojos en caso de ser posible. Restringir el acceso a personas no autorizadas. Envasar en botellas, cajas, barriles, toneles y vagones cisterna [31].

#### **3.1.3. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DEL PROCESO DE ACTIVACIÓN**

El proceso de activación puede ser con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, a continuación se menciona el manejo y almacenamiento de cada uno de estos ácidos, así:

#### A) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO CLORHIDRICO

- ✓ Manejo: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar la liberación de vapor en las áreas de trabajo. Para diluir o preparar soluciones, adicionar lentamente el ácido al agua para evitar salpicaduras y aumento rápido de la temperatura. Debe tenerse cuidado con el producto cuando se almacena por períodos prolongados.
- ✓ Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Separar de materiales incompatibles tales como agentes oxidantes, reductores y bases fuertes. Rotular los recipientes adecuadamente y manténgalos herméticamente cerrados. Proveer el lugar de un sistema de desagüe apropiado y con piso resistente a la corrosión. El sistema de ventilación debe ser resistente a la corrosión. Madera y otros materiales orgánicos combustibles, no deben ser usados sobre los pisos y estructuras del almacenamiento. Los contenedores no deben ser metálicos. El área de almacenamiento debe corresponder a corrosivos [32].

#### B) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO SULFÚRICO

- ✓ Manejo: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar la formación de vapores o neblinas de ácido. Cuando diluya adicione el ácido al agua lentamente. Nunca realice la operación contraria porque puede reaccionar violentamente.

- ✓ Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Separar de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. No almacenar en contenedores metálicos. No fumar porque puede haberse acumulado hidrógeno en tanques metálicos que contengan ácido. Evitar el deterioro de los contenedores. Mantenerlos cerrados cuando no están en uso. Almacenar las menores cantidades posibles. Los contenedores vacíos deben ser separados. Inspeccionar regularmente la bodega para detectar posibles fugas o corrosión. El almacenamiento debe estar retirado de áreas de trabajo. El piso debe ser sellado para evitar la absorción. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser resistentes a la corrosión. Disponer en el lugar de elementos para la atención de emergencias [33].

#### **3.1.4. MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DEL PROCESO DE DEPOSICIÓN AUTOCATALÍTICA DE Ni-P (BAÑO ÁCIDO O BÁSICO)**

A continuación se menciona la composición de los baños autocatalíticos ácidos y básicos, se tomará en cuenta cada uno de los elementos químicos de cada baño ya que no se encuentran hojas de seguridad de manejo y almacenamiento de cada baño en sí.

Los baños ácidos autocatalíticos de Ni-P poseen la siguiente composición:

- ✓ Cloruro de níquel 30 g/l (fuente de metal).
- ✓ Hipofosfito de sodio 10 g/l (agente reductor).
- ✓ Citrato de sodio 10 g/l (regulador de pH)

Los baños básicos autocatalíticos de Ni-P poseen la siguiente composición:

- ✓ Cloruro de níquel 21 g/l (fuente de metal)
- ✓ Hipofosfito de sodio 24 g/l (agente reductor)
- ✓ Cloruro de amonio 30 g/l (agente acomplejante)
- ✓ Citrato de sodio 45 g/l (agente estabilizador)

- ✓ Hidróxido de potasio al 10 % 100 g (agente retenedor)

A continuación se describe el manejo y almacenamiento de residuos del proceso de deposición autocatalítica de Ni-P de cada uno de los químicos que se utilizan en baños ácidos:

#### A) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE CLORURO DE NÍQUEL

- ✓ Manejo: Use equipo de protección especial. para realizar el mantenimiento o donde las exposiciones pueden exceder los niveles de exposición establecidos. Lávese las manos, cara, los antebrazos y el cuello al salir de las zonas restringidas. Dúchese, disponga de la ropa exterior, cámbiese por ropa limpia al final del día. Evite la contaminación cruzada de la ropa de calle. Lavarse las manos antes de comer, beber o fumar. No comer en el lugar de trabajo. Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos ya que retienen residuos del producto (polvo, sólidos); observar todas las advertencias y precauciones indicadas para el producto.
- ✓ Almacenamiento: Mantener en un recipiente cerrado herméticamente, almacene en un lugar fresco, seco y ventilado. Proteger contra daño físico. Aislar de sustancias incompatibles. Las soluciones son ácidas. Los sitios en los que puede haber exposición al metal de níquel o a compuestos solubles de níquel deben ser identificados por los signos o medios adecuados y el acceso a la zona debe limitarse únicamente a personas autorizadas [34].

#### B) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE HIPOFOSFITO DE SODIO

- ✓ Manejo: Use guantes, casco, gafas de seguridad para productos químicos y máscara con filtro semifacial o máscara de escape.
- ✓ Almacenamiento: Mantener el material bien cerrado en un lugar seco, fresco y bien ventilado [35].

#### C) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE CLORURO DE AMONIO

- ✓ Manejo: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores

cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar generar polvos. No usar cerca de operaciones de soldadura autógena, llamas o superficies calientes. Mantener los contenedores cerrados cuando no estén en uso. Los contenedores vacíos pueden contener residuos que pueden ser peligrosos.

- ✓ Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Separar los recipientes de ácidos, álcalis, sales de plata, nitrato de amonio y clorato de potasio. Los contenedores deben ser resistentes a la corrosión. Conectar a un polo tierra los recipientes [36].

#### D) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE CITRATO DE SODIO

- ✓ Manejo: Deben manipularse con cuidado para evitar derrames. Los recipientes vacíos son un peligro de incendio y se deben evaporar bajo una capilla de gases. Evitar el contacto con la piel y los ojos. utilizar en áreas bien ventiladas, no respire el polvo.
- ✓ Almacenamiento: No se necesita almacenamiento específico, pero sí se pide que se almacene en un área fresca y ventilada, lejos de fuentes de ignición. Conecte a un polo tierra todo el equipo que contenga este material. Use ropa protectora adecuada. Si no hay ventilación adecuada, usar equipo respiratorio apropiado. Los materiales combustibles deben almacenarse lejos del calor extremo y de agentes oxidantes fuertes [37].

#### E) MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓXIDO DE POTASIO

- ✓ Manejo: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. No permita que el material alcance temperaturas superiores a los 360 °C. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el

producto. Rotular los recipientes adecuadamente. No usar agua en el área de trabajo

- ✓ Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos, secos y señalizados. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados. Inspeccione periódicamente las áreas de almacenamiento para detectar daños y fugas en los contenedores.
- ✓ Almacenar los contenedores por debajo del nivel de los ojos en caso de ser posible. Restringir el acceso a personas no autorizadas. Envasar en botellas, cajas, barriles, toneles y vagones cisterna [38].

### **3.2. PROCEDIMIENTOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS QUÍMICOS GENERADOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

En esta sección se presentan algunos procesos de tratamiento de residuos químicos pero sólo se tomarán en consideración las soluciones que no se pueden desechar directamente a un cuerpo receptor.

Los desechos generados en el proceso autocatalítico están dentro de una clasificación de residuos químicos que se menciona a continuación.

#### **3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS**

La clasificación de los residuos en diferentes grupos se basa en su composición y pretende facilitar la posterior gestión de los residuos por las empresas encargadas de la disposición final. Los grupos propuestos, en función de la cantidad que cada laboratorio genera, se pueden modificar.

Una posible clasificación es la que se expone en la nota técnica de prevención (NTP 480-1998) que separa los residuos en 7 grandes grupos [39]:

Grupo I. Disolventes halogenados: Se trata de los productos líquidos orgánicos que contienen más de un 2 % de algún halógeno. Están en este grupo el cloruro de metileno y el bromoformo.

Grupo II. Disolventes no halogenados: Se incluye aquí los líquidos orgánicos inflamables con menos de un 2 % en halógenos. Por ejemplo: alcoholes, aldehídos, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos.

Grupo III. Disoluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos: Es un grupo muy amplio y es imprescindible establecer subdivisiones. Los 2 subgrupos más importantes son:

1) Soluciones acuosas inorgánicas

- ✓ Soluciones básicas: hidróxido sódico, hidróxido potásico.
- ✓ Soluciones de metales pesados: níquel, plata, cadmio, selenio, fijadores.
- ✓ Soluciones de cromo VI.
- ✓ Otras soluciones acuosas inorgánicas: reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros.

