

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“Eliminación del cianuro presente en aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Químico

Elaborado por

Ivan Alessio Dionicio Parra

 [0009-0007-0478-9909](https://orcid.org/0009-0007-0478-9909)

Asesor

MSc. Teodardo Javier Cárdenas Mendoza

 [0009-0002-3377-7476](https://orcid.org/0009-0002-3377-7476)

TOMO I DE I

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Dionicio Parra [1]
Referencia/Reference	[1] I. Dionicio Parra, “ <i>Eliminación del cianuro presente en aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Dionicio, 2025)
Referencia/Reference	Dionicio, I. (2025). <i>Eliminación del cianuro presente en aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis abuelos y a mi padre quienes se encuentran descansando en el cielo.

A mi madre por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A mis abuelos, tíos y primos quienes siempre nos apoyaron.

A mis padres por priorizar la educación sobre otras cosas.

Al Kung Fu, básquet, box y ajedrez por mantenerme siempre vivo.

A mis libros de ficción, aventura, drama, romance, terror, filosofía, cuentos, política y clásicos por permitirme viajar desde la historia misma hasta mundos totalmente insospechados y alucinantes.

Resumen

El sector joyería en el Perú, específicamente las exportaciones de joyas de oro y plata, ha crecido solo 14% en los últimos 20 años, siendo muy poco comparado con otros sectores como las exportaciones de paltas que creció 5,000% en el mismo periodo. Para impulsar el sector, se requieren de cambios para mejorar la productividad, la calidad de las joyas, la reducción de insumos requeridos, cambios por materias primas más económicas, etc. Un tema que arrastra complicaciones económicas a la producción de joyas son sus aguas residuales, las cuales tienen un alto contenido de cianuro total (250 mg/L) y, eso las obliga a contratar servicios de empresas especializadas que disponen las aguas residuales en rellenos sanitarios para residuos peligrosos. A la empresa ARIN S.A. dichos servicios le cuestan 200,000 soles al año.

El presente Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional propone el diseño y ejecución de un sistema de eliminación del cianuro, utilizando el método de oxidación con peróxido de hidrógeno, oxígeno del aire presurizado y un catalizador de sulfato de cobre. El sistema resultó un éxito, logrando que las aguas residuales tengan un contenido de cianuro total menor a 1 mg/L cumpliendo así, con las normas medioambientales del estado peruano. El sistema también resultó viable económicamente porque se gastan aproximadamente 16,000 soles en insumos químicos, quedando como saldo a favor 184,000 soles de ahorro al año.

Palabras clave: Eliminación del cianuro, joyería peruana, cianuro total, peróxido de hidrógeno.

Abstract

The jewelry sector in Peru, specifically gold and silver jewelry exports, has grown only 14% in the last 20 years, very little compared to other sectors such as avocado exports, which grew 5,000% in the same period. To boost the sector, changes are required to improve productivity, the quality of jewelry, the reduction of required inputs, changes to cheaper raw materials, etc. An issue that causes economic complications for jewelry production is its wastewater, which has a high total cyanide content (250 mg/L) and this forces them to hire services from specialized companies that dispose of wastewater in landfills for hazardous waste. To the company ARIN S.A. These services cost 200,000 soles a year.

This Professional Proficiency Work Report proposes the design and execution of a cyanide elimination system, using the oxidation method with hydrogen peroxide, oxygen from pressurized air and a copper sulfate catalyst. The system was a success, ensuring that the wastewater had a total cyanide content of less than 1 mg/L, thus complying with the environmental standards of the Peruvian state. The system was also economically viable because approximately 16,000 soles were spent on chemical inputs, leaving a balance of 184,000 soles of savings per year.

Keywords: Cyanide elimination, Peruvian jewelry, total cyanide, hydrogen peroxide.

Tabla de Contenido

1.1	Actividad principal.....	1
1.2	Sector industrial al que pertenece.....	1
1.3	Líneas de productos	1
1.3.1	Unidad de Negocio Bangles	1
1.3.2	Unidad de Negocio Cadena a Mano	2
1.3.3	Unidad de Negocio Cadena Máquina	2
1.3.4	Unidad de Negocio Cadena Máquina-Ropes	2
1.3.5	Unidad de Negocio Casting	3
1.3.6	Unidad de Negocio Elaborados	3
1.3.7	Unidad de Negocio Intermedios.....	3
1.3.8	Servicios.....	4
1.4	Filosofía administrativa	4
1.4.1	Visión.....	4
1.4.2	Misión	4
1.4.3	Valores	4
1.4.4	Política de responsabilidad social	5
1.5	Cultura organizacional	6
1.6	Estructura funcional	7
1.7	Normatividad empresarial	8
1.8	Principios de calidad	9
1.9	Sistema de seguridad industrial	9
1.10	Gestión de impactos ambientales	11
2.1	Contexto laboral.....	12
2.2	Descripción de cargos y funciones.....	12
2.2.1	Supervisor de Turno:	12
2.2.2	Jefe de Áreas Químicas:.....	13
2.3	Personal a su cargo y sus responsabilidades	14
2.4	Función ejecutiva y/o administrativa adicional	14
2.5	Cronograma de actividades realizadas como bachiller	15
3.1	Contexto laboral en el área de trabajo	16
3.1.1	Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar	16
3.1.2	Conocimientos técnicos requeridos para el cumplimiento de las funciones	16
3.1.3	Participación en actividades complementarias.....	19
3.2	Hechos relevantes de la actividad técnica	21
3.2.1	Descripción de la realidad problemática	21
3.2.2	Definición del problema general y secundarios.....	22

3.2.3	Justificación e importancia.....	23
3.2.4	Antecedentes nacionales e internacionales	23
3.2.5	Objetivo general y específicos	25
3.3	Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos.....	26
3.3.1	Materias primas	26
3.3.2	Booming	36
3.3.3	Aleaciones.....	37
3.3.4	Industria de la joyería	38
3.3.5	Joyería en el Perú.....	43
3.3.6	Proceso de producción de una joya	46
3.3.7	Balance de Masa	54
3.3.8	Métodos de recuperación de oro	57
3.4	Propuesta y contribuciones de su formación profesional	64
3.4.1	Objetivos y justificación del uso de las técnicas propuestas	64
3.4.2	Cálculos y determinaciones para evaluar y monitorear la propuesta.....	65
3.4.3	Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de solución	70
3.4.4	Evaluaciones y decisiones tomadas	72
3.4.5	Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos	72
4.1	Contribuciones al desarrollo de la empresa	75
4.2	Impacto de la propuesta (Económico, tecnológico y ambiental)	75
5.1	Conclusiones	77
5.2	Recomendaciones	77
	Anexo 1: Certificado laboral Arin S.A.....	81
	Anexo 2: Certificado laboral Aris Industrial S.A.	82
	Anexo 3: Vistas del Diseño 1	83
	Anexo 4: Vistas del Diseño 2.....	84
	Anexo 5: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 1	85
	Anexo 6: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 2	86
	Anexo 7: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 3	87
	Anexo 8: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 4	88
	Anexo 9: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 5	89
	Anexo 10: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 6	90
	Anexo 11: Resultados del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. 1	91
	Anexo 12: Resultados del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. 2	92

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Personal a cargo y sus responsabilidades</i>	14
Tabla 2 <i>Funciones administrativas</i>	15
Tabla 3 <i>Cronograma de actividades</i>	15
Tabla 4 <i>Principales países productores de oro en el 2023</i>	27
Tabla 5 <i>Empresas mineras de producción de oro en el Perú durante el 2023</i>	28
Tabla 6 <i>Producción de oro en el Perú por departamentos durante el 2023</i>	28
Tabla 7 <i>Propiedades físicas del oro</i>	29
Tabla 8 <i>Principales países productores de plata en el 2023</i>	29
Tabla 9 <i>Empresas mineras de producción de plata en el Perú durante el 2023</i>	30
Tabla 10 <i>Producción de plata en el Perú por departamentos durante el 2023</i>	31
Tabla 11 <i>Propiedades físicas de la plata</i>	31
Tabla 12 <i>Propiedades físicas de los principales metales aleantes</i>	32
Tabla 13 <i>Propiedades físicas del peróxido de hidrógeno</i>	32
Tabla 14 <i>Propiedades físicas del sulfato de cobre</i>	33
Tabla 15 <i>Propiedades físicas del oxígeno</i>	33
Tabla 16 <i>Propiedades físicas del cianuro de sodio</i>	34
Tabla 17 <i>Valores máximos admisibles para efluentes industriales</i>	36
Tabla 18 <i>Diferentes leyes y sus metales aleantes</i>	38
Tabla 19 <i>Principales países exportadores de joyas en el 2023</i>	39
Tabla 20 <i>Principales países importadores de joyas en el 2023</i>	40
Tabla 21 <i>Países a los cuales el Perú exportó joyas durante el 2023</i>	45
Tabla 22 <i>Principales empresas peruanas exportadoras de joyas durante el 2023</i>	46
Tabla 23 <i>Pesos de diferentes metales para producir 1,010 g de cadena 030 10K</i>	47
Tabla 24 <i>Métodos de eliminación del cianuro en aguas residuales cianuradas</i>	65
Tabla 25 <i>Resultados de análisis de CN⁻ por K.W. Química Germana S.A.C.</i>	70

Tabla 26	<i>Resultados de cianuro total y libre por Servicios Analíticos Generales S.A.C. ..</i>	71
Tabla 27	<i>Costos por insumos del Diseño 2</i>	75

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Organigrama Arin S.A.</i>	7
Figura 2 <i>Columnas de carbón activado</i>	20
Figura 3 <i>Recirculación automática del carbón activado</i>	21
Figura 4 <i>Países productores de oro del 2023</i>	27
Figura 5 <i>Países productores de plata en el 2023</i>	30
Figura 6 <i>Diagrama de equilibrio CN^-/HCN con el pH</i>	35
Figura 7 <i>Principales países exportadores de joyas en el 2023</i>	39
Figura 8 <i>Principales países importadores de joyas en el 2023</i>	40
Figura 9 <i>Izquierda, cadena de oro de 10K. Derecha, cadena de oro de 14K</i>	41
Figura 10 <i>Izquierda, pulsera de oro diamantada. Derecha, pulsera de oro con perlas.</i>	41
Figura 11 <i>Izquierda, aretes de oro amarillo y blanco. Derecha, aretes de oro tricolor</i>	42
Figura 12 <i>Izquierda, anillo de oro. Derecha, anillo de plata bañado en oro con circón</i>	42
Figura 13 <i>Izquierda, dije de oro con circones. Derecha, dije de plata bañado en oro</i>	43
Figura 14 <i>Tumba del Señor de Sipán</i>	44
Figura 15 <i>Tendencia de las exportaciones de joyas peruanas</i>	45
Figura 16 <i>Horno de inducción IECO</i>	47
Figura 17 <i>Laminadora de barras</i>	48
Figura 18 <i>Horno de caja</i>	48
Figura 19 <i>Izquierda, Tren de laminado I. Derecha, Tren de laminado II</i>	49
Figura 20 <i>Máquina trefiladora</i>	49
Figura 21 <i>Máquina argollera</i>	50
Figura 22 <i>Cadena tejida 030 10K</i>	51
Figura 23 <i>Cadena 030 10K siendo soldada</i>	52
Figura 24 <i>Cadenas 030 10K con broches</i>	52
Figura 25 <i>Cadenas 030 10K en una cabina de lavado Booming</i>	53

Figura 26 Cadenas 030 10K puliéndose en una máquina Violi	54
Figura 27 Balance de masa de 1kg de cadenas 030 10K parte I	55
Figura 28 Balance de masa de 1kg de cadenas 030 10K parte II	56
Figura 29 Balance de masa de 1kg de cadenas 030 10K parte III	57
Figura 30 Horno a gas de Recuperaciones.....	58
Figura 31 Celda electrolítica $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+} // \text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$	59
Figura 32 Máquina de recuperación electrolítica Boom1.....	61
Figura 33 Mecanismo de precipitación del oro	62
Figura 34 Representación del tamaño de los poros en un carbón activado	63
Figura 35 Diseño N°1, IBC de 1000L de eliminación de cianuro	68
Figura 36 Diseño N°2, IBC de 1000L de eliminación de cianuro	69
Figura 37 Reportes diarios de mermas en la sección Booming.....	73
Figura 38 Reportes mensuales de mermas en la sección Booming.....	74

Capítulo I. Datos generales de la empresa donde laboró como bachiller

1.1 Actividad principal

Arin S.A. se dedica principalmente a la producción y exportación de joyas de oro y plata. También ofrece servicios de baños galvánicos, refinación, limpieza de joyas y análisis por copelación. Fue fundada en 1986 y realizó su primera exportación hacia Estados Unidos en 1987. Los principales países a los cuales exporta son Estados Unidos, Venezuela, México, Ecuador, Bolivia, Inglaterra, Alemania, Austria, Italia, Hungría y España. Actualmente, la planta de producción se localiza en el distrito limeño de Chorrillos y cuenta con un aproximado de trescientos trabajadores.

1.2 Sector industrial al que pertenece

Arin S.A. con RUC 20100078369 es una empresa peruana del rubro joyería. Produce joyas de oro y plata principalmente para la exportación, posicionado como líder en la industria joyera del país, recibiendo premios al mejor exportador joyero durante muchos años. Obtuvo la cifra de US\$36 millones valor FOB durante el 2023, según el Ranking de Empresas Exportadoras ADEX 2022-2023.

1.3 Líneas de productos

Arin S.A. tiene siete unidades de negocios en las cuales se producen una gran variedad de productos y servicios.

1.3.1 Unidad de Negocio Bangles

Producen joyas de oro y plata como las pulseras, los anillos y los aretes. Son fabricadas a partir de láminas, las cuales se enrollan y se sueldan para posteriormente ser cortadas y adquirir diversas formas según el diseño determinado. A continuación, se mencionará el anillo y los bangles más comercializados.

- Anillo Flex 2 mm. Al.Ang. Pul 10 K. Flex 2

- Bangles 5/16 Liv Al.Ang. Pul 14 K. Lengueta 5/16-Bisagra 5-00-1.50 mm-Botón00-Leng
- Bangles 4/16 Liv Al.Ang. Pul 14 K.00-Botón 00-Lengueta 001-Lengueta 4/16-Bisagra 4

1.3.2 Unidad de Negocio Cadena a Mano

Producen joyas de oro y plata de cadenas realizadas a mano. Son fabricadas a partir de argollas, las cuales se tejen, se sueldan, se le colocan broches y finalmente se someten a procesos de abrillantamiento. A continuación, se mencionarán los productos más comercializados.

- Rope 030 " D/C C/B 14 K. CHRL9-FP3
- Rope 035 " D/C C/B 14 K. CHR11-FP4
- Rope 040 " Pes. D/C C/B 14 K. CHP13-FP6

1.3.3 Unidad de Negocio Cadena Máquina

Producen joyas de oro y plata de cadenas realizadas por una máquina especializada. Son fabricadas a partir de alambrones, los cuales son tejidos y soldados por una máquina automática, se les colocan broches y finalmente se someten a procesos de abrillantamiento. A continuación, se mencionarán los productos más comercializados.