2) Soluciones acuosas orgánicas o con demanda química de oxígeno (DQO) elevada

- ✓ Soluciones colorantes.
- ✓ Fijadores orgánicos: formol, fenol, glutaraldehído.
- ✓ Mezclas agua/disolvente: eluyentes cromatográficos, metanol/agua.

Grupo IV. Ácidos: Forman este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10 % en volumen).

Grupo V. Aceites: Constituido por los aceites minerales derivados de las operaciones de mantenimiento y si se da el caso, de baños calefactores.

Grupo VI. Sólidos: En este grupo se incluyen los materiales en estado sólido tanto orgánico como inorgánico y el material desechable contaminado. Los

reactivos sólidos caducados no pertenecen a este grupo. Se establecen 3 subgrupos:

- 1) Sólidos orgánicos: por ejemplo, el carbón activo o el gel de sílice impregnados con disolventes orgánicos.
- 2) Sólidos inorgánicos como por ejemplo las sales de los metales pesados.
- 3) Material desechable contaminado con productos químicos.

Grupo VII. Especiales: Forman parte de este grupo los productos químicos sólidos o líquidos que por su elevada peligrosidad no han sido incluidos en ninguno de los 6 anteriores y no se pueden mezclar entre sí. Ejemplos:

- ✓ Comburentes (peróxidos).
- ✓ Compuestos pirofóricos (magnesio metálico en polvo).
- ✓ Compuestos muy reactivos: ácidos fumantes, cloruros de ácidos, metales alcalinos,
- ✓ Compuestos peroxidables, etc.
- ✓ Compuestos muy tóxicos (tetraóxido de osmio, mezcla crómica, cianuros, sulfuros, etc.).
- ✓ Compuestos no identificados.
- ✓ También en este grupo se incluyen los reactivos puros obsoletos o caducados.

### **3.2.2. PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS GENERADOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

En los procesos autocatalíticos, se generan las siguientes soluciones químicas:

- ✓ Solución de ácido nítrico al 15 % en volumen, producto de la pasivación de los elementos en contacto con la solución autocatalítica de Ni-P.
- ✓ Solución de acetona o percloroetileno producto del desengrase.

- ✓ Solución de hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, producto de la limpieza final de la superficie a recubrir.
- ✓ Solución de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, producto de la activación de la superficie a recubrir.
- ✓ Solución autocatalítica de Ni-P.

Según la clasificación de residuos químicos descrita anteriormente se puede decir que:

El Hidróxido sódico, hidróxido potásico y la solución acuosa de metal pesado (Ni-P), son en este caso soluciones acuosas básicas.

Las soluciones procedentes del desengrase que son la acetona que pertenece al grupo de los disolventes no halogenados y el percloroetileno que pertenece al grupo de disolventes halogenados.

Las soluciones ácidas que resultan del proceso, corresponden al grupo de los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas.

El cloruro de níquel usado durante la preparación de la solución autocatalítica es una sustancia que al trabajar con ella y en consecuencia con sus residuos pueden generar riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. Por tal razón se clasifica como sustancia cancerígena.

A continuación se mencionan los procedimientos de eliminación y los principios de eliminación de residuos químicos generados en el proceso autocatalítico de Ni-P:

#### A) PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PRELIMPIEZA Y RESIDUOS DE ENJUAGUES.

Para el tratamiento de aguas de enjuagues y aguas de desengrase se considera un separador de grasa o trampa de grasa para evitar en la mejor medida la contaminación al medio ambiente.

Las trampas de grasa, también conocidas como interceptores de grasa, dispositivos de recuperación de grasas, son dispositivos diseñados para interceptar la mayor parte de grasa y sólidos antes de que se introduzcan en un sistema de evacuación del agua residual.

El diseño normal de la trampa de grasa será una caja que se encuentra en la línea de drenaje antes de entrar en el sistema de aguas residuales principal y pueden ser de diversos materiales incluyendo acero inoxidable y plástico. Los tamaños varían mucho de tan pequeñas como 45 litros para su uso en una pequeña cocina de un restaurante a tan grande como 45.000 litros o más, que sería utilizada en una aplicación industrial de gran tamaño. El funcionamiento es en teoría muy simple. Las corrientes de aguas residuales fluyen a la trampa de grasa y contienen sólidos. La grasa, aceite flotan en la superficie y otros sólidos "pesados" caen al fondo. A través de una serie de deflectores de aguas, el agua "limpia" fluye desde la salida de la trampa a la tubería de aguas residuales, en la Figura 3.2. se presenta un diseño básico de una trampa de grasa [40].

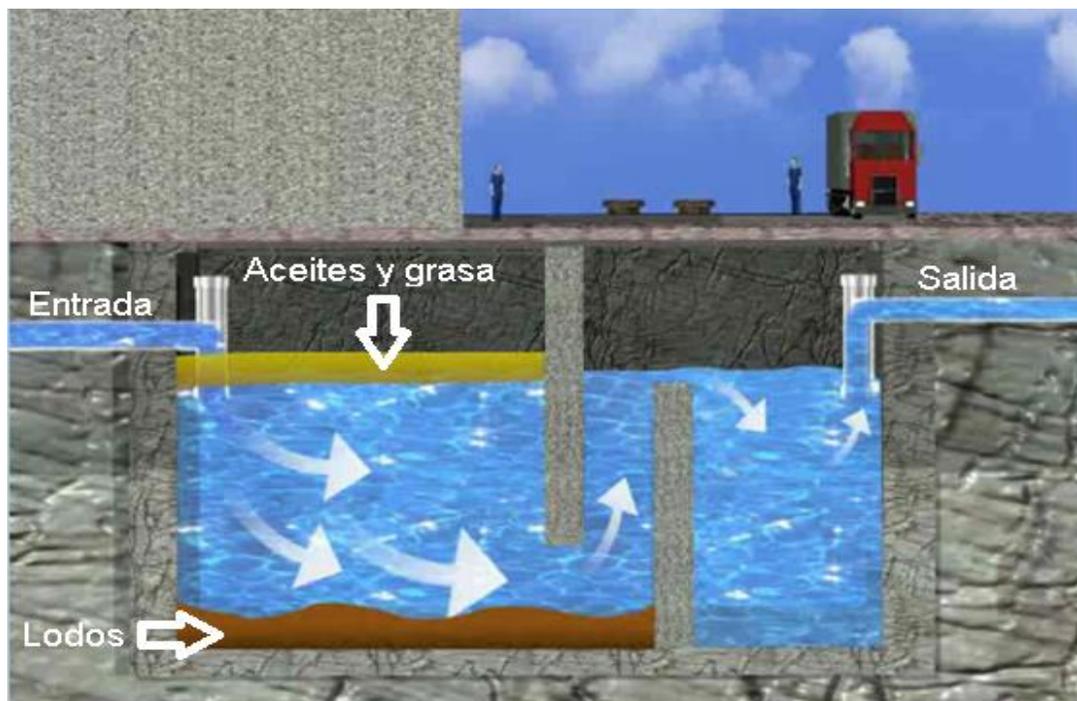


Fig. 3.2. Diseño básico de una trampa de grasa.

## B) TRATAMIENTO DE LODOS Y GRASAS.

El líquido de los lodos tiene que drenarse consiguiendo un lodo seco y poroso. La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante

camas secas, secado solar), durante un largo periodo de tiempo. Más rápidamente, aunque en pequeñas cantidades (y también más costoso) son las máquinas de proceso como las prensas y centrifugación [41].

#### C) PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DE ACETONA

Especialmente la acetona y la butanona, son disolventes orgánicos habituales en los laboratorios. Muchos aldehídos y cetonas son utilizados como intermedios en síntesis orgánica. Todos queman con facilidad y pueden ser incinerados o quemados en forma de fuente de energía suplementaria. Para esto, es necesario proteger los ojos y la piel, y tener disponible un aparato de respiración.

El principio de la eliminación para la mayoría de las cetonas es sobre la base de que tienen baja toxicidad y son fáciles de manejar, por lo que se pueden eliminar directamente (como residuo por incineración) [39].

#### D) PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DE DISOLVENTES HALOGENADOS

Un cierto número de hidrocarburos halogenados son utilizados a menudo como disolventes, como por ejemplo: el cloruro de metileno ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), el cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), el tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ), el tetracloroetileno ( $\text{CCl}_2=\text{CCl}_2$ ), el 1,1-dicloroetano ( $\text{CCl}_2\text{HCH}_3$ ), el 1,2-dicloroetano ( $\text{CClH}_2\text{CClH}_2$ ), el 1,1,1-tricloroetano ( $\text{CCl}_3\text{CH}_3$ ), el 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano ( $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$ ), el clorobenceno ( $\text{ClC}_6\text{H}_5$ ), y el orto-diclorobenceno ( $1,2\text{-Cl}_2\text{C}_6\text{H}_4$ ). La mayoría de estos hidrocarburos halogenados son bastante tóxicos y tienen que ser transportados prudentemente y eliminados en cantidades de laboratorio, en recipientes etiquetados como disolventes halogenados.

El proceso de eliminación de estos compuestos utilizados en cantidades de disolvente son candidatos a ser recuperados por destilación. Además, en el caso que no se pueden recuperar por destilación, y se encuentran en muy pequeña cantidad, es necesario mezclarlos con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (carbonato de sodio) o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de calcio) e incinerarlos en una

vitrina de gases o en un horno de combustión. Es importante destacar que por su baja solubilidad en agua y su toxicidad hace que incluso en cantidades a nivel de trazas sean inaceptables en el alcantarillado [39].

#### E) PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DE BASES INORGÁNICAS, SALES BÁSICAS Y SUS DISOLUCIONES

Las bases inorgánicas, como por ejemplo el hidróxido de litio (LiOH), el hidróxido de sodio (NaOH), el hidróxido de potasio (KOH), el amoníaco acuoso (NH<sub>3</sub>aq. NH<sub>4</sub>OH), y las sales de hidrólisis básica, como por ejemplo el carbonato de potasio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), el carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y el amoníaco, se tienen que neutralizar con una disolución diluida de ácido sulfúrico o de ácido clorhídrico. Para destruir cal viva (CaO) o cal apagada (Ca(OH)<sub>2</sub>) es mejor utilizar ácido clorhídrico, porque el sulfato de calcio es insoluble.

El procedimiento de eliminación de las bases inorgánicas puede ser:

- ✓ Diluir con agua, en relación 1:5, y neutralizar hasta pH entre 6-8, añadiendo lentamente una disolución al 50 % de ácido sulfúrico. Se diluye la disolución obtenida a 1:10 y se vierte en depósitos de almacenamiento adecuados.
- ✓ En un recipiente amplio que contenga una solución fría de ácido clorhídrico de concentración 6 mol L<sup>-1</sup> (solución al 50 %), se vierte lentamente y con agitación la base a eliminar.

Cuando el pH está cercano a la neutralidad, se detiene la adición y la solución resultante se vierte en depósitos de almacenamiento adecuados.

Para eliminar derrames, se recubre la superficie contaminada con un exceso de solución al 50 % de ácido clorhídrico o de ácido sulfúrico. El residuo resultante se diluye con agua, se neutraliza si es necesario [39].

#### F) PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DE ÁCIDOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS Y SUS DISOLUCIONES

Los ácidos inorgánicos fuertes, como por ejemplo el ácido clorhídrico (HCl), el ácido bromhídrico (HBr), el ácido yodhídrico (HI), el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), el ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), son agentes

corrosivos fuertes que afectan las proteínas de los tejidos celulares. La gravedad de las lesiones depende de la concentración del ácido, de la temperatura y del tiempo de contacto. Por otro lado, los aerosoles de estos ácidos provocan intensas irritaciones del aparato respiratorio.

La eliminación de estas sustancias se basa en la neutralización con una base inorgánica: bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o de potasio ( $\text{KOH}$ ), etc.

El procedimiento de eliminación consiste en colocar en un recipiente grande que contenga un exceso de disolución acuosa de  $\text{NaOH}$  al 10 % en peso y a temperatura ambiente, luego verter lentamente y con agitación el ácido a eliminar (si se trata de un ácido concentrado se ha de diluir previamente vertiéndolo con precaución sobre 5 volúmenes de agua fría). Es conveniente controlar la temperatura al principio de la adición, porque la reacción es exotérmica. La mezcla resultante, que ha de tener pH básico, se vierte entonces en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua. Después de ajustar el pH entre 6 y 8, si es necesario utilizando solución diluida de ácido sulfúrico, la disolución resultante se puede almacenar en recipientes adecuados.

Para eliminar derrames de ácidos inorgánicos fuertes, se debe cubrir la superficie contaminada con un exceso de bicarbonato de sodio sólido. La reacción es exotérmica y se produce una fuerte efervescencia. El residuo resultante se vierte en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua, se lleva entre un pH 6-8.

Estas operaciones se han de realizar con la protección adecuada: gafas de seguridad, guantes de caucho y pantalla protectora (en caso de reacción muy violenta).

En general, los ácidos orgánicos más habituales, cuyas sales sódicas son solubles en agua, se pueden tratar de la forma anteriormente descrita. Dentro de esta categoría se incluyen los tipos de ácidos orgánicos siguientes: ácidos carboxílicos de cadena corta (fórmico, acético, propiónico, butírico,

valérico, acrílico, metacrílico, pirúvico, etc.), ácidos halogenocarboxílicos de cadena corta (mono-, di- y tricloroacético, trifluoroacético, etc. [39].

### **3.3. DISPOSICIÓN FINAL PARA RESIDUOS QUÍMICOS GENERADOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

Para una buena disposición final de los residuos es fundamental la elaboración de un programa de gestión de residuos. La minimización es el componente más importante en la gestión de los residuos ya que reduce los residuos producidos en el proceso químico en estudio. Esto incluye cualquier reducción en la fuente, reciclaje o actividades de tratamiento que resulten en la reducción o la cantidad de residuos peligrosos generados, o la reducción de la toxicidad de los residuos químicos peligrosos o ambos.

#### **3.3.1. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DISOLVENTES DESENGRASANTES**

A continuación se menciona las consideraciones para disposición final para cada uno de los disolventes desengrasantes:

##### **A) Acetona (grupo de las cetonas)**

- ✓ Método de eliminación del producto: incineración en una instalación especialmente diseñada al efecto [42].
- ✓ Método de eliminación del envase: drenar el contenedor completamente. Una vez vaciado, ventilar en lugar seguro lejos de chispas y fuego. Los residuos pueden causar riesgos de explosión. No perforar, cortar o soldar los bidones sucios y sin limpiar. Enviar los bidones a entidades recicladoras autorizado que deberá de cumplir con la legislación vigente [42].

B) Percloroetileno (grupo de hidrocarburos clorados) [43]

- ✓ Método de eliminación del producto: respetar las normativas locales y nacionales. Disponer el producto a eliminar a un ente autorizado.

Método de eliminación del envase usado: Disponer los envases a eliminar a una entidad autorizada para su eliminación o incineración.

### **3.3.2. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL DE DESENGRASANTES ALCALINOS**

A continuación se menciona las consideraciones para disposición final para cada uno de los desengrasantes alcalinos:

A) Hidróxido de sodio [44]:

- ✓ Método de eliminación del producto: eliminar esta sustancia en un punto de recogida de residuos especiales o peligrosos, conforme a la reglamentación local, regional nacional o internacional.
- ✓ Método de eliminación del envase usado: eliminar el envase en un punto de recogida de residuos especiales o peligrosos, conforme a la reglamentación local, regional nacional o internacional.

B) Hidróxido de potasio [45]:

- ✓ Método de eliminación del producto: residuo de carácter especial o peligroso. Está sujeto, para su eliminación, conforme a la reglamentación nacional.
- ✓ Método de eliminación del envase usado: los envases y embalajes contaminados de sustancia o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos.

### 3.3.3. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL DE ACTIVADORES

A continuación se menciona las consideraciones para disposición final para cada uno de los activadores:

#### A) Ácido clorhídrico [46]:

- ✓ Método de eliminación del producto: lo que no se pueda ocupar para recuperación o reciclaje se debe manejar como desecho peligroso debe ser enviado a una instalación aprobada para la eliminación de residuos químicos. Debe tenerse presente la legislación ambiental local vigente relacionada con la disposición de residuos para su adecuada eliminación.
- ✓ Considerar el uso del ácido diluido para neutralizar residuos alcalinos. Adicionar cuidadosamente ceniza de soda o cal, los productos de la reacción se pueden conducir a un lugar seguro donde no tenga contacto con el ser humano, la disposición en tierra es aceptable.
- ✓ Método de eliminación del envase usado: lavar y descartar según legislación vigente.