- VE 053 Al. AU-OR(b) D/C C/B 14 K. SR5-MBB4
- VE 028 D/C C/B PUL 14 K. Sp. ring 5-Qual.tag MBB 4
- Spike 025 C/B PUL 14 K. Qual.tag MBB 4-CHR 8

1.3.4 Unidad de Negocio Cadena Máquina-Ropes

Producen joyas de oro y plata de cadenas realizadas por una máquina especializada en cadenas cordón. Son fabricadas a partir de alambrones, los cuales son tejidos y soldados por una máquina automática, se les colocan broches y finalmente se someten a procesos de abrillantamiento. A continuación, se mencionarán los productos más comercializados.

- Rope 016 " D/C C/B 14 K. CHRL8-FP2.5

- Rope 018 " D/C C/B 14 K. CHRL8-FP2.5
- Rope 023 " D/C C/B 14 K. CHRL9-FP2.5

1.3.5 Unidad de Negocio Casting

Producen joyas de oro y plata de diversos tipos de joyas según el diseño requerido. Son fabricadas a partir de moldes de cera colocados en árboles, se vierte el metal fundido el cual reemplazará a la cera, dando forma a la joya requerida. Finalmente se corta la joya del árbol y se le dan unos retoques finales. A continuación, se mencionarán los productos más comercializados.

- Dije Art 819 Small Plata 925 Art 819
- Anillo Fancy 307 Pul 14 K. Fancy 307-Diamante 2.50
- Dije Cruz 415 (QC10182) Pul Plateado Plata 925 Cruz 415-Oval 018

1.3.6 Unidad de Negocio Elaborados

Producen joyas de oro y plata que tienen un nivel de detalle elevado. Son fabricadas de forma manual y abarcan una gran variedad de productos como los aretes, pulseras, cadenas, dijes, etc. A continuación, se mencionarán los productos más comercializados.

- G 060 Plana DC C/B PUL 10 K. G 060-Cajón Garibaldi 060-Portaleng Garibaldi 060
- G 070 " Plana DC C/B PUL 10 K. G 070-Cajón Garibaldi 070-Portaleng Garibaldi 070
- G 085 " Plana DC C/B PUL 10 K. G 085-G 185-Portaleng Garibaldi 185-Cajón Garibaldi

1.3.7 Unidad de Negocio Intermedios

Abastecen de accesorios a las joyas de oro y plata de todas las unidades de negocio. Los accesorios son los broches, candados, palitos, etc. A continuación, se mencionarán los productos más comercializados.

- EC FP 4 Nac. C/B 10 K
- Z EC FP 3 A Tombola 0 K
- EC FP 10 Nac. Rojo Can. 10 K

1.3.8 Servicios

Arin S.A. ofrece servicios a otras joyerías o empresas minero-metalúrgicas, las cuales van desde recubrimientos galvánicos hasta análisis por copelación. A continuación, se muestran los servicios ofrecidos.

- Baño Galvánico
- Refinado
- Limpieza de joyas
- Análisis de Laboratorio

1.4 Filosofía administrativa

1.4.1 Visión

Liderar la industria de joyería en el Perú y aumentar nuestra presencia en los cinco continentes marcando la diferenciación en diseño, innovación y tecnología para el año 2025 (Arin S.A., 2024).

1.4.2 Misión

Trabajar con dedicación y pasión en la fabricación de joyas, cuidando el medio ambiente y reflejando la innovación y calidad en nuestros productos. Creemos en el liderazgo industrial responsable, actuando en armonía con nuestros grupos de interés (Arin S.A., 2024).

1.4.3 Valores

Arin S.A. promueve valores que deben practicarse tanto en el trabajo como en el hogar, son valores esenciales para la buena convivencia y para lograr alcanzar los objetivos deseados.

- Honestidad: La honestidad debe orientar y asegurar nuestras operaciones de manera transparente entre colaboradores, clientes, autoridades y grupos de interés. Buscamos que todos nuestros actos se guíen por la decencia y sinceridad.
- Orden y Limpieza: El orden es sistematización, transparencia, ahorro y, sobre todo, bienestar y progreso. La limpieza, hermana del orden, es el complemento perfecto

para un rendimiento superior. Ambos deben verse reflejados en cada lugar de nuestra empresa y de nuestro hogar.

- Eficiencia: El hacer más con los mismos recursos o, lo mismo con menos recursos, es el camino directo a la prosperidad. La búsqueda permanente de la eficiencia está en nuestro ADN.
- Creatividad e Innovación: La concepción de algo original nos remite a nuestra creatividad, la implementación de esta creación con aporte de valor para los demás, nos remite a la innovación. Consideramos como prioritarias la creatividad e innovación en cada uno de nuestros productos y procesos.
- Calidad: Nuestros clientes deben percibir en todos los productos, procesos y servicios que brindamos, el resultado de los programas de calidad interiorizados e implementados por cada uno de nosotros.
- Trabajo en Equipo: Los objetivos comunes se logran en base al esfuerzo conjunto entre colaboradores. La coordinación, cooperación y solidaridad son elementos clave para que el trabajo en equipo logre las metas a las que aspira nuestra organización.
- Responsabilidad Social: Somos una empresa que promueve el desarrollo de prácticas transparentes comprometiéndonos a hacernos responsables de los impactos que nuestras decisiones y actividades ocasionen a la sociedad.
- Respeto al Medio Ambiente: Estamos firmemente comprometidos con la protección del medio ambiente. Nuestros procesos logísticos y productivos deben reflejar en cada etapa dicho compromiso.

1.4.4 Política de responsabilidad social

En Arin S.A. constantemente innovamos para generar un menor impacto en el medio ambiente. Estamos comprometidos en preservar y cuidar el lugar donde nos encontramos. Por ello, se busca que todas las máquinas generen menos porcentaje de desecho. Además, contamos con un área especializada para eliminar los desechos tóxicos y así evitar la contaminación del agua (Arin S.A., 2024).

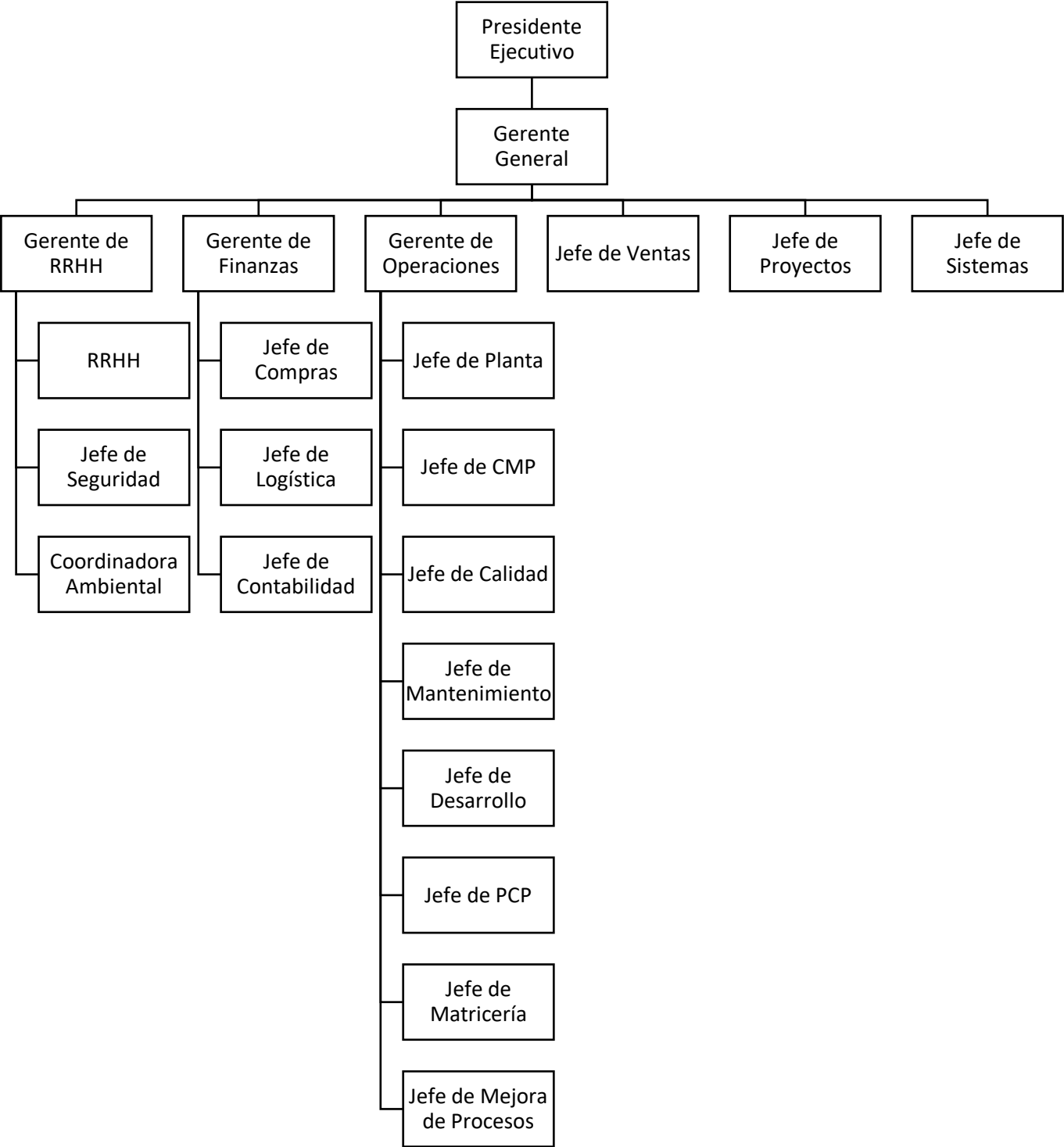
1.5 Cultura organizacional

Arin S.A. ejecuta acciones diarias con un elevado compromiso por garantizar la satisfacción y la confianza de sus clientes, ofreciendo joyas que cumplen objetivamente los requisitos, siendo estas procesadas con la tecnología apropiada y el personal competente, basándose en la Mejora Continua de cada uno de sus procesos, permitiendo así, ser sinónimo de Calidad y Confianza en el ámbito interno y externo de su compañía (Arin S.A., 2024).

A continuación, se presenta la Figura 1 en donde se aprecia la estructura funcional de Arin S.A. con formada por el presidente ejecutivo, el gerente general, los gerentes medios y las jefaturas respectivas.

1.6 Estructura funcional

Figura 1
Organigrama Arin S.A.



1.7 Normatividad empresarial

Arin S.A. trabaja en base a normas, leyes, resoluciones ministeriales y decretos supremos establecidos por diversas instituciones del estado, se mencionarán las más importantes.

- “Ley 26842, Ley general de salud” (Ley 26842, 1997)
- “Ley 29783, Ley de seguridad y Salud en el Trabajo” (Ley 29783, 2011)
- “D.S. N° 005-2012-TR, Reglamento de seguridad y salud en el trabajo” (D.S. N° 005-2012-TR, 2020)
- “Resolución Ministerial N° 090-97-TR, Crean Registro de Entidades Empleadoras que desarrollan Actividades de Alto Riesgo” (R.M. N° 090-97-TR, 1997)
- “Decreto Supremo N° 015-2005-SA, Aprueban reglamento sobre valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo” (D.S. N° 015-2005-SA, 2006)
- “Resolución Ministerial N° 375-2008-TR, Aprueban norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico” (R.M. N° 375-2008-TR, 2008)
- “RM N° 050-2013-TR Aprueban Formatos Referenciales que contemplan la información mínima que deben contener los registros obligatorios del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo” (R.M. N° 050-2013-TR, 2013)
- “Resolución Ministerial N° 245-2021-TR, que aprueba el documento denominado: Procedimiento para la elección de los/las representantes de los/las trabajadores/as ante el Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo; el Subcomité de Seguridad y Salud en el Trabajo, de ser el caso; o, del/de la Supervisor/a de Seguridad y Salud en el Trabajo” (R.M. N° 245-2021-TR, 2021)
- “DS N° 003-98-SA APRUEBAN NORMAS TÉCNICAS DEL SEGURO COMPLEMENTARIO DE TRABAJO DE RIESGO” (DS N° 003-98-SA, 1998)
- “Ley N° 28806, Ley General de Inspección del Trabajo” (Ley N° 28806, 2006)

- “Decreto Supremo N° 003-97-TR, TUO del Decreto Legislativo N° 728, Ley de Productividad y Competitividad Laboral” (D.S. N° 003-97-TR, 1997)

1.8 Principios de calidad

Arin S.A. posee principios de calidad que deben ser utilizados por todos los trabajadores de la empresa y también por las empresas socias. Los principios de calidad establecen las bases que permitirán la satisfacción del cliente final.

- Cumplir con todos los requisitos, tanto los expresados por nuestros clientes, como los solicitados por las normas vigentes nacionales e internacionales.
- Mantener y mejorar en forma continua los procesos de Calidad orientados a obtener cero defectos y cero desperdicios.
- Capacitar, concientizar, comprometer y motivar a nuestro personal a lograr un avance profesional continuo y promover el trabajo en equipo.
- Crear e innovar, como parte de nuestro reto diario.
- Cumplir con ética e integridad personal, como expresión de disciplina, orden, respeto, honestidad y entusiasmo.
- Asegurar que los proveedores externos cumplan con nuestros requisitos establecidos.
- Implementar medidas de control necesarias para evitar la materialización de los riesgos de la Gestión de Calidad, mejorando continuamente la eficacia de nuestro sistema.
- Asegurar el crecimiento, desarrollo y permanencia de la empresa.

1.9 Sistema de seguridad industrial

Arin S.A. pertenece al rubro joyería y como tal, tiene procesos con riesgos a la seguridad en ciertas áreas del proceso productivo; debido a ello, Arin S.A. posee un sistema de seguridad industrial que se basa en la prevención y el control de riesgos. El sistema de seguridad industrial analiza cada proceso productivo en su respectivo puesto de trabajo, se identifican los riesgos asociados y sus posibles consecuencias a la salud e

integridad de los trabajadores. Con los riesgos identificados, se procede a armar la matriz de riesgos por proceso, de tal forma que se controlan los riesgos y se previenen los accidentes ocupacionales.