#### B) Ácido sulfúrico [47]:

- ✓ Método de eliminación del producto: todos los residuos de ácido sulfúrico, sus disoluciones o sustancias que lo contengan debe ser tratadas en instalaciones adecuadas para su neutralización, de la que tiene que salir con un pH entre 6 y 8, posteriormente los líquidos deben evacuarse por la red de alcantarillado.
- ✓ Método de eliminación del envase usado: lavar y descartar según la legislación vigente [48].

### **3.3.4. CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL DE COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN PARA BAÑOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

Existen diversos procesos para disponer de todo tipo de residuos, más concretamente los residuos peligrosos y no peligrosos.

El proceso más difundido y más seguro para tratar los mismos es la eliminación por incineración:

#### **PROCESO DE INCINERACIÓN**

La incineración es un tratamiento que consiste en destruir los residuos por acción de alta temperatura (termo eliminación).

La termoeliminación se realiza en hornos, que poseen dos cámaras, la cámara primaria, que se encuentra a 800 °C recibe los residuos y es donde comienza el proceso de combustión en una atmósfera deficiente de oxígeno. La cantidad de aire de combustión es regulada a fin de liberar el material volátil y oxidar el carbón fijo del residuo. Los gases generados pasan de la cámara secundaria donde se introduce un exceso de aire y la mezcla de aire-gas es recombustionada a 1200 °C con un tiempo de residencia de 2 s. Como todo proceso industrial, la incineración genera afluentes, detallados a continuación:

- ✓ Sólidos: las cenizas, que se inertizan
- ✓ Gaseosos: los gases de combustión, que se lavan en una torre de dos etapas, llamado lavado de gases.
- ✓ Líquidos: efluentes de la torre de lavado de gases, que se tratan en una planta específica.

La incineración sirve para destruir principalmente materiales orgánicos, y aquellos elementos inorgánicos con restos de materiales orgánicos [49].

### **3.3.5. NORMATIVA PARA DESECHAR LOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE DEPOSICIÓN AUTOCATALÍTICA NI-P**

A continuación se presenta información relacionada, con el objetivo de promover el manejo adecuado de los productos químicos, incluidos los residuos y desechos peligrosos, contribuyendo con ello a reducir los riesgos a la salud y al medio ambiente.

La disposición final de este tipo de desechos no es fácil, ya que se trata de desechos peligrosos estos pueden ser incinerados a no menos de 850 °C en lugares autorizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En la Tabla 3.1. se detalla la entidad encargada de realizar la eliminación de los desechos químicos.

La empresa encargada de realizar la eliminación de los desechos químicos en El Salvador es Holcim El Salvador, S.A. de C.V. quien a través de Geocycle El Salvador, S.A. de C.V. Utiliza la tecnología de coprocesamiento para la eliminación de residuos químicos, esta opción es ambientalmente segura.

El coprocesamiento es la utilización de las excelentes condiciones de temperatura del proceso de fabricación del cemento (~2000 °C) para la disposición final de residuos de manera segura y siguiendo las normas ambientales, tanto nacionales como internacionales.

Esta práctica tiene como objetivo principal dar un aporte a la protección del medio ambiente y a la salud de los salvadoreños, recolectando y eliminando de manera segura y limpia a través del coprocesamiento, toneladas de desechos que contaminan el país [50]

Tabla 3.1. Listado de sitios autorizados para la eliminación y disposición final de desechos peligrosos.

Nombre	Permiso ambiental para	Residuos y desechos autorizados	Dirección	Teléfonos
Geocycle El Salvador, S.A. de C.V. - Holcim El Salvador, S.A. de C.V.	Manejo, caracterización y pre-tratamiento de residuos y desechos peligrosos, así como para la destrucción de residuos y desechos en el coprocesamiento en sus hornos cementeros.	Llantas	Av. El Espino y Blvd. Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán, La Libertad.	2316-8040 y 2316-8045
		Aceites minerales, vegetales y sintéticos		
		Lodos de fondos de tanques		
		Desechos de plantas de tratamiento		
		Lodos de procesos químicos		
		Lodos de perforaciones		
		Aguas contaminadas		
		Residuos de destilación		
		Lodos industriales (industria química, de pinturas, papel, entre otros)		
		Solventes e hidrocarburos		
		Plásticos (contaminados y no contaminados)		
		Medicinas vencidas		
		Textiles		
		Suelos, arenas, polvos, arcillas y tierras contaminadas		
		Tierras diatomáceas, emulsiones, bitúmenes, hullas, ceras.		
		Materiales caducos y/o fuera de especificación		
		Químicos de origen industrial o farmacéutico		
Pesticidas				
Desechos con PCB's				
Biomásas, papel, cartón				
Desechos sólidos Municipales previamente clasificados				

El coprocesamiento es un medio seguro para manejar los residuos industriales debido a:

✓ Alta temperatura de operación:

Con una llama de 2000 °C en la zona de combustión hasta los productos orgánicos más estables son completamente destruidos. Estos se consumen sin producir residuos críticos ni gases de combustión.

- ✓ Baja temperatura en los gases emanados por la chimenea:

*La temperatura final de los gases, es variable clave para la regulación en la emisión de sustancias tóxicas. No todos los hornos pueden producir bajas temperaturas de gases en la chimenea, pero sí el de producción de cemento.*

- ✓ Equipos de desempolvamiento de alta eficiencia:

Holcim El Salvador cuenta con una tecnología de desempolvamiento de alta eficiencia por lo que se puede controlar fácilmente las emisiones generadas en el coprocesamiento de los desechos industriales introducidos al horno.

- ✓ Depósito seguro de los productos no destruidos:

Algunos elementos químicos no son destruidos en el proceso. El proceso de cemento ofrece la única posibilidad de incorporación de trazas de elementos [50].

La principal diferencia entre el coprocesamiento y la incineración es: que en el coprocesamiento se aprovecha la energía y los minerales que están presentes en los residuos, debido a las altas temperaturas de 2000 °C, el tiempo de residencia de los gases mayor a 5 s, proceso de auto limpieza de los gases debido a una atmósfera alcalina, logrando que las cenizas se integran al proceso de fabricación del cemento.

Estas características son la principal diferencia entre el coprocesamiento y la incineración convencional. En esta última los residuos generan cenizas que posteriormente requieren un tratamiento seguro.

Los requisitos para recibir los desechos químicos en Geocycle el salvador, S.A. de C.V. - Holcim el salvador, S.A. de C.V. son:

- ✓ Presentar una muestra del residuo químico con pH entre 6 y 8 (100-150 mililitros) para análisis en un laboratorio (instalaciones de Holcim). Se realizan análisis para determinar su humedad, poder calorífico, Cloro, Azufre, metales pesados, etc.
- ✓ Llenar y presentar el perfil del residuo químico de cada uno de los químicos o compuestos químicos, en el ANEXO A. se muestra el formato del perfil del residuo de Geocycle El Salvador (tabla en programa Excel diseñada por Holcim).

- ✓ Presentar las hojas de seguridad de cada uno de los químicos a ser entregados a Holcim [50].

Los elementos que no se pueden coprocesar en Holcim se mencionan a continuación:

- ✓ Minerales con alta concentración de cianuro,
- ✓ Materiales radioactivos,
- ✓ Material explosivo,
- ✓ Residuos humanos,
- ✓ Basura sin clasificar,
- ✓ Ácidos minerales,
- ✓ Baterías,
- ✓ Asbesto,
- ✓ Desechos electrónicos,
- ✓ Desechos con punto de inflamación menor de 55 °C,
- ✓ Desechos corrosivos, y
- ✓ Cromo hexavalente.

#### **3.4. EQUIPOS DE PROTECCIÓN UTILIZADOS EN PROCESOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

Debido a la serie de actividades propias que se realizan en los procesos de deposición autocatalítica, se cuenta con una elevada exposición de múltiples factores de riesgo, para los cuales se establece una lista de equipos de protección con el fin de evitar lesiones en las personas que manipulan las sustancias.

A continuación se dan los nombres de los elementos de protección personal usados en todas y cada una de las etapas del proceso de deposición autocatalítica de Ni-P.

### **3.4.1. EQUIPOS DE PROTECCIÓN A UTILIZAR PARA EL MANEJO DE DISOLVENTES DESENGRASANTES**

A continuación se mencionan los equipos de protección a utilizar para el manejo de disolventes desengrasantes

#### **A) EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA MANEJO DE ACETONA [42]:**

- ✓ Trompa respiratoria con filtro para vapores orgánicos,
- ✓ Equipo de respiración autónoma,
- ✓ Guantes de neopreno de puño largo. La resistencia del neopreno es limitada, ya que la acción solvente de la acetona es fuerte,
- ✓ Lentes de protección química,
- ✓ Ventilación normal o forzada,
- ✓ No usar ropa sintética.

#### **B) EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA MANEJO DE PERCLOROETILENO [43]:**

- ✓ Protección respiratoria con cartucho tipo A,
- ✓ Guantes de resistencia química (PVC),
- ✓ Lentes de protección química,
- ✓ Utilizar ropa de trabajo adecuada que evite el contacto con el producto.

### **3.4.2. EQUIPO DE PROTECCIÓN A UTILIZAR PARA EL MANEJO DE DESENGRASANTES ALCALINOS**

A continuación se mencionan los equipos de protección a utilizar para el manejo de desengrasantes alcalinos:

#### **A) EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA MANEJO DE HIDRÓXIDO DE SODIO [44]:**

- ✓ Mascarilla homologada,
- ✓ Guantes,
- ✓ Ropa adecuada,
- ✓ Gafas químicas o pantalla de protección,

- ✓ No comer, beber, ni fumar durante su utilización.

#### B) EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA MANEJO DE HIDRÓXIDO DE POTASIO

[45]:

- ✓ En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado. Filtro P,
- ✓ Guantes apropiados,
- ✓ Gafas apropiadas,
- ✓ Ropa de trabajo adecuada,
- ✓ Lavarse las manos y cara antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

### **3.4.3. EQUIPO DE PROTECCIÓN A UTILIZAR PARA EL MANEJO DE ACTIVADORES**

A continuación se mencionan los equipos de protección a utilizar para el manejo de activadores:

#### A) EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA MANEJO DE ÁCIDO CLORHÍDRICO

[46]:

- ✓ Respirador de cara completa con filtros para ácidos,
- ✓ Guantes de neopreno,
- ✓ Gafas y careta,
- ✓ Overol y botas de materiales resistentes,
- ✓ Manipular cerca de ducha y lava ojos,
- ✓ Manipular en lugares ventilados.

#### B) EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA MANEJO DE ÁCIDO SULFÚRICO [48]:

- ✓ Mascarilla para vapores ácidos/línea de aire respirable,
- ✓ Careta facial con lentes o capucha antiácida,
- ✓ Guantes de neopreno o PVC,
- ✓ Botas de hule, equipo completo antiácido.

#### **3.4.4. EQUIPO DE PROTECCIÓN A UTILIZAR PARA EL MANEJO DE LOS COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN PARA BAÑOS AUTOCATALÍTICOS DE Ni-P**

EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA EL MANEJO DE BAÑOS AUTOCATALÍTICOS [51]:

- ✓ Guantes de neopreno,
- ✓ Delantal de seguridad,
- ✓ Mascara respiradora con cartuchos,
- ✓ Gafas de seguridad con antiempañante y pantalla facial,
- ✓ Zapato de seguridad.

#### **3.4.5. EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA**

El lugar destinado para el desarrollo de los procesos de deposición autocatalítica debe contar con equipos de protección colectiva, dichos equipos deben de ser revisados periódicamente para su correcto funcionamiento, y tienen que ser accesibles para todo el personal.

A continuación se indica cuáles son los equipos de protección personal:

- ✓ Campana para extracción de gases,
- ✓ Fuentes lavaojos,
- ✓ Duchas de seguridad,
- ✓ Neutralizador,
- ✓ Extintor,
- ✓ Botiquín.

En el presente capítulo se describió el manejo y almacenamientos de los químicos, a utilizar en los procesos, y los residuos químicos generados por los procesos deposición autocatalítica de Ni-P para aceros y se propone a Holcim El Salvador como la empresa encargada para la eliminación de los residuos. En el siguiente capítulo hablaremos sobre los costos que implica la deposición final de

los residuos que genera el proceso de deposición autocatalítica de Ni-P para aceros.

### 3.5 COSTOS PARA EL COPROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS QUIMICOS DE PROCESO AUTOCATALITICOS DE Ni-P

En El Salvador se cuenta con la empresa Holcim, quien a través de Geocycle ofrece un servicio integral en la gestión de residuos en cumplimiento con la legislación local y con los más estrictos controles de seguridad, salud ocupacional, gestión ambiental y aseguramiento de la calidad.

Así, al consultar en Geocycle-Holcim y con la colaboración del gerente comercial, quien facilitó los costos que la empresa maneja en concepto de costos de transporte y eliminación de residuos químicos líquidos los cuales se presentan en la Tabla 3.2, y para los lodos o pastas se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.2. Costos de transporte y eliminación de residuos químicos líquidos, proporcionado por Geocycle-Holcim.

Cantidad de residuo químico, kg	Transporte \$	Valor, \$
Menor a 250	300 + IVA	375 + IVA
Mayor a 250	300 + IVA	(375 + 1.50 por kg adicional) + IVA

Tabla 3.3. Costos de transporte y eliminación de residuos químicos lodos o pastas, proporcionado por Geocycle-Holcim.

Cantidad de residuo químico, kg	Transporte \$	Valor, \$
Menor a 250	325 + IVA	375 + IVA
Mayor a 250	325 + IVA	(375 + 1.50 por kg adicional) + IVA

En síntesis se puede concluir que la deposición autocatalítica con baños de Ni-P puede ser una realidad en El Salvador tomando en consideración las medidas de manejo de los residuos que estos generan, ya que a dichos residuos se les pueden realizar una disposición final satisfactoria de acuerdo a la normativa salvadoreña.

## CONCLUSIONES

- ✓ Que en la teoría desarrollada en el marco teórico se recopiló los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo el estudio sobre el manejo de residuos químicos de procesos autocatalíticos de Ni-P sobre aceros.
- ✓ Que siguiendo todas las normas de control para el manejo de químicos y cumpliendo con las leyes de El Salvador, sobre la eliminación de residuos peligrosos o contaminantes, se pueden llevar a cabo en El Salvador los procesos de deposición autocatalítica de Ni-P sobre aceros.
- ✓ Que para un manejo integral de los residuos químicos de procesos autocatalíticos de Ni-P sobre aceros, estos se entreguen a la empresa Holcim El Salvador, quien a través de Geocycle El Salvador coprocesará los residuos generados en el proceso.
- ✓ Que para entregar los residuos finales del proceso a la empresa encargada de su disposición final, es necesario neutralizarlos.
- ✓ Que la mejor manera de evitar daños mayores al medioambiente se deben de coprocesar los residuos y no desecharlos de forma irresponsable al medio ambiente.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Para obtener resultados satisfactorios en la propuesta de manejo de desechos químicos se tiene que tener un excelente conocimiento de cada uno de los pasos de los procesos autocatalíticos de Ni-P.
- ✓ Cuando se deseen desechar residuos químicos del proceso de deposición autocatalítica de Ni-P consultar a la empresa encargada de coprocesar los químicos, cuales químicos son aceptados y cuáles no.
- ✓ Al finalizar los procesos de deposición autocatalítica verificar el pH de cada uno de los residuos para comunicarse con la empresa encargada de la disposición final para que puedan ser retirados por dicha empresa y puedan ser coprocesados.
- ✓ Cumplir con las leyes y permisos establecidos por la república de El Salvador para la compra y manipulación de reactivos químicos.