A continuación, se mencionan algunos puntos adicionales de control y seguridad industrial:

- Estabilizadores de corriente, UPS y puesta a tierra: Todo equipo eléctrico está propenso a fallas y/o cortos circuitos, el uso de estabilizadores y puesta a tierra es fundamental para la protección del equipo mismo y de los trabajadores.
- Mapas de riesgos: Son esenciales y permiten identificar gráficamente las zonas de mayor riesgo dentro de un lugar determinado.
- Extintores contra incendios: Es importante identificar los tipos de insumos o maquinaria presente para poder escoger el extintor adecuado, los más comerciales son los extintores de PQS, CO₂ y agua.
- Kits antiderrames: Están presentes para contener la gran mayoría de derrames de forma rápida y efectiva, mientras se piensa en cómo recogerlo, desecharlo o recuperar el material derramado.
- Fumigaciones periódicas: Se realizan eventualmente por motivos de salud ocupacional, como prevención y para eliminar posibles plagas estacionarias.
- Instructivos y procedimientos de trabajo: Se tienen instructivos y procedimientos de trabajo en cada sección como conocimiento escrito, los cuales sirven para que los trabajadores nuevos puedan capacitarse adecuadamente.
- Charlas de seguridad en el trabajo: Se realizan para concientizar a los trabajadores a realizar sus labores teniendo en cuenta siempre la seguridad. Las charlas se realizan eventualmente y quedan registradas en el sistema de seguridad industrial.
- Epps especializados por área: Cada área tiene epps destinados según el tipo de trabajo que realizan. Los tipos de epps son casco, lentes, máscara antigases, full face, guantes, zapatos, vestimenta y careta.

1.10 Gestión de impactos ambientales

Arin S.A. tiene una gestión de impactos ambientales que se desarrolla mediante el programa de monitoreo ambiental, el cual se realiza de manera semestral. Se considera la medición y evaluación de la Calidad del Aire, Niveles de Ruido Ambiental, Niveles de Ruido Ocupacional y Efluentes Industriales. Las muestras y mediciones tomadas son analizadas por un laboratorio acreditado por INACAL. Los parámetros que se controlan son los siguientes:

- Calidad del aire: Se controlan las concentraciones de material particulado PM₁₀, SO₂, NO₂ y CO. También se registran la temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.
- Ruido ambiental: Se determinan los niveles de ruido ambiental, provocado Arin S.A. en los alrededores de la empresa.
- Ruido ocupacional: Se determinan los niveles de ruido ocupacional dentro de las instalaciones de la empresa, provocado durante el desarrollo de la actividad laboral.
- Efluentes industriales: Se controlan las concentraciones de diversos compuestos y metales presentes en los efluentes industriales como los aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, cloruro, cianuro total, sólidos sedimentables, metales totales, etc.

Capítulo II. Cargos y funciones desarrolladas como bachiller

2.1 Contexto laboral

Como bachiller en ingeniería química, laboré en 2 empresas importantes: Aris Industrial S.A. como Supervisor de Turno y Arin S.A. como Jefe de Áreas Químicas. En ambas empresas pude aprender mucho sobre sus procesos y, una vez aprendidos, empecé a indagar sobre cómo poder mejorarlos, realizando el benchmarking con empresas nacionales y/o extranjeras, utilizando las 5S, el Lean Manufacturing y la Mejora Continua. La mejora más importante y de mayor impacto económico y ambiental fue la de “Eliminación del cianuro presente en aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería” realizada en Arin S.A. la cual se detallará más adelante en el presente informe.

2.2 Descripción de cargos y funciones

2.2.1 *Supervisor de Turno:*

El cargo de Supervisor de Turno lo tuve cuando laboraba en Aris Industrial S.A. Se supervisaron 3 plantas manufactureras de Sulfato de Aluminio, Azufre y PUM; y 2 plantas automatizadas de Ácido Sulfónico. Se mencionará brevemente lo que se produce en cada planta.

- Planta Sulfato de Aluminio: Se produce sulfato de aluminio mediante el hidróxido de aluminio, agua y ácido sulfúrico al 64%.
- Planta Azufre: Se produce el azufre en pellets y se muele hasta obtener una malla 325.
- Planta PUM: Se produce el coagulante PAC mediante el ácido sulfúrico, cloruro de aluminio y aluminio en granallas.
- Planta de Ácido Sulfónico 1 y 2: Plantas automatizadas controladas desde una sala de control. El ácido sulfónico se produce mediante el LAB y el SO₃ en un reactor multitubular.

Las funciones principales del cargo, se detallan a continuación:

- Supervisión del proceso productivo de 3 plantas manufactureras: Sulfato de Aluminio, Azufre y PUM.
- Supervisión del proceso productivo de 2 plantas automatizadas de Ácido Sulfónico.
- Asegurar el abastecimiento de materias primas y embalaje de las 5 plantas durante toda la jornada laboral.
- Gestión del personal entre ayudantes, operarios, técnicos electricistas y mecánicos.
- Programar y coordinar el mantenimiento preventivo con el área de Mantenimiento.
- Control de los parámetros de operación: presión, temperatura, pH, frecuencia, concentración, densidad y granulometría.
- Control de calidad de la materia prima, producto intermedio y producto final.
- Presentación de reportes de producción e incidentes de seguridad.

2.2.2 Jefe de Áreas Químicas:

El cargo de Jefe de Áreas Químicas lo tengo hasta la actualidad, mientras trabajo en Arin S.A. Estoy a cargo de las áreas químicas de Booming, Recuperaciones, Refinería y Galvánica. Se mencionará brevemente la actividad que se realiza en cada planta.

- Booming: Se le da el brillo característico a la joya de oro mediante una reacción de booming usando cianuro de sodio y peróxido de hidrógeno.
- Recuperaciones: Área encargada de recuperar los retales de oro de todas las secciones de la empresa.
- Refinería: Se refinan las barras de oro ley 50% hasta una ley de 99.96%.
- Galvánica: Se realiza el baño galvánico de oro 24K a las joyas de plata.

Las funciones principales del cargo, se detallan a continuación:

- Supervisar las áreas químicas de Booming, Recuperaciones, Galvánica y Refinería.
- Balance de masa, control y recuperación del oro en forma de retales, polvo y residuos diversos.
- Definición y control de los parámetros de operación: temperatura, pH, concentración, ley, voltaje, amperaje y frecuencia.
- Gestión del personal entre operarios, técnicos electricistas y mecánicos.

- Programar y coordinar el mantenimiento preventivo con el área de Mantenimiento.
- Reducción de las mermas de oro.
- Eliminación del cianuro presente en las aguas residuales.
- Reporte diario de las recuperaciones de oro en Booming.

2.3 Personal a su cargo y sus responsabilidades

En la Tabla 1 se detalla el puesto de trabajo, el personal a cargo y sus respectivas responsabilidades.

Tabla 1

Personal a cargo y sus responsabilidades

Puesto	Personal a cargo	# Personas turno	Responsabilidad
Supervisor de Turno	Operario de Sulfato	1	Preparar insumos y manejar el reactor
	Ayudante de Sulfato	4	Controlar las válvulas y coser sacos
	Operario de Azufre	1	Manejar las máquinas
	Ayudante de Azufre	2	Coser sacos y colocarlos en pallets
	Operario de PUM	1	Preparar insumos y manejar el reactor
	Ayudante de PUM	1	Llenar cisternas y cilindros
	Operario Ácido Sulfónico 1 y 2	2	Manejar insumos y llenar cisternas y cilindros
Jefe de Áreas Químicas	Encargado de Booming	1	Manejar la parte administrativa
	Operario de Booming	5	Lavar y dar brillo a las joyas de oro
	Jefe de Recuperaciones y Refinería	1	Manejar la parte administrativa
	Operario de Recuperaciones	6	Recuperar y fundir retales
	Operario de Refinería	1	Refinar oro de 50% ley
	Jefe de Galvánica	1	Manejar la parte administrativa
	Operario de Galvánica	4	Bañar galvánicamente joyas de plata

2.4 Función ejecutiva y/o administrativa adicional

Las labores administrativas a realizar como Supervisor de Turno y Jefe de Áreas Químicas, incluyen la coordinación con las distintas áreas que apoyan a la parte productiva. También incluyen la realización de instructivos, procedimientos, reportes de producción, mermas y seguridad. Las reuniones con gerencia y con las áreas de proyectos con el fin de planear y ejecutar las diversas mejoras y/o proyectos que se realizan para el mismo año y para el próximo año.

En la Tabla 2 se resumen las funciones administrativas por puesto de trabajo.

Tabla 2*Funciones administrativas*

Puesto	Función administrativa
Supervisor de Turno	Coordinar el abastecimiento de materias primas y embalaje
	Coordinar con las áreas de Mantenimiento, Almacén y Calidad
	Elaboración de instructivos y procedimientos
	Elaborar reportes de producción e incidentes de seguridad
Jefe de Áreas Químicas	Elaborar reportes diarios de mermas en Booming
	Elaboración de instructivos y procedimientos
	Coordinar con las áreas de Mantenimiento, Almacén, Calidad, PCP y Proyectos
	Controlar los pedidos de insumos químicos

2.5 Cronograma de actividades realizadas como bachiller

Como bachiller en Ingeniería Química, laboré como Supervisor de Turno desde febrero del 2018 hasta septiembre del 2021 en la empresa Aris Industrial S.A. Actualmente trabajo como Jefe de Áreas Químicas desde abril del 2022 en la empresa Arin S.A.

En la Tabla 3 se detalla el cronograma con las actividades realizadas como Bachiller en Ingeniería Química. Los certificados de trabajo sustentatorios se muestran en el Anexo 1 y 2.

Tabla 3*Cronograma de actividades*

Puesto	Periodo
Supervisor de Turno	05/02/2018 - 07/09/2021
Jefe de Áreas Químicas	25/04/2022 - Actualidad

Capítulo III. Desarrollo de la actividad técnica y aplicación profesional

3.1 Contexto laboral en el área de trabajo

Siendo bachiller en ingeniería química tengo el cargo de Jefe de Áreas Químicas en la empresa Arin S.A. las cuales abarcan las áreas de Booming, Refinería, Galvánica y Recuperaciones; dichas áreas son críticas y sensibles debido a que trabajan con insumos químicos fiscalizados, por ende, debe de haber supervisión constante de las operaciones y de cómo los trabajadores se desenvuelven en ellas. La mejora continua de las operaciones es primordial en la empresa y es por ello que se mencionarán más adelante algunas de las mejoras en donde pude ser líder o participante.

3.1.1 *Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar*

Las tareas y obligaciones por cumplir demandan conocimientos sobre procesos químicos industriales debido a que la empresa busca mejorar su productividad, reducir las mermas de oro, mejorar la calidad de sus productos, disminuir costos operativos y ser más amigables con el medio ambiente.

A continuación, se detallan las principales labores asociadas al tema a desarrollar:

- Control del balance de masa de oro y reducción de sus mermas.
- Control de los parámetros de operación de los procesos.
- Supervisión y seguimiento de las labores realizadas por los operarios.
- Eliminación del cianuro presente en las aguas residuales.
- Redacción e implementación de instructivos y procedimientos.
- Control y tratamiento de los vapores emitidos en los procesos.
- Coordinación con laboratorios externos para verificación.

3.1.2 *Conocimientos técnicos requeridos para el cumplimiento de las funciones*

Para poder realizar las funciones determinadas como jefe de áreas químicas, se necesitan conocimientos y una base profesional sólida que permitan resolver los principales problemas relacionados a los procesos químicos. Los principales

conocimientos técnicos requeridos y, que se estudian en pregrado de ingeniería química, son los siguientes:

- Economía y organización de la empresa: Toda mejora o proyecto a realizarse debe ser económicamente rentable, se deben analizar todos los costos relacionados al nivel de infraestructura, horas-hombre, horas-máquina, consumo de agua, consumo de luz, consumo de aire, etc.
- Estadística aplicada: Es una herramienta muy útil para analizar datos, con el fin de detectar tendencias pasadas y futuras, para poder predecirlas y tomar la decisión adecuada.
- Balance de materia y energía: El balance de materia es fundamental en todo proceso, sobre todo si la materia es tan valiosa como lo son el oro y la plata en el rubro de la joyería. El balance de energía también es fundamental debido a los altos costos en electricidad y consumo de combustibles.
- Análisis químico: Los análisis químicos nos proporcionan datos reales sobre la situación en la que se encuentra un proceso químico, si la calidad del producto es el adecuado o si los niveles de cierto componente sobrepasan el máximo permitido.
- Realidad nacional constitución y derechos humanos: Las normas y leyes que las instituciones del estado establecen son para ser respetadas por todo ciudadano y también por todas las empresas.
- Industria de los procesos químicos: Tener los conocimientos base de los procesos químicos son fundamentales para el correcto desempeño profesional en las áreas químicas de la empresa.
- Ciencias de los materiales: Conocer los distintos tipos de materiales como los aceros inoxidables 316 y 304, los materiales como el pvc o el polipropileno son fundamentales para poder trabajar con distintos insumos químicos.
- Cinética química y diseño de reactores: El conocer sobre cinética química es importante para el mejor control de los procesos como saber qué tipo de catalizador utilizar.

- Instrumentos de control: La automatización industrial es el presente en toda industria, es por ello que se deben de conocer los instrumentos de control que se tienen en la planta o se podrían implementar en el futuro.
- Economía de los procesos: Analizar los costos en insumos químicos, así como en energía e infraestructura son fundamentales. También es importante el factor productividad, como mejorar el tiempo de ciclo y ser más eficientes los procesos.
- Seguridad en procesos químicos industriales: Siendo la seguridad el factor más importante en la industria, es necesario conocer los diferentes sistemas de control de seguridad en los procesos como el uso de válvulas de alivio de presión.
- Gestión tecnológica y empresarial: El uso de tecnologías vigentes y emergentes en la industria es fundamental si se quiere estar en la vanguardia. Las herramientas gerenciales también son importantes para guiar a la organización mediante estrategias.
- Planeamiento y control de la producción: Son factores clave en la producción mediante la correcta planificación para optimizar los procesos.
- Simulación y control de procesos: La simulación para mejorar los procesos y el control de los mismos es fundamental para el correcto funcionamiento de las plantas químicas.
- Diseño de plantas: Debido a que el mundo cambia constantemente, las necesidades del cliente también, es por ello que resulta importante ser capaz de proponer, diseñar e implementar plantas con el apoyo de un equipo especializado.
- Electroquímica industrial: La electroquímica es aplicada en el área de Galvánica a través de los baños galvánicos en donde se realizan recubrimientos de oro sobre las joyas de plata.
- Tratamiento de agua industrial: Las aguas que se emplean son desionizadas, se deben de controlar adecuadamente porque de no ser el caso, se podría echar a perder una producción entera.

- Tratamiento de efluentes industriales: Los efluentes industriales deben ser tratados adecuadamente para cumplir con las normas de las instituciones del estado y las normas medioambientales propias de la empresa.