## REFERENCIAS

- [1] Mallory, G. O. y Hajdu, J. B. (1980). *Electroless plating: fundamentals and applications*. New York, United States of America: William Andrew Publishing/Noyes.
- [2] ASTM (1999). *ASTM Designation: B 322 – 99 Standard Guide for Cleaning Metals Prior to Electroplating*.
- [3] Argueta, R. A., Azucena, C. O. y Palma, C. A. (2002). *Diseño y construcción de un sistema para la deposición autocatalítica de recubrimientos de Ni-P*. San Salvador, El Salvador.
- [4] Berríos J. A. (1998). *Comportamiento a la Fatiga del Acero AISI 1045 Recubierto con un Depósito Autocatalítico de Ni-P*. San Salvador. El Salvador.
- [5] Porcayo-Calderón, J. y Sarmiento-Bustos, E. (1995.). *Caracterización de recubrimientos Ni-P depositados por reducción química autocatalítica en superficies internas*.
- [6] Wolfman y Riedel (1991). *Electroless Nickel Plating*. Editor ASM International
- [7] (2002). *Evaluación de revestimientos metálicos y no metálicos resistentes a la corrosión en aguas del lago de Maracaibo*. Recuperado de: [tesis.luz.edu.ve/tde\\_busca/archivo.php?codArchivo=165](http://tesis.luz.edu.ve/tde_busca/archivo.php?codArchivo=165)
- [8] Berritzen (2016). *Acabados Superficiales BERRITZEN*. Recuperado de: <http://www.berritzen.com/principal.php?idioma=esp>
- [9] Berritzen (2016). *Acabados Superficiales BERRITZEN*. Recuperado de: <http://www.berritzen.com/principal.php?idioma=esp>
- [10] Albella, J. M. (2003). *Láminas delgadas y recubrimientos preparación, propiedades y aplicaciones*, Editorial CSIC - CSIC Press.
- [11] Metal-tech (2011). *Electroless nickel Brush plating*. Recuperado de: <http://www.metal-tech.com.ar/#!procesos/vstc5=ventajas>
- [12] Wikipedia (2015). *Niquelado químico*. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Niquelado\\_qu%C3%ADmico](https://es.wikipedia.org/wiki/Niquelado_qu%C3%ADmico)
- [13] Istas (2016). *Buenas prácticas y sencillas medidas tecnológicas*. Recuperado de: <http://www.istas.net/fitema/att/li7.htm>

- [14] ONU (2015). *Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos*. Recuperado de: [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/04%20risk\\_water\\_quality\\_esp\\_web.pdf](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/04%20risk_water_quality_esp_web.pdf).
- [15] ANDA (2009). *Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario*. Recuperado de: <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/04/aguas-residuales.pdf>
- [16] CNE (2009). *Norma de aguas residuales*. Recuperado de: [http://estadisticas.cne.gob.sv/images/boletines/Legislacion/ambiental/Norma\\_Aguas\\_Residuales.pdf](http://estadisticas.cne.gob.sv/images/boletines/Legislacion/ambiental/Norma_Aguas_Residuales.pdf)
- [17] USAM (2010). *Norma de sustancias químicas*. Recuperado de: [http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/normas/NORMA\\_sustancias\\_quimicas.pdf](http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/normas/NORMA_sustancias_quimicas.pdf)
- [18] Wikipedia. (2016). *NFPA 704*. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/NFPA\\_704](https://es.wikipedia.org/wiki/NFPA_704)
- [19] Wikipedia. (2016). *Jabón* enciclopedia libre. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Jabon>
- [20] Wikipedia. (2016). *Acetona* enciclopedia libre. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acetona>
- [21] Wikipedia (2015). *White spirit* enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/White\\_spirit](https://es.wikipedia.org/wiki/White_spirit)
- [22] Wikipedia (2015). *Tricloroetileno* enciclopedia libre. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tricloroetileno>
- [23] Wikipedia (2015). *Tetracloroetileno* enciclopedia libre. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tetracloroetileno>
- [24] Wikipedia (2015). *Tricloroetano* enciclopedia libre. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/1,1,1-tricloroetano>
- [25] Wikipedia (2016). *Cloruro de metileno* enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro\\_de\\_metileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_metileno)
- [26] Wikipedia (2016). *Hidróxido de sodio* enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroxido\\_de\\_sodio](https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroxido_de_sodio)

- [27] Wikipedia (2016). *Hidróxido de potasio* enciclopedia libre. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroxido\\_de\\_potasio](https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroxido_de_potasio)
- [28] CIA. Química y agroquímica argentina (2006). *Hoja de datos de seguridad de acetona*. Recuperado de: <http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/acetona.pdf>
- [29] Sintorgan (2009). *Hoja de datos de seguridad de percloroetileno*. Recuperado de: <http://www.sintorgan.com/msds/Percloroetileno.pdf>
- [30] Instituto de Investigaciones Oceanológicas (2005). *Hoja de datos de seguridad de hidróxido de sodio*. Recuperado de: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hidroxido\\_de\\_sodio.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hidroxido_de_sodio.pdf)
- [31] Corquiven (2001). *Hoja de datos de seguridad de potasa caustica*. Recuperado de: [http://www.corquiven.com.ve/esp/MSDS/MSDS-POTASA\\_CAUSTICA.pdf](http://www.corquiven.com.ve/esp/MSDS/MSDS-POTASA_CAUSTICA.pdf)
- [32] Instituto de Investigaciones Oceanológicas (2005). *Hoja de datos de seguridad de ácido clorhídrico*. Recuperado de: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ácido\\_clorhidrico.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ácido_clorhidrico.pdf)
- [33] Instituto de Investigaciones Oceanológicas (2001). *Hoja de datos de seguridad de ácido sulfúrico*. Recuperado de: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ácido\\_sulfurico.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ácido_sulfurico.pdf)
- [34] Gtm holdings (2014). *Hoja de datos de seguridad de cloruro de níquel*. Recuperado de: <http://www.gtm.net/images/industrial/c/CLORURO%20DE%20NIQUEL.pdf>
- [35] Brisco (2011). *Hoja de datos de seguridad de hipofosfito de sodio*. Recuperado de: <http://www.brisco.com.br/fispq/hipofosfito-de-sodio.pdf>
- [36] Instituto de Investigaciones Oceanológicas (2006). *Hoja de datos de seguridad de cloruro de amonio*. Recuperado de: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/cloruro\\_de\\_amonio.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/cloruro_de_amonio.pdf)
- [37] Instituto de Investigaciones Oceanológicas (2006). *Hoja de datos de seguridad de citrato de sodio*. Recuperado de: <http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/CITRAT0%20De%20sodio.pdf>
- [38] Corquiven (2001). *Hoja de datos de seguridad de potasa caustica*. Recuperado de: [http://www.corquiven.com.ve/esp/MSDS/MSDS-POTASA\\_CAUSTICA.pdf](http://www.corquiven.com.ve/esp/MSDS/MSDS-POTASA_CAUSTICA.pdf)

- [39] Díaz Peñalver, N. (2000). *Manual de gestión de los residuos especiales de la Universidad de Barcelona*. Barcelona: publicaciones de la universitat de Barcelona, España.
- [40] BioAmp. (2011) *soluciones ecológicas en el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de: <http://www.bioamp.es/grease-traps>
- [41] Lenntech. (2016). *Tratamiento de lodos –deshidratación*. Recuperado de: <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-deshidratacion.htm>
- [42] Dideval (2010). *Hoja de datos de seguridad de acetona*. Recuperado de: <http://www.dideval.com/pdf/seguridad/ACETONA.pdf>
- [43] T3. Quimica (2001). *Hoja de datos de seguridad de percloroetileno*. Recuperado de: [http://www.t3quimica.com/pdfs/160i\\_percloroetileno.pdf](http://www.t3quimica.com/pdfs/160i_percloroetileno.pdf)
- [44] Labbox (2011). *Hoja de datos de seguridad de hidróxido de sodio*. Recuperado de: [https://www.labbox.com/FDS/ES/ES\\_\\_Sodium%20hydroxide%20concentrated%20to%20prepare%201L%20of%20solution%201%20molL%20N\\_SOHY-1C0-1K0\\_FDS\\_20110331\\_\\_LABKEM\\_.pdf](https://www.labbox.com/FDS/ES/ES__Sodium%20hydroxide%20concentrated%20to%20prepare%201L%20of%20solution%201%20molL%20N_SOHY-1C0-1K0_FDS_20110331__LABKEM_.pdf)
- [45] UACJ (2011). *Hoja de datos de seguridad de hidróxido de potasio*. Recuperado de: <http://www.uacj.mx/IIT/CICTA/Documents/Ácidos/Hidroxido%20de%20Potasio.pdf>
- [46] Gtm holdings (2014). *Hoja de datos de seguridad de ácido clorhídrico*. Recuperado de: <http://www.gtm.net/images/industrial/a/ÁCIDO%20CLORHIDRICO.pdf>
- [47] Biblioteca duoc uc (2016). *Hoja de datos de seguridad de ácido sulfúrico*. Recuperado de: [http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/INGENIERIA\\_PREVENCION/Ficha\\_quimica\\_ácido\\_sulfurico.pdf](http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/esco/INGENIERIA_PREVENCION/Ficha_quimica_ácido_sulfurico.pdf)
- [48] Gtm holdings (2016). *Hoja de datos de seguridad de ácido sulfúrico*. Recuperado de: <http://www.gtm.net/images/industrial/a/ÁCIDO%20SULFURICO.pdf>
- [49] Ecosur (2014). *Recolección, Transporte y Disposición final de Residuos Industriales, Patogénicos, Especiales y Peligrosos*. Recuperado de: <http://ecosur.net/Tratamiento/tratamient.htm>
- [50] Geocycle (2010). *Geocycle El salvador*. Recuperado de: <http://www.geocycle.com.sv/>