3.1.3 Participación en actividades complementarias

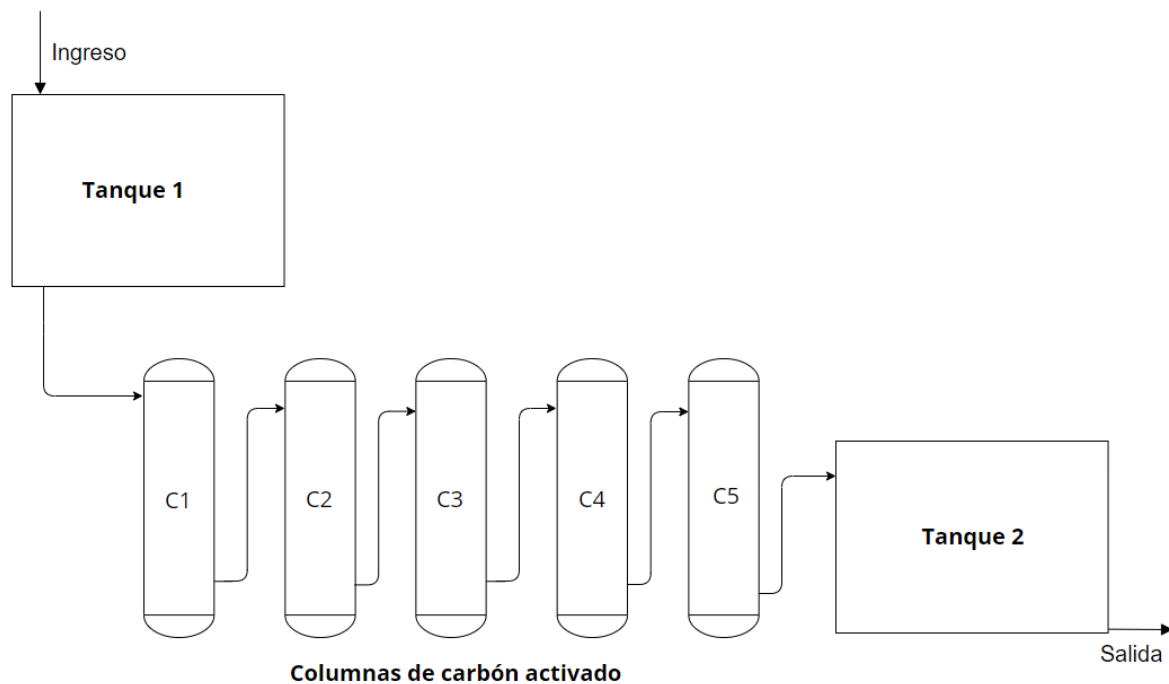
Como bachiller en ingeniería química, soy partícipe de varias actividades complementarias y/o proyectos de mejora continua. A continuación, se mencionará un proyecto en donde participé como líder de proyecto.

3.1.3.1 Recirculación automática del carbón activado

Participación: Líder del proyecto.

El proceso de carbón activado consiste en recuperar el oro presente en las aguas cianuradas que contienen oro en solución, dichas aguas tienen en promedio 1 mg/L de oro. Como se puede apreciar en la Figura 2, el ingreso de las aguas se dirige hacia el Tanque 1 de 500 litros de capacidad en donde después caen por gravedad a través de 5 columnas de pvc que contienen carbón activado (cada columna tiene una capacidad de 15 kg) hasta llegar al Tanque 2 de 500 litros de capacidad en donde se almacenan temporalmente. Finalmente, en el Tanque 2, dichas aguas llegan a tener una concentración de 0.8 mg/L de oro, por lo tanto, el carbón activado tiene una eficiencia de recuperación del 20%.

Figura 2
Columnas de carbón activado

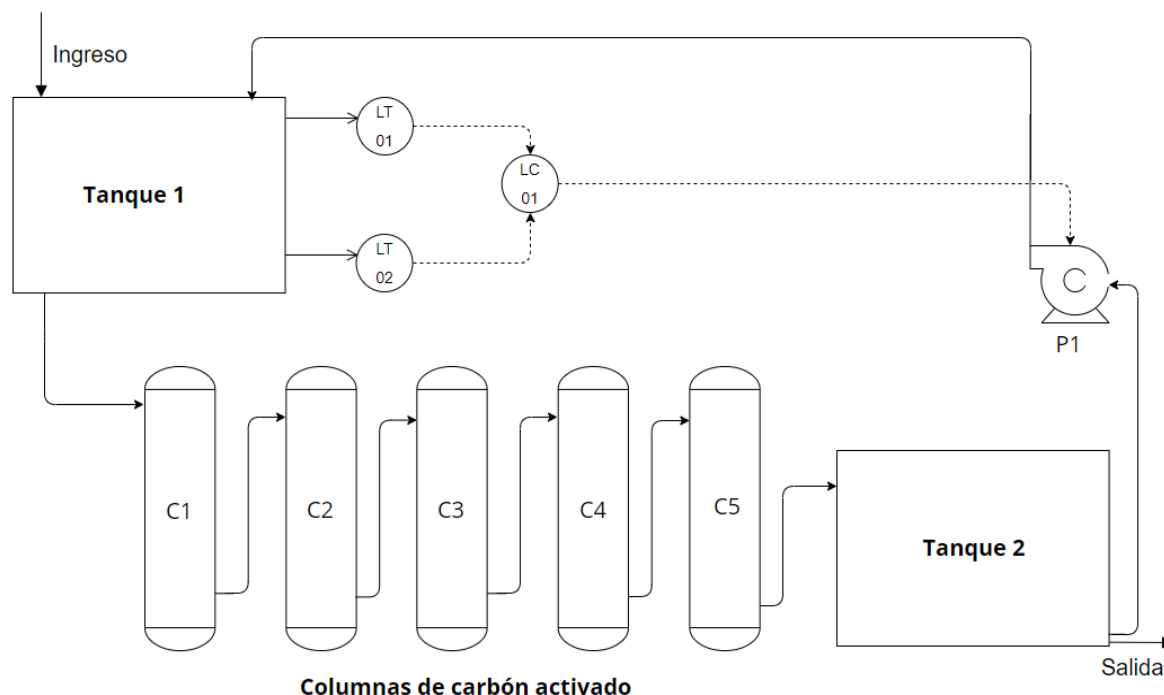


El objetivo del proyecto es recuperar la mayor cantidad de oro posible, es decir, que la concentración de aguas áuricas sean mucho menores que 0.8 mg/L y eso se puede lograr automatizando el proceso de carbón activado mediante la recirculación.

En la Figura 3 se aprecia el proceso de recirculación del carbón activado en forma automática, en el cual se agregaron una bomba centrífuga P1, dos transmisores de nivel LT01 y LT02, por último, un controlador de nivel LC01. El proceso inicia cuando el Tanque 1 está lleno de aguas, las cuales caen por gravedad a través de las 5 columnas hasta llegar al Tanque 2. Cuando las aguas del Tanque 1 llegan al nivel del transmisor LT02, éste da una señal eléctrica al controlador LC01, el cual le da la orden a la bomba P1 para que se encienda y bombee las aguas del Tanque 2 hacia el Tanque 1. Cuando las aguas del Tanque 1 llegan hasta el nivel del transmisor LT01, éste da una señal eléctrica al controlador LC01, el cual le da la orden a la bomba P1 para que se apague.

Nuevamente las aguas del Tanque 1 bajan hasta el nivel del transmisor LT02 para que se encienda la bomba, repitiéndose el mismo proceso de recirculación de aguas.

Figura 3
Recirculación automática del carbón activado



Luego de recircular automáticamente por alrededor de 4 horas, se obtuvo que la concentración de oro de las aguas prácticamente se mantuvo constante a 0.2 mg/L. En conclusión, la eficiencia de recuperación de oro mediante la recirculación automática alcanzó el 80%, generando un ahorro equivalente a S/11,000.00 anuales.

3.2 Hechos relevantes de la actividad técnica

3.2.1 Descripción de la realidad problemática

El proceso de producción de joyas de Arin S.A. inicia en la sección de Fundición, en donde se producen los lingotes y alambrones en aleaciones de 9K, 10K, 14K y 18K formadas por oro, plata, cobre, zinc, indio, cobalto, etc. Continúa en la sección de Máquinas en donde se laminan los lingotes y se trefilan los alambrones, a partir de ahí el material puede ir por diversas áreas con el fin de obtener una gran variedad de joyas como: collares, aretes, pulseras, anillos, dijes, etc.

Durante todo el proceso productivo, la joya ha sido sometida a mucho trabajo manual como el soldado de las cadenas, la colocación de dijes y candados; resultando en una joya oxidada y sin el brillo característico que debería de tener. Las 2 últimas secciones

del proceso productivo se encargan de resolver el problema, dándoles el brillo característico a las joyas. La sección de Booming se encarga de dar brillo a las joyas que son de tipos cadenas, pulseras y demás similares. La sección de Pulido se encarga de dar brillo principalmente a los aretes y dijes.

En la sección de Booming se les da el brillo a las joyas mediante una reacción química exotérmica llamada “Booming”, la cual consiste en el decapado superficial de la joya con el uso del peróxido de hidrógeno (35%) y una solución de cianuro de sodio (25 g/L). Como producto del Booming, se obtiene una joya con brillo de alta calidad.

Como subproducto del Booming se tienen las aguas áuricas (oro en solución cianurada) que tienen una concentración de oro de 1.5 g/L. La cantidad de aguas áuricas que se generan mensualmente son 15,000 litros; entonces tendríamos 22.5 kg de oro en solución, dicho oro se recupera mediante 3 procesos: Electrólisis, Merrill-Crowe y Carbón Activado.

Después de que las aguas áuricas fueron recuperadas, se tienen aproximadamente 15,000 litros de aguas cianuradas residuales, las cuales tienen una concentración de cianuro total de 248.5 mg/L y 223.7 mg/L de cianuro libre. Dichas aguas no pueden ser vertidas al alcantarillado debido a que sobrepasan el valor máximo admisible para efluentes industriales de cianuro total que es 1 mg/L, por consiguiente, Arin S.A. paga un alto precio a una empresa especializada para que dispongan de dichas aguas cianuradas.

3.2.2 Definición del problema general y secundarios

Para poder dar un brillo de alta calidad a ciertos tipos de joyas, es necesario darles Booming, sin embargo, tenemos el problema de no poder desechar las aguas directamente al desagüe por sus elevadas concentraciones de cianuro total. A continuación, se definen 1 problema general y 3 problemas secundarios.

3.2.2.1 Problema general

- ¿En qué medida un diseño de eliminación del cianuro mejora la disposición de las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería?

3.2.2.2 Problemas secundarios

- ¿En qué medida un diseño de eliminación del cianuro reduce el cianuro presente en las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería?
- ¿En qué medida un diseño de eliminación del cianuro evita el almacenamiento de 15,000 litros mensuales de aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería?
- ¿En qué medida un diseño de eliminación del cianuro genera ahorros en la disposición de aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería?

3.2.3 Justificación e importancia

Las políticas y normas de trabajo de Arin S.A. establecen el compromiso de cuidar el medioambiente responsablemente, en concordancia con las normas y leyes establecidas por las instituciones del estado peruano. Por lo cual, el tratamiento de las aguas residuales cianuradas tiene una prioridad alta.

Arin S.A. contrata los servicios de un proveedor especializado que dispone las aguas cianuradas en rellenos sanitarios para residuos peligrosos, costando aproximadamente 200,000 soles al año.

La importancia del presente informe radica en diseñar un sistema de tratamientos de efluentes industriales que elimine el cianuro presente en las aguas residuales provenientes de la sección Booming. Si se logra eliminar el cianuro de las aguas, es decir, conseguir que la concentración de cianuro total sea menor o igual a 1 mg/L, el sistema sería un éxito en términos medioambientales y económicos.

3.2.4 Antecedentes nacionales e internacionales

Con el fin de poder resolver los problemas hallados en el presente trabajo, se realizó una revisión de los métodos de eliminación del cianuro que están vigentes en la actualidad. A continuación, se mencionan los 3 métodos más importantes.

3.2.4.1 Método de eliminación por electrocoagulación. Durante (2016) en su investigación tuvo como objetivo evaluar el proceso de electrocoagulación en flujo continuo con el fin de remover el cianuro presente en las aguas residuales provenientes de una mina de oro. La metodología utilizada tuvo un enfoque cuantitativo – experimental.

En los resultados, según su modelo, se obtuvo una remoción máxima estimada del cianuro de 79.5% para una distancia entre electrodos de 2.7 cm, un tiempo de retención hidráulico de 300.6 segundos y un ph 11. Se validó el modelo y se concluyó que para las condiciones de distancia entre electrodos de 2.7 cm, tiempo de retención hidráulico 300 segundos y ph 11, la remoción máxima del cianuro presente en las aguas residuales fue de 74.9%.

3.2.4.2 Método de eliminación con peróxido de hidrógeno. Vargas (2016) en su investigación tuvo como objetivo evaluar 3 métodos de eliminación del cianuro presente en las aguas residuales de una mina de oro. La metodología utilizada tuvo un enfoque cuantitativo – experimental.

En los resultados a nivel laboratorio, se obtuvo que el método de oxidación con peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre como catalizador tuvo una eficiencia de eliminación del cianuro del 99.79%. Mientras que los métodos de oxidación con peróxido de hidrógeno y tratamiento con ácido de caro (ácido peroxosulfúrico H_2SO_5) tuvieron una eficiencia del 99.74% y 99.76% respectivamente. Se validó el método usando peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre como catalizador y se concluyó que a las condiciones de 20 mL de peróxido de hidrógeno y 10 mL de sulfato de cobre se eliminó el 99.98% de 770 ppm de cianuro total presente en 1,2 litros de aguas residuales.

3.2.4.3 Método de eliminación con bacterias. Bambague (2017) en su investigación tuvo como objetivo evaluar el proceso de bioremediación con el fin de remover el cianuro presente en las aguas residuales provenientes de una mina de oro. La metodología utilizada tuvo un enfoque cuantitativo – experimental.

En los resultados, se obtuvo que las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* con una concentración de 6.0×10^{11} UFC/mL, pH 10.2, temperatura ambiente y 72 horas pudo remover el 84% del cianuro presente en las aguas residuales. Las bacterias *Pseudomonas fluorescens*, bajo las mismas condiciones, pudo remover el 40% del cianuro. El cultivo mixto de *Pseudomonas aeruginosa* y *fluorescens*, bajo las mismas condiciones, pudo remover el 30% del cianuro. Por lo tanto, se concluyó que el uso de las bacterias *Pseudomonas aeruginosa* bajo las condiciones de 6.0×10^{11} UFC/mL, pH 10.2, temperatura ambiente y 72 horas alcanzó la máxima remoción del cianuro presente en las aguas residuales, el cual fue de 84%.

De los tres antecedentes mostrados, resalta el método de eliminación con peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre como catalizador, debido a su alta eficiencia comprobada. Más adelante, se realizará una comparación con más detalle entre los tres métodos.

3.2.5 *Objetivo general y específicos*

A continuación, se presentan un objetivo general y 3 objetivos específicos.

3.2.5.1 Objetivo general

- Diseñar un proceso de eliminación del cianuro para mejorar la disposición de las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería.

3.2.5.2 Objetivos específicos

- Escoger un método de eliminación del cianuro para mejorar la disposición de las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería.
- Definir el proceso de eliminación del cianuro presente en las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería.

- Validar el proceso de eliminación del cianuro presente en las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería.

3.3 Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos

Dentro de la industria de la joyería, se manejan conceptos sobre metales, aleaciones, quilates, abrillantamiento, etc., que son necesarios estudiar para poder comprenderla, una vez comprendida, se pueden plantear y/o ejecutar mejoras en las diferentes etapas del proceso productivo. Las mejoras pueden ser sobre productividad, calidad, seguridad y medioambiente; que al final pueden resultar en un beneficio en cuestión de tiempo y dinero.

3.3.1 Materias primas

Una joya está conformada por metales preciosos y metales aleantes. Una joya no puede ser 100% oro ni 100% plata porque no tiene las propiedades mecánicas adecuadas, se pueden quiñar, romper, oxidar o maltratar mucho más rápido que una joya conformada por metales preciosos y aleantes.

Mencionaremos las principales materias primas en la industria de la joyería.

3.3.1.1 Metales preciosos. Los metales preciosos son aquellos que son escasos y caros, tienen múltiples aplicaciones en joyería, telecomunicaciones, automovilística e industrias en general. Los metales preciosos también suelen ser llamados metales nobles debido a que no reaccionan con facilidad ante cualquier agente externo. Los más conocidos son el oro, plata, platino, paladio y rodio; nos enfocaremos en el oro y la plata.

3.3.1.1.1 Oro. El oro ha estado presente en la vida del hombre antiguo y moderno. En la Mitología griega tenemos a Hefesto, dios de los herreros, artesanos, escultores, metales y la metalurgia; quien fabricó la égida de Zeus, el cinturón de Afrodita, la armadura de Aquiles, el arco y las flechas de Eros, entre otros. En la Biblia, Daniel 2:32 “La cabeza de esta imagen era de oro fino; su pecho y sus brazos, de plata; su vientre y sus muslos, de bronce. Éxodo 25:24 “Y la cubrirás de oro puro y le harás una cornisa de oro alrededor”.

El oro siempre fue anhelado y codiciado en Egipto, India, Roma y en todo el mundo antiguo, fue la razón de muchas conquistas a lo largo de la historia. Actualmente, el oro es

una reserva internacional, un refugio de valor que poseen los bancos centrales de los países; también es ampliamente utilizado en diversas industrias como la automovilística, joyería, medicina, electrónica, telecomunicaciones y aeroespacial.

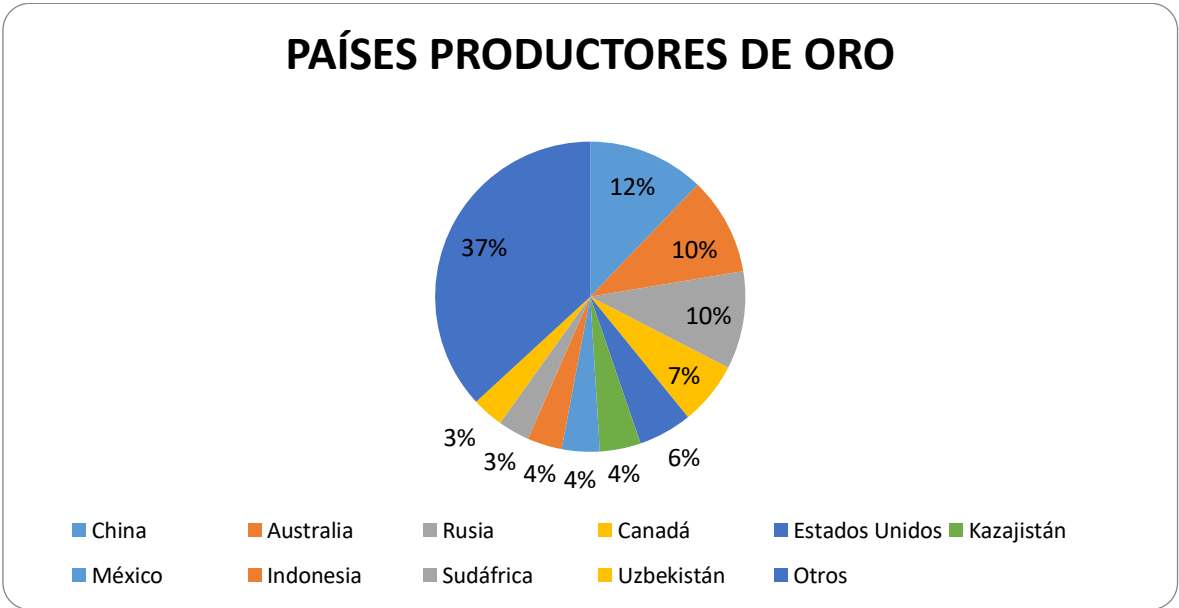
Recientemente, en el año 2023, el mayor productor mundial de oro fue China con 370 toneladas, seguido por Australia con 310 toneladas y Rusia con 310 toneladas (ver Tabla 4). Los tres países representan el 32% de la producción mundial de oro (ver Figura 4)

Tabla 4
Principales países productores de oro en el 2023

País	Producción de oro (TON)
China	370
Australia	310
Rusia	310
Canadá	200
Estados Unidos	170
Kazajistán	130
México	120
Indonesia	110
Sudáfrica	100
Uzbekistán	100
Otros	1,120

Fuente: (World Gold Council, 2023)

Figura 4
Países productores de oro del 2023



Fuente: (World Gold Council, 2023)

En el Perú se produjeron 99,725.996 kg de oro durante el 2023 entre grandes empresas mineras y titulares mineros, que se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5

Empresas mineras de producción de oro en el Perú durante el 2023

Empresa	Producción de oro (KG)
MINERA YANACocha S.R.L.	8575
COMPañIA MINERA PODEROSA S.A.	8383
CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.R.L.	6317
MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.	6112
MINERA BOROO MISQUICHILCA S.A.	5463
COMPañIA MINERA ARES S.A.C.	4489
SHAHUINDO S.A.C.	4444
GOLD FIELDS LA CIMA S.A.	3955
MINERA VETA DORADA S.A.C.	3952
COMPañIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	3890
Otros (275 titulares mineros)	44,146

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas / Boletín Estadístico Minero, 2023)

El departamento del Perú que más produjo oro durante el 2023 fue La Libertad con 34 toneladas, seguido por Arequipa con 22 toneladas y Cajamarca con 19 toneladas (ver Tabla 6).

Tabla 6

Producción de oro en el Perú por departamentos durante el 2023

Departamento	Producción de oro (KG)
LA LIBERTAD	33715
AREQUIPA	21515
CAJAMARCA	19352
AYACUCHO	7894
CUSCO	6573
PUNO	2910
TACNA	2100
PASCO	1583
MADRE DE DIOS	1429
LIMA	999
HUANCAVELICA	537
ICA	531
APURÍMAC	284
ÁNCASH	133
MOQUEGUA	124
PIURA	46

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas / Boletín Estadístico Minero, 2023)

Las propiedades físicas del oro se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Propiedades físicas del oro

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Oro	Au	197.2	amarillo	19.3	1063	2600	Agua Regia, NaCN, KCN

Nota: Adaptado de Perry (1999).

3.3.1.1.2 Plata. La plata es un metal precioso muy valorado por sus propiedades como la ductilidad, conductividad eléctrica y maleabilidad. Es usado en las industrias eléctrica y electrónica, monedas y medallas, paneles solares, refugio de valor, joyería, soldadura, medicina, etc.

En el año 2023, el principal país productor de plata fue México con una participación impresionante del 27%, produciendo más de la cuarta parte de la producción mundial (ver Tabla 8). Seguido por China con 14% y Perú con 13%; sumando entre los 3 países, el 54% de la producción mundial de plata (ver Figura 5).

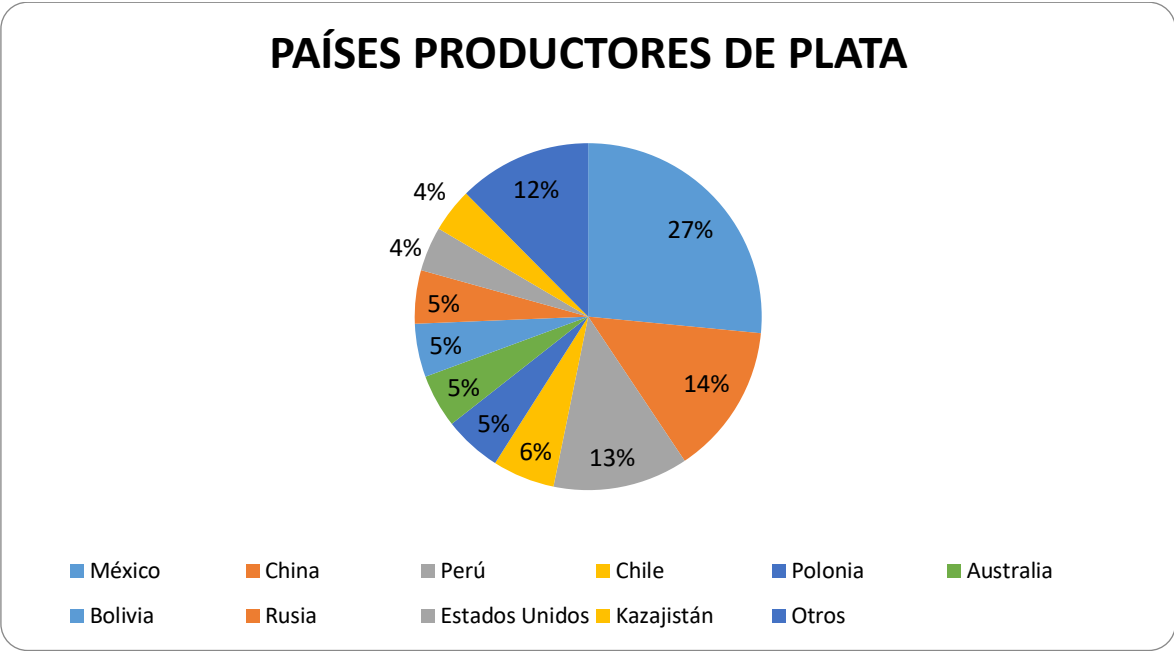
Tabla 8

Principales países productores de plata en el 2023

País	Producción de plata (TON)
México	6,400
China	3,400
Perú	3,040
Chile	1,400
Polonia	1,300
Australia	1,200
Bolivia	1,200
Rusia	1,200
Estados Unidos	1,000
Kazajistán	990
Otros	3,000

Fuente: (US Geological Survey, 2023)

Figura 5
Países productores de plata en el 2023



Fuente: (US Geological Survey, 2023)

En el Perú se produjeron 3,043 toneladas de plata durante el 2023 entre grandes empresas mineras y titulares mineros, que se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9
Empresas mineras de producción de plata en el Perú durante el 2023

Empresa	Producción de plata (TON)
COMPANIA MINERA ANTAMINA S.A.	391
VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	244
MINERA CHINALCO PERU S.A.	222
COMPAÑIA MINERA ARES S.A.C.	222
SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION SUCURSAL DEL PERU	156
NEXA RESOURCES EL PORVENIR S.A.C.	133
MARCOBRE S.A.C.	114
ALPAYANA S.A.	111
COMPAÑIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	106
NEXA RESOURCES PERU S.A.A.	104
Otros (81 titulares mineros)	1,239

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas / Boletín Estadístico Minero, 2023)

El departamento del Perú que más produjo plata durante el 2023 fue Pasco con 607 toneladas, seguido por Áncash con 548 toneladas y Junín con 497 toneladas (ver Tabla 10).

Tabla 10*Producción de plata en el Perú por departamentos durante el 2023*

DEPARTAMENTO	PRODUCCIÓN DE PLATA (TON)
PASCO	607
ÁNCASH	548
JUNÍN	497
LIMA	287
ICA	219
AYACUCHO	200
HUANCAVELICA	132
CUSCO	115
AREQUIPA	111
TACNA	84
MOQUEGUA	74
HUÁNUCO	56
APURÍMAC	51
CAJAMARCA	22
LA LIBERTAD	21
PUNO	19

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas / Boletín Estadístico Minero, 2023)

Las propiedades físicas de la plata se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11*Propiedades físicas de la plata*

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Plata	Ag	107.88	plata	10.5	960.5	1950	HNO_3 , H_2SO_4 caliente

Nota: Adaptado de Perry (1999).

3.3.1.2 Metales aleantes. Los metales aleantes vendrían a ser aquellos metales que no son los metales preciosos y, por ende, son mucho más accesibles de conseguir y son más económicos. Se pueden utilizar muchos o pocos aleantes y en diferentes proporciones, dependen básicamente del tipo de joya y las características que se deseen lograr, como el color y la dureza.

Los principales aleantes en la industria de la joyería son el cobre, zinc, cobalto e indio. En la Tabla 12 se presentan sus propiedades físicas.

Tabla 12*Propiedades físicas de los principales metales aleantes*

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Cobre	Cu	63.57	pardo-rojizo	8.92	1083	2300	HNO_3 , H_2SO_4 caliente
Zinc	Zn	65.38	plateado	7.14	419.4	907	ácidos
Cobalto	Co	58.94	plateado	8.9	1480	2900	ácidos
Indio	In	114.76	blanco-plateado	7.3	155	1450	ácidos

Nota: Adaptado de Perry (1999).

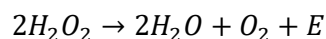
3.3.1.3 Peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es un líquido incoloro con un olor picante penetrante. Es un poderoso agente oxidante, tiene propiedades combustibles y explosivas al estar en contacto con metales como el cobre, plata, bronce, hierro, latón, zinc y materiales orgánicos. Por dichas propiedades es que se usa el peróxido de hidrógeno en la reacción “Booming” que se verá más adelante en el punto 3.3.2. En la Tabla 13, se muestran las propiedades del peróxido de hidrógeno.

Tabla 13*Propiedades físicas del peróxido de hidrógeno*

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Peróxido de Hidrógeno	H_2O_2	34.02	incoloro	1.44	-0.89	151.4	agua, ácidos

Nota: Adaptado de Perry (1999).

El peróxido de hidrógeno se descompone fácilmente para liberar oxígeno, generando una reacción exotérmica (Uceda, 2016).



3.3.1.4 Sulfato de cobre. El sulfato de cobre ($CuSO_4$) es un sólido cristalino, inodoro, de color blanco cuando está en su forma anhidra y de un color azul cuando está en su forma pentahidratada ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). Se usa en la industria de la ganadería, agricultura, galvanotecnia, textil y química como catalizador. En la Tabla 14, se muestran las propiedades del sulfato de cobre.

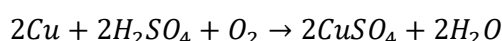
Tabla 14

Propiedades físicas del sulfato de cobre

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Sulfato de cobre	$CuSO_4$	159.63	blanco	3.61	600	650	agua

Nota: Adaptado de Perry (1999).