- [51] UIS (2012). *Protocolo de seguridad química, Manipulación segura de sustancias químicas*. Recuperado de:  
[https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/gestion\\_ambiental/protocolos/TTH.01.pdf](https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/gestion_ambiental/protocolos/TTH.01.pdf)

# ANEXOS

## ANEXO A

### FORMATO DEL PERFIL DEL RESIDUO DE GEOCYCLE EL SALVADOR

<b>Geocycle</b> <b>El Salvador</b>	<b>Formato COG P 001_F01</b>  <b>Perfil de Residuos</b>	Fecha:
		Versión: 00 Página: 1 de 2 No. Correlativo de perfil: <i>Llenado por Geocycle</i>
Código(s) RESRDP: Código NU: <i>Llenado por Geocycle</i>		
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		
Descripción del residuo o desecho:	Representante legal:	
PCS (Código interno): <i>a ser llenado por Geocycle</i>	Dirección de oficinas:	
Proceso en que se genera: deposición autocatalítica de Ni-P	Dirección de instalaciones:	
Propietario / generador: UES	Teléfono / Fax:	71850260
Cantidad generada / u. de tiempo	e-mail:	<a href="mailto:rober_6780@hotmail.com">rober_6780@hotmail.com</a>
Frecuencia de entrega:	Nombre de contacto técnico:	Carlos Velasquez
Cantidades estimadas por entrega: 11.25 galones	Código del cliente (split):	<i>a ser llenado por Geocycle</i>

<b>CARACTERIZACIÓN</b>					
Si se dispone de hojas de seguridad (MSDS) y/o resultados de análisis de las sustancias que originan los residuos o desechos, por favor adjúntelos a esta ficha e indique a continuación los datos relevantes:					
<b>Estado físico:</b> Líquido: <input checked="" type="checkbox"/> Lodo o Pasta: <input type="checkbox"/> Granular o Polvo: <input type="checkbox"/> Sólido: <input type="checkbox"/>					
<b>Tipo de embalaje / contenedor en que se almacena:</b>					
Barriles: <input type="checkbox"/>		Bolsas plásticas: <input type="checkbox"/>			
Cubetas: <input type="checkbox"/>		Sacos: <input type="checkbox"/>			
Tanques (IBCs): <input type="checkbox"/>		Big bags: <input type="checkbox"/>			
Granel: <input type="checkbox"/>		Cajas: <input type="checkbox"/>			
		Otros: <input type="checkbox"/>		Describe: _____	
<b>Descripción de la(s) sustancia(s) de la(s) que proviene el residuo o desecho:</b>					
Componentes principales	Función / Uso	Concentración	No.CAS	No. Naciones Unidas	Punto de Inflamabilidad (°C)
cloruro de níquel	fuelle de metal	21 gramos/litro			
hipofosfito de sodio	agente reductor	24 gramos/litro			
cloruro de amonio	agente acomplejante	30 gramos/litro			
citrate de sodio	agente estabilizador	45 gramos/litro			
hidroxido de potasio	agente retenedor	100 gramos/litro			
agua destilada	solvente	880 gramos/litro			
<b>Características químicas y físicas del residuo o desecho:</b>					
Poder Calorífico (MJ/kg):		Metales (especifique unidad)			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ):					
Humedad (%):					
Viscosidad (cP):					
pH:	7.9				
Radioactividad (µSv):					
Punto de inflamabilidad (°C):		Color característico:	verde claro		
Azufre (%):		Olor característico:			
Cloro (%):		Otras (especificar):			

DATOS DE SEGURIDAD	
<p><b>Riesgos en la manipulación</b> Favor marcar la(s) casilla(s) si el residuo o desecho presenta alguno(s) de los siguientes factores de riesgo adicionales a los indicados a la derecha:</p> <p>Explosivo <input type="checkbox"/></p> <p>Generación de gases en general <input type="checkbox"/></p> <p>Sustancias reactivas con el aire <input type="checkbox"/></p> <p>Reactivos con el agua <input type="checkbox"/></p> <p>Peróxidos orgánicos <input type="checkbox"/></p> <p>Sustancias tóxicas <input type="checkbox"/></p> <p>Sustancias infecciosas <input type="checkbox"/></p> <p>Dañinos al medio ambiente <input type="checkbox"/></p> <p>Riesgo por polimerización <input type="checkbox"/></p> <p>Riesgos específicos del residuo o desecho:</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p><b>Azul / Salud</b></p> <p>4. <b>Muy corta exposición: Muerte o daño permanente</b></p> <p>3. <b>Corta exposición: daño temporal o permanente</b></p> <p>2. <b>Exposición intensa o continua: daño temporal o daño permanente</b></p> <p>1. <b>Irritación, daños residuales menores</b></p> <p>0. <b>Sin peligro</b></p> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p><b>Rombo NFPA</b></p> </div> <div style="width: 30%;"> <p><b>Rojo / Inflamabilidad</b></p> <p>4. <b>Volátiles. Flash point &lt; 23°C</b></p> <p>3. <b>Líquidos y sólidos inflamables. Flash Point entre 23 y 38°C</b></p> <p>2. <b>Debe calentarse para arder. Flash Point entre 39 y 93°C</b></p> <p>1. <b>Debe precalentarse para arder. Flash Point &gt; 93°C</b></p> <p>0. <b>No combustible</b></p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p><b>Blanco / Especial</b></p> <p>'W' - reacción peligrosa con agua</p> <p>'OX' - oxidante</p> <p>'COR' - corrosivo</p> <p>'ACID' - ácido</p> <p>'ALK' - base</p> <p>'BIO' - Peligro biológico</p> <p>'CRYO' - Criogénico</p> <p> - Radiactivo</p> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p><b>Amarillo / Reactividad</b></p> <p>4. <b>Explosivo a temperatura y presión normal</b></p> <p>3. <b>Explosivo ante agente iniciador, calentamiento o por reacción con agua.</b></p> <p>2. <b>Inestable, pueden sufrir cambios químicos violentos</b></p> <p>1. <b>Inestable si sometido a presiones y temperaturas elevadas o por contacto con agua</b></p> <p>0. <b>Estable</b></p> </div>

RESIDUOS Y DESECHOS PROHIBIDOS
<p>Con la firma abajo, el representante del generador hace constar que el residuo y/o desechos descrito en este perfil no contiene desechos hospitalarios anatómicos, desechos que contengan asbesto, baterías enteras o baterías enteras trituradas, desechos biológicos peligrosos, desechos metálicos de artefactos electrónicos, explosivos, desechos con más de 1000 ppm de cianuros, ácidos minerales puros, desechos con más de 10µSv de radiactividad y/o basura municipal sin clasificar.</p> <p style="text-align: center;">_____ Nombre y firma de representante del Generador</p>