Uno de los métodos para producir sulfato de cobre es el Método de Okers:



3.3.1.5 Oxígeno. El oxígeno (O_2) es un gas inodoro e incoloro. Tiene usos en la industria del acero, química, medicina y como agente oxidante. Según Palma (2018) aproximadamente el 50% del oxígeno presente en el planeta es producido por las algas marinas mediante la fotosíntesis. El 50% restante es producido por toda la vegetación terrestre. En la Tabla 15, se muestran las propiedades del oxígeno.

Reacción de Fotosíntesis:

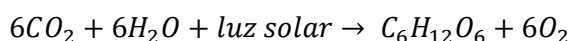


Tabla 15

Propiedades físicas del oxígeno

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Oxígeno	O_2	32	incoloro	1.14 (-188°)	-218.4	-183	agua

Nota: Adaptado de Perry (1999).

3.3.1.6 Cianuro de sodio. El cianuro de sodio es un sólido blanco, cristalino, con un leve olor a amoníaco y almendras. La producción mundial de cianuro de sodio es de 1.2 millones de toneladas. Se usa en la minería, joyería, cianuración, lixiviación y recuperación de metales. En la Tabla 16, se muestran las propiedades del cianuro de sodio.

Tabla 16

Propiedades físicas del cianuro de sodio

Nombre	Fórmula	Peso atómico	Color	Densidad relativa	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de ebullición (°C)	Solubilidad
Cianuro de sodio	NaCN	49.02	blanco	1.61	563.7	1496	agua, NH_3

Nota: Adaptado de Perry (1999).

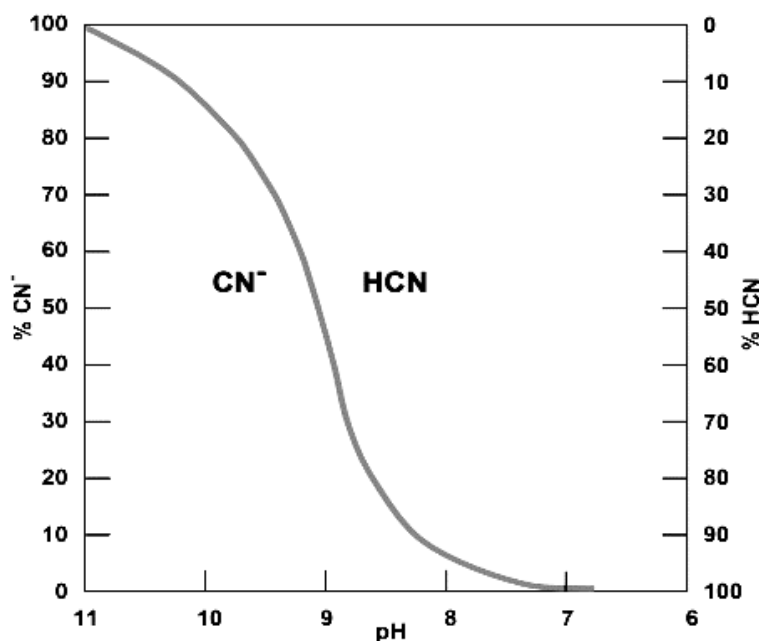
Se debe de tener un especial cuidado al momento de trabajar con el cianuro de sodio, debido a la alta peligrosidad y toxicidad que tiene hacia las personas y el medioambiente (Tovar et al., 2005).

El cianuro de sodio en solución está presente como Na^+ y CN^- . El CN^- puede formar HCN con el H^+ presente en el agua, el cual es un problema debido a que el HCN es un compuesto volátil y muy tóxico; es por ello, que en la industria se suele trabajar el cianuro a un pH básico >10.5 .

Se muestra el diagrama de equilibrio CN^-/HCN con respecto al pH en el Figura 6:

Figura 6

Diagrama de equilibrio CN^- /HCN con el pH



Nota: Fuente: (Logsdon et al., 2001)

El cianuro en solución puede expresarse en 4 formas diferentes, utilizados mayormente para análisis químico y control del cianuro en los procesos industriales.

3.3.1.6.1 Cianuro total. Abarca a todos los cianuros presentes en solución, incluyendo al cianuro libre, cianuro WAD y cianuro SAD.

3.3.1.6.2 Cianuro libre. Es el cianuro presente como ión (CN^-) o también el cianuro presente como ácido cianhídrico acuoso (HCN).

3.3.1.6.3 Cianuro disociable en ácido débil (WAD). Son complejos cianurados formados por metales como el Cu, Ni, Zn y Cd; los cuales son capaces de disociarse en presencia de ácidos débiles, en un rango de pH de 4 a 5.

3.3.1.6.4 Cianuro disociable en ácido fuerte (SAD). Son complejos cianurados estables formados por metales como el Au, Ag, Fe y Co; los cuales son capaces de disociarse en presencia de ácidos fuertes a un pH bajo.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento emitió el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario. En Tabla 17 se muestran los parámetros a evaluar y los VMA de los efluentes industriales.

Tabla 17

Valores máximos admisibles para efluentes industriales

Parámetro	Unidad	Valores máximos admisibles
Potencial de Hidrógeno (pH)	pH	(6 - 9)
Temperatura	°C	< 35
Aceites y Grasas	mg/L	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	500
Cloruro	mg/L	500
Cianuro Total	mg/L	1
Sólidos Sedimentables (SS)	ml/L/h	8.5
Aluminio (Al)	mg/L	10
Arsénico (As)	mg/L	0.5
Boro (B)	mg/L	4
Cadmio (Cd)	mg/L	0.2
Cobre (Cu)	mg/L	3
Cromo (Cr)	mg/L	10
Manganeso (Mn)	mg/L	4
Mercurio (Hg)	mg/L	0.02
Níquel (Ni)	mg/L	4
Plomo (Pb)	mg/L	0.5
Zinc (Zn)	mg/L	10

Fuente: (D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, 2019)

Como se puede apreciar en la Tabla 17, el valor máximo admisible para efluentes industriales de Cianuro Total es 1mg/L.

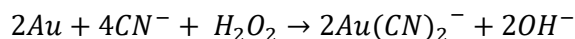
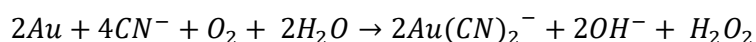
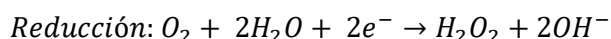
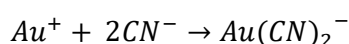
3.3.2 Booming

En la industria de la joyería, la reacción de Booming consiste en un decapado superficial de la joya con el objetivo de obtener el color y brillo característico que toda joya de oro debe tener, el cual es un amarillo brillante. Es una reacción exotérmica violenta a la que es sometida la joya.

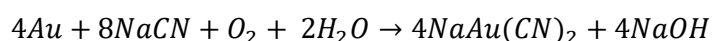
El cianuro de sodio en solución es capaz de disolver la capa superficial de una joya de oro, sin embargo, es un proceso muy lento. Existen algunos minerales difíciles de disolver, para ello, se emplean oxidantes fuertes como el oxígeno, ozono, peróxido de hidrógeno, dióxido de manganeso, nitrato de sodio, clorato de sodio y el ión férrico (Uceda, 2016).

En el Booming se utiliza el cianuro de sodio (25 g/L) y, para acelerar el dekapado de una joya de oro, se utiliza el peróxido de hidrógeno (35%); dando como resultado una reacción exotérmica violenta que decapa superficialmente la joya, la cual es posteriormente enjuagada con agua desionizada y secada con una secadora centrífuga o estacionaria. El resultado es una joya de oro de color amarillo brillante.

Las reacciones de Booming (Uceda, 2016):



Siendo la reacción general:



3.3.3 Aleaciones

Una joya de oro 100% pura no es factible porque tiende a quebrarse y deformarse, es por ello que las joyas de oro se comercializan como aleaciones de oro. En joyería, se trabaja con “leyes” las cuales hacen referencia a la relación de peso entre el metal precioso puro (oro) y el peso total de la aleación. Ejemplos:

- Ley 24 kilates (24K): Es una joya que tiene 24/24 de oro, es decir, 99.99% de oro.
- Ley 18 kilates (18K): Es una joya que tiene 18/24 de oro, es decir, 75% de oro.
- Ley 14 kilates (14K): Es una joya que tiene 14/24 de oro, es decir, 58.33% de oro.
- Ley 10 kilates (10K): Es una joya que tiene 10/24 de oro, es decir, 41.67% de oro.
- Ley 9 kilates (9K): Es una joya que tiene 9/24 de oro, es decir, 37.5% de oro.

Las aleaciones de ley 10K y 14K son las más comunes y comerciales porque son las más baratas y accesibles al mercado, mientras que las aleaciones de ley 18K son consideradas alta joyería, por su elevado precio.

En la Tabla 18 se muestran diferentes aleaciones con sus respectivas composiciones, cabe resaltar que cada joyería es libre de variar porcentajes de los metales aleantes pero siempre debe respetarse la ley del oro.

Tabla 18

Diferentes leyes y sus metales aleantes

LEY	Composición de metales (%)					
	Au	Ag	Cu	Zn	In	Co
9k	37.6	10.8	39.7	10.9	0.1	0.9
10k	41.7	8.8	29.6	19.5	0.1	0.3
14k	58.4	3.6	19.8	18.2	-	-
18k	75.1	12.45	8.09	4.34	0.02	-

3.3.4 Industria de la joyería

Hace 20 años, en el 2004, el país que más producía y exportaba joyas era Italia con 4.7 mil millones de dólares, seguido por India con 2.8 y Estados Unidos con 2.7 mil millones de dólares anuales. China se encontraba ubicado en el séptimo lugar, logrando exportar 1.8 mil millones de dólares. El crecimiento de China ha sido sorprendente logrando exportar el 2023 la suma de 14.4 mil millones de dólares (ver Tabla 19), representando un crecimiento del 700%.

Es una industria enorme que generó 126.1 mil millones de dólares en el 2023, siendo China el país que más exportó, seguido por Suiza e India, quienes abarcan en total el 32% del mercado mundial de joyas (ver Figura 7).

Tabla 19

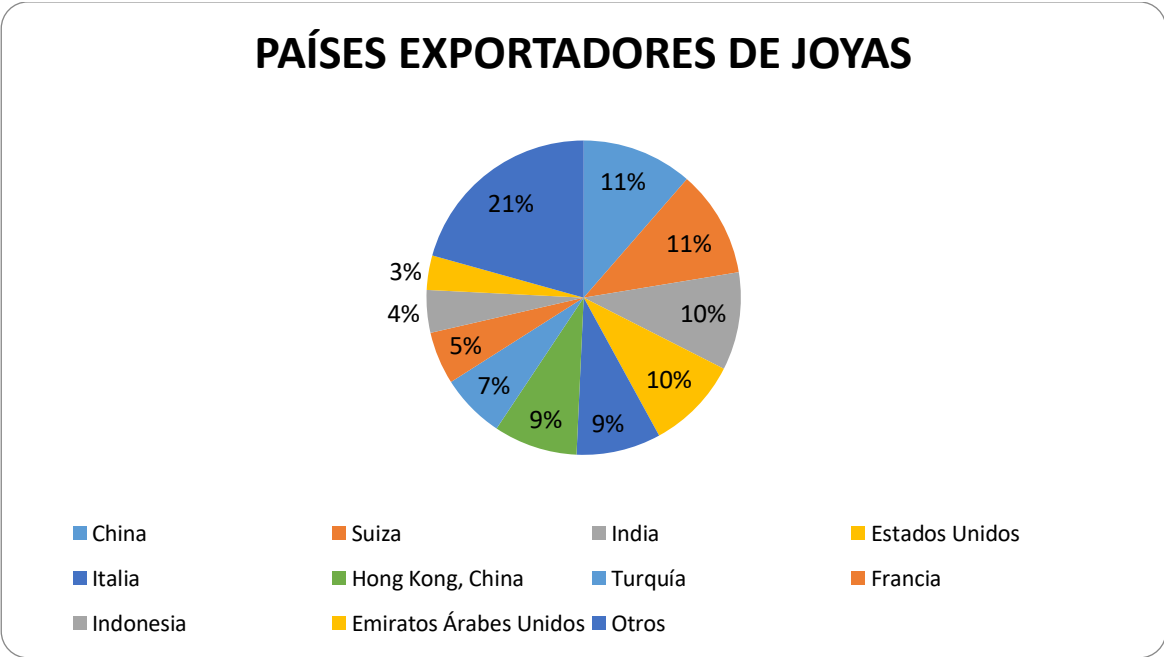
Principales países exportadores de joyas en el 2023

País	Valor exportado (mil millones USD)
China	14.4
Suiza	13.9
India	12.7
Estados Unidos	12.1
Italia	11
Hong Kong, China	10.9
Turquía	8.4
Francia	6.8
Indonesia	5.5
Emiratos Árabes Unidos	4.5
Otros	26.1

Fuente: (Trademap, 2023)

Figura 7

Principales países exportadores de joyas en el 2023



Fuente: (Trademap, 2023)

Con respecto a las importaciones, hace 20 años, en el 2004, el país que más importaba era Estados Unidos con 7.2 mil millones de dólares, seguido por Reino Unido con 3 y Suiza con 2.2 mil millones de dólares anuales. Hong Kong se encontraba ubicado en el cuarto lugar, logrando importar 1.9 mil millones de dólares. El crecimiento de Hong Kong ha sido espectacular logrando importar el 2023 la suma de 21.1 mil millones de dólares (ver Tabla 20), representando un crecimiento de más del 1,000%.

Tabla 20

Principales países importadores de joyas en el 2023

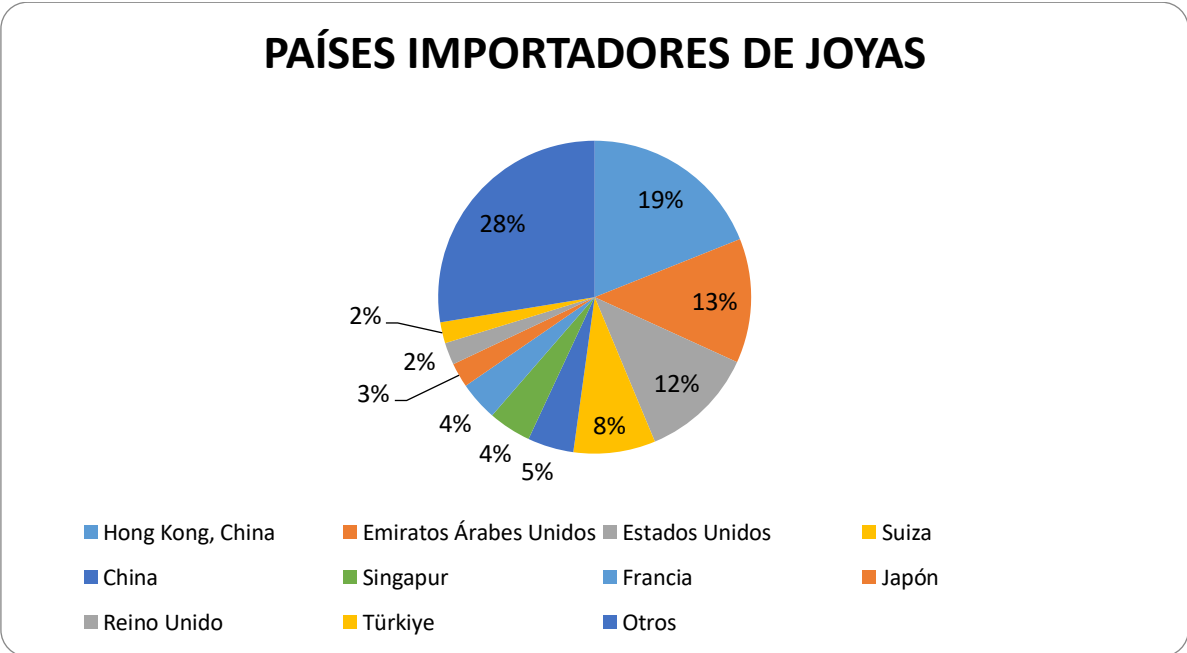
País	Valor importado (mil millones USD)
Hong Kong, China	21.1
Emiratos Árabes Unidos	14.3
Estados Unidos	13.2
Suiza	9.4
China	5.3
Singapur	4.9
Francia	4.5
Japón	2.8
Reino Unido	2.6
Turquía	2.4
Otros	30.7

Fuente: (Trademap, 2023)

En la Figura 8, se aprecia la participación de los países a nivel mundial en las importaciones de joyas.

Figura 8

Principales países importadores de joyas en el 2023



Fuente: (Trademap, 2023)

En la industria de la joyería, se producen diversos tipos de joyas como las cadenas, pulseras, aretes, anillos, dijes, etc. Se puede fabricar cualquier tipo de joya, es por eso que

la mayoría de las joyerías tienen un área especializada en el diseño y creación de joyas nuevas. A continuación, se mostrarán las principales joyas producidas por Arin S.A.

3.3.4.1 Cadenas. Las cadenas están formadas por decenas o cientos de argollas que están unidas y soldadas entre sí (ver Figura 9). Las cadenas varían en longitud, peso, calibre y quilate; también es usual añadirles dijes para hacerlas más personalizadas.

Figura 9

Izquierda, cadena de oro de 10K. Derecha, cadena de oro de 14K



Nota: Fuente: (www.arinsa.com.pe, 2024)

3.3.4.2 Pulseras. Las pulseras son joyas tipo argollas pero más grandes de tal manera de que se pueden usar tras las muñecas o sobre los tobillos (ver Figura 10). Existen en diferentes modelos que varían según diámetro, calibre, peso, quilate, con o sin accesorios.

Figura 10

Izquierda, pulsera de oro diamantada. Derecha, pulsera de oro con perlas.



Nota: Fuente: (www.arinsa.com.pe, 2024)

3.3.4.3 Aretes. Los aretes son joyas tipo argollas que usualmente contienen un palito y un seguro en ambos extremos del arete (ver Figura 11). Varían según diámetro, calibre, peso, quilate, con o sin diamantado.

Figura 11

Izquierda, aretes de oro amarillo y blanco. Derecha, aretes de oro tricolor



Nota: Fuente: (www.arinsa.com.pe, 2024)

3.3.4.4 Anillos. Los anillos son joyas tipo argollas que pueden tener diferentes diseños (ver Figura 12). Varían según talla, peso, calibre, quilate con o sin accesorios.

Figura 12

Izquierda, anillo de oro. Derecha, anillo de plata bañado en oro con circón



Nota: Fuente: (www.arinsa.com.pe, 2024)

3.3.4.5 Dijes. Los dijes son joyas producidas usualmente a través del proceso de casting (ver Figura 13). El proceso inicia con las impresiones en resina 3D de los diseños, para luego ser llevadas a un horno en donde la resina es fundida y reemplazada por la aleación de oro requerida. Los modelos varían según peso, calibre, quilate, con o sin accesorios.

Figura 13

Izquierda, dije de oro con circones. Derecha, dije de plata bañado en oro



Nota: Fuente: (www.arinsa.com.pe, 2024)

3.3.5 Joyería en el Perú

Durante la época prehispánica, diferentes culturas utilizaron el oro y la plata principalmente para fines políticos, sociales y religiosos. Los metales eran fundidos y utilizados en ceremonias, rituales, entierros y como símbolo de poder.

El arqueólogo Walter Alva descubrió en 1987 “El Señor de Sipán”, en Huaca Rajada – Lambayeque, encontrando una tumba llena de muchas joyas de oro y plata (ver Figura 14), perteneciente a la cultura Mochica.

Figura 14

Tumba del Señor de Sipán



Nota: Fuente: (Mayans, 2022)

El Inca, la nobleza y los sacerdotes incas utilizaban joyas de oro y plata como símbolos de poder social y religioso; usaban collares, pectorales, aretes, pulseras, etc. También usaban utensilios, copas y platos a base de oro y plata.

La religión era un eje fundamental en el imperio Inca, muestra de ello es el Templo del Sol o Qoricancha, ubicado en el Cusco. Según Lleras y Gonzáles (2005) el Qoricancha tenía láminas de oro de un metro de ancho como adorno en las paredes interiores y exteriores, un altar con un disco de oro 2 metros de diámetro que representaba al sol, una fuente bañada en oro y plantas de maíz de plata.

Ya en los tiempos modernos, la producción de joyas en el Perú se enfoca principalmente en la exportación, siendo el principal destino los Estados Unidos. Hace 20 años, en el 2004, el Perú exportó al mundo 79.5 millones de dólares. En el 2023, el Perú exportó 90.5 millones de dólares, representando un crecimiento del 14%. Dicho

crecimiento es muy pequeño si lo comparamos con el crecimiento de las exportaciones de China que, durante el mismo periodo, creció un 700%.

En la Figura 15, se aprecia la tendencia de las exportaciones de joyas peruanas al mundo. Se observan caídas o periodos de baja producción durante la crisis financiera del 2007-2008 y la pandemia del Covid 19 en el 2020.

Figura 15
Tendencia de las exportaciones de joyas peruanas



Fuente: (Trademap, 2023)

En la Tabla 21, se aprecian los primeros 10 países destino de las joyas peruanas durante el 2023, siendo Estados Unidos el mayor comprador con 83 millones de dólares, abarcando el 91.7% del total; seguido por España y Chile con 2.8 y 2 millones de dólares respectivamente.

Tabla 21
Países a los cuales el Perú exportó joyas durante el 2023

País	Valor exportado (millones USD)
Estados Unidos	83
España	2.8
Chile	2
Canadá	0.9
México	0.7
Ecuador	0.2
Uruguay	0.2

Reino Unido	0.1
Panamá	0.1
Austria	0.1
Otros	0.4

Fuente: (Trademap, 2023)

Durante el 2023, la empresa peruana que más exportó joyas fue Arin S.A. con 35.9 millones de dólares (ver Tabla 22), seguido por New Fashion Perú S.A. y Deoro S.A.C con 31.5 y 19.6 millones de dólares respectivamente.

Tabla 22

Principales empresas peruanas exportadoras de joyas durante el 2023

EMPRESA	VALOR EXPORTADO (millones USD)
Arin S.A.	35.9
New Fashion Perú S.A.	31.5
Deoro S.A.C	19.6
Linea Nuova S.A.	1.4
Mis Joyas S.A.C.	0.6
Otros	1.5

Fuente: (CIEN-ADEX, 2023)

Como podemos apreciar, la joyería peruana tiene mucho potencial de crecimiento, más del 90% de las exportaciones se dirigen hacia los Estados Unidos, aún debemos conquistar Europa y Asia, los cuales son mercados enormes.

3.3.6 Proceso de producción de una joya

El proceso de producción de una joya pasa por diversas etapas, dependiendo de la joya, algunas etapas son necesarias y otras, no. Para facilitar el entendimiento del proceso productivo de una joya, seleccionaremos la producción de 1kg de la cadena de oro Rope 030 10K, lo que vendrían a ser 50 cadenas 030 10K de 20 gramos cada una.

3.3.6.1 Fundición. Es la etapa inicial del proceso productivo, es en donde se realiza la aleación mediante una mezcla de diversos metales en un horno de inducción. Para la cadena 030 10K tenemos que fijarnos en la Tabla 18.

Debido a que, en los procesos posteriores, se pierde material en forma de mermas o retales, se programa inicialmente 1,010g de cadena 030 10K (ver Tabla 23).

Tabla 23

Pesos de diferentes metales para producir 1,010 g de cadena 030 10K

Peso (g)	Composición de metales (%)					
	Au	Ag	Cu	Zn	In	Co
	41.7	8.8	29.6	19.5	0.1	0.3
1,010	421.17	88.88	298.96	196.95*	1.01	3.03

*Se le agrega 0.1% de Zn adicional durante la fundición debido a que el Zn tiende a volatilizarse. Se agrega $0.1\% \times 1,010 = 1.01$ gramos. Entonces, el peso total de Zn es 197.96 gramos.

En la Figura 16, se aprecia el horno de inducción, el cual posee un crisol de grafito, en donde se agregan los metales. La temperatura de trabajo es de $1,000^{\circ}\text{C}$ y el proceso de fundición dura 15 minutos aproximadamente. Una vez que todos los metales están fundidos, se agita con el fin de homogenizar la aleación. Finalmente tenemos una barra de oro de 10K de 8 mm de diámetro con un peso de 1,010 g.

Figura 16

Horno de inducción IEICO



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.2 Laminado de barras. Es un proceso que consiste en hacer pasar las barras por los diferentes dientes que posee con el fin de disminuir su diámetro (ver Figura 17). La barra de oro 10K de 8 mm de diámetro es laminada sucesivamente de izquierda a derecha hasta obtener una barra de 4 mm de diámetro.

Figura 17

Laminadora de barras



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.3 Recocido. El Laminado de barras, al reducir el diámetro de 8 a 4 mm, ha endurecido la barra, para ablandarla y devolverle sus propiedades, se recoce la barra en el horno de caja durante 40 minutos a 630°C (ver Figura 18).

Figura 18

Horno de caja



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.4 Tren de laminado I y II. El tren de laminado I tiene como fin disminuir el diámetro de la barra de 4 mm a 2.20 mm mediante el paso por unos dados reductores de diámetro. Seguidamente, el material vuelve a recocerse durante 40 minutos a 630°C. El material pasa por el tren de laminado II para disminuir su diámetro de 2,20 mm a 1.20 mm. El material vuelve al horno durante 40 minutos a 630°C (ver Figura 19).

Figura 19

Izquierda, Tren de laminado I. Derecha, Tren de laminado II



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.5 Trefilado. En la etapa de Trefilado, la barra pasa por la Trefiladora con el fin de disminuir su diámetro de 1.20 mm a 0.7 mm mediante el paso por unos dados reductores de diámetro (ver figura 20). El material vuelve al horno durante 40 minutos a 630°C para ablandarlo y devolverle sus propiedades.

Figura 20

Máquina trefiladora



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.6 Argollas. En esta etapa, la barra de 0.7 mm de diámetro es doblada de forma circular continua, de modo que la barra adquiere la forma de un resorte, seguidamente el resorte es cortado por una máquina argollera automática (ver Figura 21), obteniendo así, una gran cantidad de argollas de 4 mm de diámetro. En esta etapa se generan mermas de oro debido a que el corte genera polvos y laminillas de oro que, posteriormente se recoge y recupera.

La merma es aproximadamente:

$$3\% \times 1,010 \text{ g} = 30.3 \text{ g}$$

Finalmente tenemos:

$$1,010 \text{ g} - 30.3 \text{ g} = 979.7 \text{ gramos en argollas 10K}$$

Figura 21
Máquina argollera



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.7 Tejido. En esta etapa, las argollas son tejidas manualmente (ver Figura 22), adquieren la forma de una cadena y se mantienen firmes porque están tejidas con un alambre de fierro, el cual se retirará en la siguiente etapa.

Figura 22

Cadena tejida 030 10K



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.8 Soldado. A la cadena tejida, se le agrega una pasta de oro, la cual está hecha con polvo de oro 10K, fundente y grasa. Una vez que a la cadena se le agregó la pasta, es sometida al calor de una llama oxicorte (oxígeno y acetileno), de tal forma que el fundente y la grasa se evaporan y el polvo de oro (ahora fundido) forma parte de la cadena de oro (ver Figura 23). Finalmente se retiran los alambres de fierro y se obtiene una cadena de oro. El peso adicional que se agrega por cadena es de aproximadamente 0.3 gramos por cadena, entonces $0.3 \times 50 \text{ unid} = 15 \text{ gramos}$.

$$979.7 \text{ g} + 15 \text{ g (polvo fundido)} = 994.7 \text{ gramos de cadena de oro}$$

El siguiente paso es cortar la cadena para conseguir las 50 unidades de cadenas requeridas.

$$\text{Entonces tendríamos } 994.7 \text{ g} / 50 \text{ unid} = 19.894 \text{ gramos / cadena}$$

Figura 23

Cadena 030 10K siendo soldada



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.9 Broches. En esta etapa se sueldan el broche y una argolla a cada lado de la cadena de 19.894 gramos (ver Figura 24) con el fin de poder cerrar la cadena y ser una joya apta para el uso. El peso del broche, ambas argollas y soldadura adicional equivalen a 1 gramo.

$$19.894 \text{ g} + 1 \text{ g} = 20.894 \text{ gramos}$$

Figura 24

Cadenas 030 10K con broches



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.10 Booming. En esta etapa se le da el brillo característico a la joya mediante una reacción llamada “Booming” (ver Figura 25), la cual consiste en un decapado superficial de la joya debido al ataque químico del cianuro de sodio y el peróxido de hidrógeno, bajándole un 4% de peso a la joya.

$$20.894 \text{ g} - 4\% \times 20.894 \text{ g} = 20.058 \text{ g}$$

Figura 25

Cadenas 030 10K en una cabina de lavado Booming



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.6.11 Pulido. Es la última etapa del proceso productivo en donde se le da un pulido o retoque final a la joya mediante la fricción causada por una felpa en constante rotación (ver Figura 26). La disminución del peso es mínima, alrededor del 0.25%.

$$20.058 \text{ g} - 0.25\% \times 20.058 \text{ g} = 20.008 \text{ g}$$

Finalmente tenemos 50 unidades de cadenas 030 10K de 20 gramos cada una, sumando en total 1kg.

Figura 26

Cadenas 030 10K puliéndose en una máquina Violi



Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

A continuación, se muestran las Figuras 27, 28 y 29 en donde se puede apreciar el diagrama de flujo y el balance de masa del proceso de producción de 1kg de cadenas 030 10K.