<p>El Salvador S.A. de C.V.</p>	<p>Formato SIG.0001</p> <p><b>Perfil de Residuos y Desechos</b></p>	<p>Fecha:</p> <p>Versión: 00</p> <p>Página: 2 de 2</p> <p>No. Consecutivo de perfil:</p>																																																																										
INCOMPATIBILIDAD																																																																												
<p>Marque con una "x" la casilla de la izquierda si en los residuos o desechos se encuentran las sustancias siguientes:</p>																																																																												
<p>Marcar</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>Grupos de sustancias</th> <th>Grupos incompatibles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>1 Ácidos inorgánicos</td><td>2,3,4,5,6,7,8,10,11,13,14,16,17,18,19,21,22,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>2 Ácidos orgánicos</td><td>1,3,4,7,14,16,17,18,19,22</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>3 Alcalis</td><td>1,2,6,7,8,13,14,15,16,17,18,20,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>4 Aminas y Alcanolaminas</td><td>1,2,5,7,8,13,14,15,16,17,18,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>5 Compuestos halogenados</td><td>1,3,4,11,14,17</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>6 Alcoholes, Glicoles y Glicoles</td><td>1,7,14,16,20,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>7 Aldehídos y Acetaldehídos</td><td>1,2,3,4,6,8,15,16,17,19,20,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>8 Cetonas</td><td>1,3,4,7,19,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>9 Hidrocarburos saturados</td><td>20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>10 Hidrocarburos aromáticos</td><td>1,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>11 Alquenos, Olefinas</td><td>1,5,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>12 Aceites de petróleo</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>	#	Grupos de sustancias	Grupos incompatibles	<input type="checkbox"/>	1 Ácidos inorgánicos	2,3,4,5,6,7,8,10,11,13,14,16,17,18,19,21,22,23	<input type="checkbox"/>	2 Ácidos orgánicos	1,3,4,7,14,16,17,18,19,22	<input type="checkbox"/>	3 Alcalis	1,2,6,7,8,13,14,15,16,17,18,20,23	<input type="checkbox"/>	4 Aminas y Alcanolaminas	1,2,5,7,8,13,14,15,16,17,18,23	<input type="checkbox"/>	5 Compuestos halogenados	1,3,4,11,14,17	<input type="checkbox"/>	6 Alcoholes, Glicoles y Glicoles	1,7,14,16,20,23	<input type="checkbox"/>	7 Aldehídos y Acetaldehídos	1,2,3,4,6,8,15,16,17,19,20,23	<input type="checkbox"/>	8 Cetonas	1,3,4,7,19,20	<input type="checkbox"/>	9 Hidrocarburos saturados	20	<input type="checkbox"/>	10 Hidrocarburos aromáticos	1,20	<input type="checkbox"/>	11 Alquenos, Olefinas	1,5,20	<input type="checkbox"/>	12 Aceites de petróleo	20	<p>Marcar</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>Grupos de sustancias</th> <th>Grupos incompatibles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>13 Esteres</td><td>1,3,4,19,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>14 Monómeros y Ester polimerizables</td><td>1,2,3,4,5,6,15,16,19,20,21,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>15 Fenoles</td><td>3,4,7,14,16,19,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>16 Oxidos de alquilos</td><td>1,2,3,4,6,7,14,15,17,18,19,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>17 Cianidrinás</td><td>1,2,3,4,5,7,16,19,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>18 Nitrilos</td><td>1,2,3,4,16,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>19 Amoníaco</td><td>1,2,7,8,13,14,15,16,17,20,23</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>20 Halógenos</td><td>3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,19,21,22</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>21 Eteres</td><td>1,14,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>22 Fósforo</td><td>1,2,3,20</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>23 Anhídridos ácidos</td><td>1,3,4,6,7,14,16,17,18,19</td></tr> </tbody> </table>	#	Grupos de sustancias	Grupos incompatibles	<input type="checkbox"/>	13 Esteres	1,3,4,19,20	<input type="checkbox"/>	14 Monómeros y Ester polimerizables	1,2,3,4,5,6,15,16,19,20,21,23	<input type="checkbox"/>	15 Fenoles	3,4,7,14,16,19,20	<input type="checkbox"/>	16 Oxidos de alquilos	1,2,3,4,6,7,14,15,17,18,19,23	<input type="checkbox"/>	17 Cianidrinás	1,2,3,4,5,7,16,19,23	<input type="checkbox"/>	18 Nitrilos	1,2,3,4,16,23	<input type="checkbox"/>	19 Amoníaco	1,2,7,8,13,14,15,16,17,20,23	<input type="checkbox"/>	20 Halógenos	3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,19,21,22	<input type="checkbox"/>	21 Eteres	1,14,20	<input type="checkbox"/>	22 Fósforo	1,2,3,20	<input type="checkbox"/>	23 Anhídridos ácidos	1,3,4,6,7,14,16,17,18,19
#	Grupos de sustancias	Grupos incompatibles																																																																										
<input type="checkbox"/>	1 Ácidos inorgánicos	2,3,4,5,6,7,8,10,11,13,14,16,17,18,19,21,22,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	2 Ácidos orgánicos	1,3,4,7,14,16,17,18,19,22																																																																										
<input type="checkbox"/>	3 Alcalis	1,2,6,7,8,13,14,15,16,17,18,20,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	4 Aminas y Alcanolaminas	1,2,5,7,8,13,14,15,16,17,18,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	5 Compuestos halogenados	1,3,4,11,14,17																																																																										
<input type="checkbox"/>	6 Alcoholes, Glicoles y Glicoles	1,7,14,16,20,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	7 Aldehídos y Acetaldehídos	1,2,3,4,6,8,15,16,17,19,20,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	8 Cetonas	1,3,4,7,19,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	9 Hidrocarburos saturados	20																																																																										
<input type="checkbox"/>	10 Hidrocarburos aromáticos	1,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	11 Alquenos, Olefinas	1,5,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	12 Aceites de petróleo	20																																																																										
#	Grupos de sustancias	Grupos incompatibles																																																																										
<input type="checkbox"/>	13 Esteres	1,3,4,19,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	14 Monómeros y Ester polimerizables	1,2,3,4,5,6,15,16,19,20,21,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	15 Fenoles	3,4,7,14,16,19,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	16 Oxidos de alquilos	1,2,3,4,6,7,14,15,17,18,19,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	17 Cianidrinás	1,2,3,4,5,7,16,19,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	18 Nitrilos	1,2,3,4,16,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	19 Amoníaco	1,2,7,8,13,14,15,16,17,20,23																																																																										
<input type="checkbox"/>	20 Halógenos	3,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,19,21,22																																																																										
<input type="checkbox"/>	21 Eteres	1,14,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	22 Fósforo	1,2,3,20																																																																										
<input type="checkbox"/>	23 Anhídridos ácidos	1,3,4,6,7,14,16,17,18,19																																																																										

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD	
<b>Describa el equipo de protección personal (EPP) recomendado para manipular estos residuos o desechos:</b>	
Protección respiratoria:	Calzado:
Protección de los ojos:	Guantes:
Protección de la piel/cuerpo:	Otros (describa):
Protección de la cabeza:	
<b>Condiciones para almacenamiento seguro</b>	
Materiales/contenedores/condiciones apropiados:	
Materiales/contenedores/condiciones a evitar:	
<b>Condiciones para transporte seguro</b>	
Condiciones apropiadas:	
Condiciones a evitar:	
<b>Medidas en caso de incendio</b>	
Medios de extinción / medidas apropiados:	
Medios de extinción / condiciones a evitar:	
<b>Medidas en caso de derrame</b>	
Medidas apropiadas:	
Medidas / condiciones a evitar:	
<b>Recomendaciones de primeros auxilios en caso de exposición:</b>	
<p>Por este medio hago constar que: 1) Soy un representante autorizado del generador de los residuos o desechos incluidos en este perfil y garantizo en nombre del generador que con los datos proporcionados en este perfil de residuos y desechos y en cualquier otro anexo o suplemento proporcionado se ha entregado toda la información disponible y no se ha ocultado información sobre estos residuos o desechos. 2) Se ha revelado todos los riesgos ocasionados o sospechados por los residuos o desechos; 3) Haré saber a Geocycle si existe cualquier cambio en el residuo o desecho que modifique las indicaciones reflejadas en este perfil, en las características generales, o en las indicaciones de seguridad.</p>	
_____	_____
Nombre y firma de representante del Generador	Nombre y firma de Técnico Comercial - Geocycle El Salvador