3.3.7 Balance de Masa

Se realiza el balance de masa de la producción de 1 kg de cadenas 030 10K. El proceso productivo consta de 15 etapas (Fundición, Laminado de barras, Recocido, Tren de laminado I, Recocido, Tren de laminado II, Recocido, Trefilado, Recocido, Argollas, Tejido, Soldado, Broches, Booming, Pulido).

Figura 27

Balance de masa de 1kg de cadenas 030 10K parte I

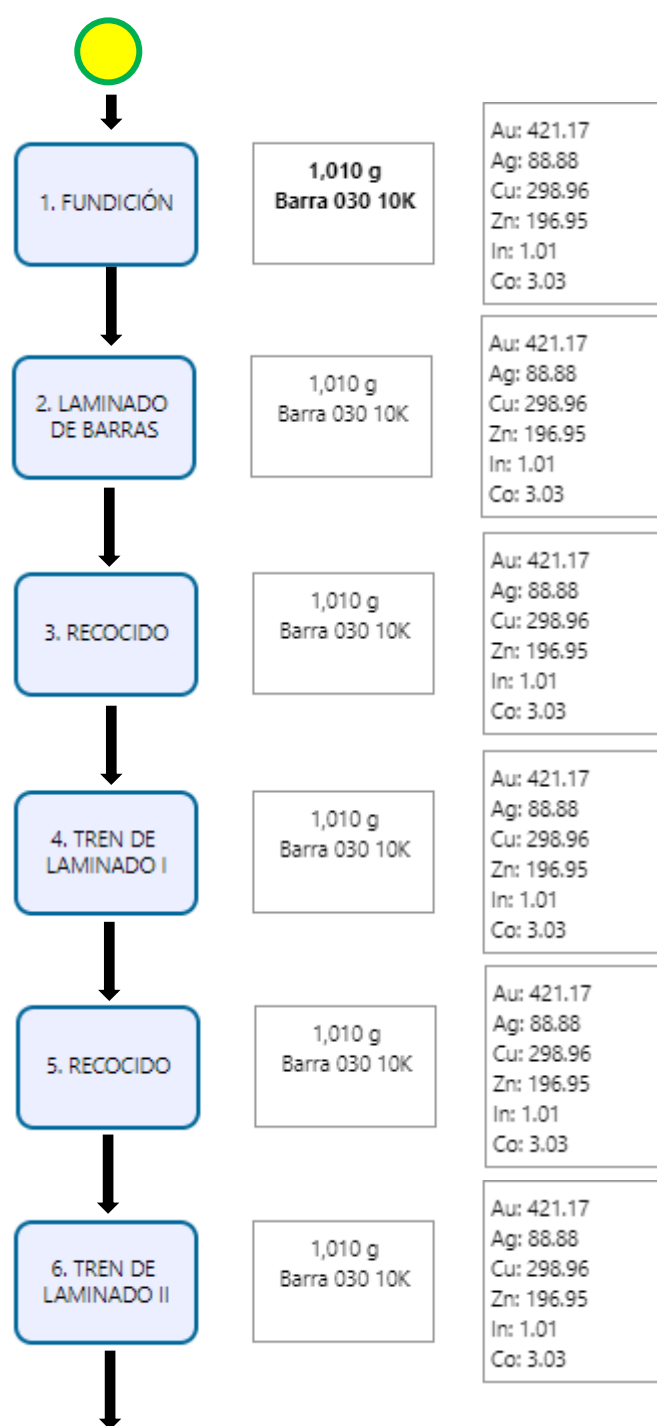


Figura 28

Balance de masa de 1kg de cadenas 030 10K parte II

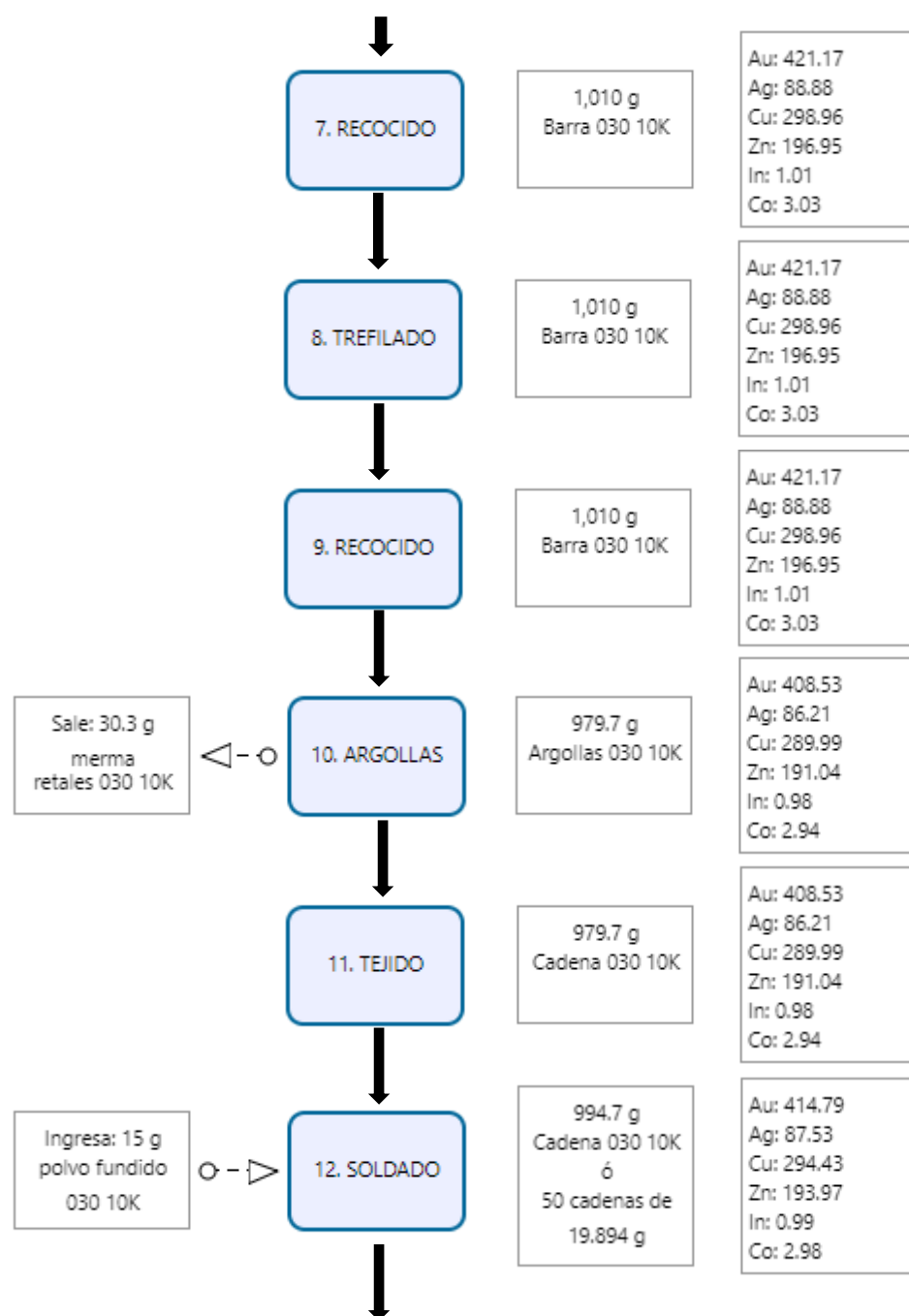
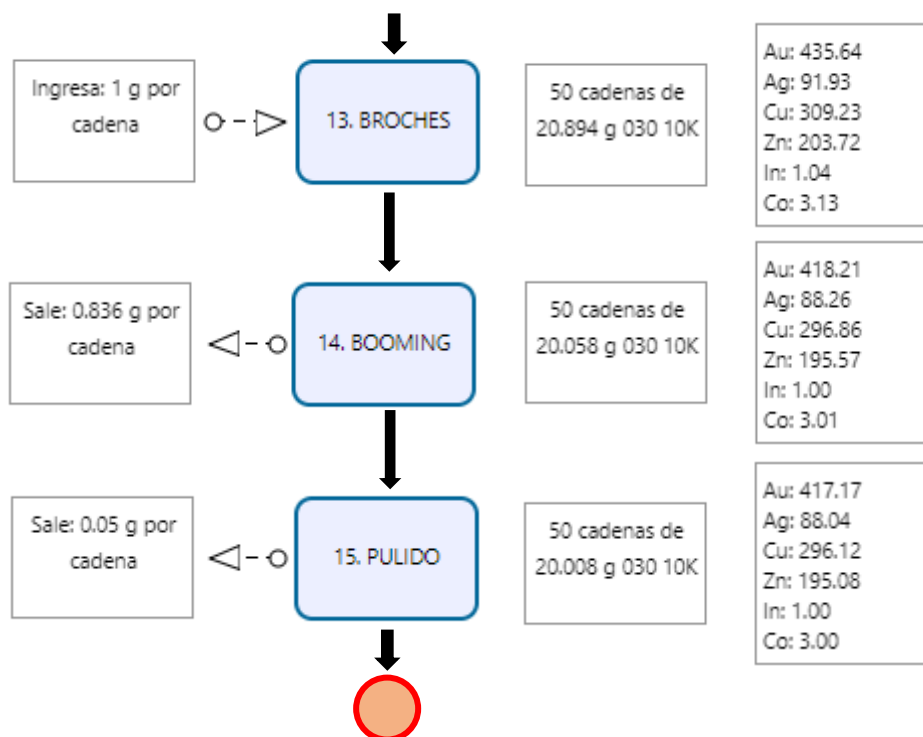


Figura 29

Balance de masa de 1kg de cadenas 030 10K parte III



3.3.8 Métodos de recuperación de oro

Durante todo el proceso productivo de joyas, existen diferentes etapas en donde se generan retales, residuos, polvos y aguas cianuradas; las cuales poseen oro y se tienen que recuperar. Se mencionarán los 4 métodos de recuperación de oro que se usan en Arin S.A.

3.3.8.1 Recuperación de retales, polvos y productos defectuosos

3.3.8.1.1 Retales. Los retales vendrían a ser el exceso de material que no se llega a usar o “sobra”, por ejemplo, para producir un arete, se deben cortar láminas y luego unirlos, el sobrante de láminas se denomina “retal”.

3.3.8.1.2 Polvos. En los procesos en donde intervienen cualquier tipo de corte, se generan polvos de oro. En dichos procesos se debe de tener mucho cuidado, debe ser lo más hermético que se pueda para evitar que los polvos se esparzan y se generen pérdidas.

3.3.8.1.3 Productos defectuosos. Debido a que ningún proceso es 100% eficiente, a veces ocurren errores humanos (falta de capacitación, exceso de confianza, falta de supervisión, etc) o, ocurre alguna falla de equipos (falta de mantenimiento preventivo, corto circuito, sobre esfuerzo de máquina, etc) que terminan por generar productos defectuosos.

Los retales, polvos y productos defectuosos se recuperan en el horno de Recuperaciones (ver Figura 30) que funciona con gas propano y un soplador de 60 Hz. Se funden a 1,000°C y se vierte el material fundido en una lingotera para posteriormente volver a ser utilizado al inicio del proceso (Fundición).

Figura 30

Horno a gas de Recuperaciones



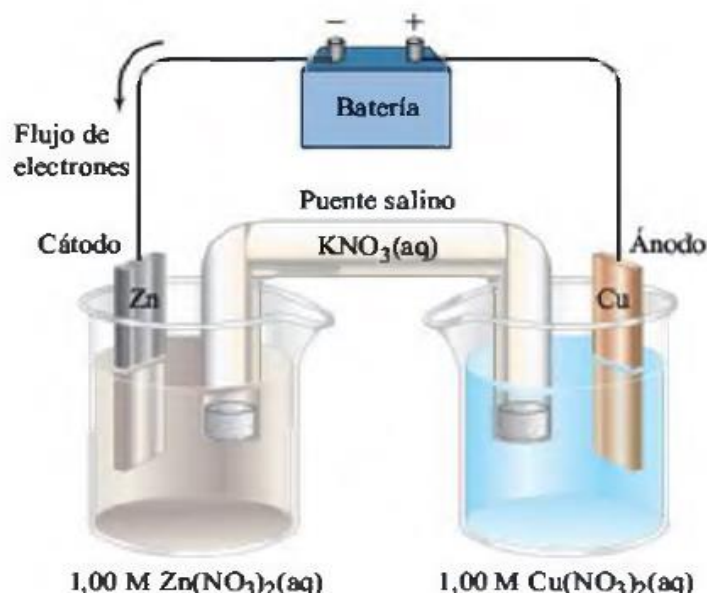
Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

3.3.8.2 Recuperación electrolítica. Para poder entender el proceso de recuperación electrolítica, se deben de conocer previamente conceptos de Electroquímica. Veremos las celdas electrolíticas.

3.3.8.2.1 Celdas electrolíticas. Son aquellas en donde ocurre la Electrólisis, el cual es un proceso en donde se induce corriente eléctrica para lograr una reacción no espontánea. En la Figura 31 se verá un ejemplo de celda electrolítica.

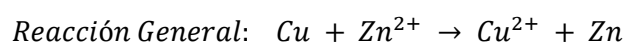
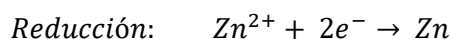
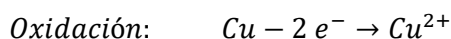
Figura 31

Celda electrolítica $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+} // \text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$



Nota: Fuente: (Petrucci et al., 2011)

En la Figura 31 se observa 1 electrodo de Zn (cátodo) en una solución acuosa de Zn y también un electrodo de Cu (ánodo) en una solución acuosa de Cu. Ambos electrodos están unidos por un cable eléctrico y una batería, la cual se encarga de dar corriente eléctrica continua. Finalmente, cierra el circuito un puente salino. El Cu pierde 2 electrones y pasa a la solución como Cu^{2+} . Los 2 electrones viajan por el cable eléctrico hasta llegar al cátodo, en donde los iones Zn^{2+} adquieren los 2 electrones y precipitan como Zn metálico. Los iones NO_3^- neutralizan el exceso de carga positiva debido a los Cu^{2+} , mientras que los iones K^+ neutralizan el exceso de carga negativa debido a los NO_3^- .



$$E_{\text{celda}} = E_{\text{cátodo}} - E_{\text{ánodo}}$$

$$E_{\text{celda}} = E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} - E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}$$

$$E_{\text{celda}} = -0.763 - (0.34) = -1.103 \text{ V}$$

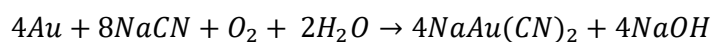
A nivel general, para que la celda electrolítica de la Figura 31 funcione, se le debe de dar un voltaje superior a 1.103V.

A continuación, se muestran los valores de los principales potenciales estándares de reducción en voltios.

$Au^+(aq) + e^- \rightarrow Au(s)$	+1.69 V
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.23 V
$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+0.8 V
$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0.77 V
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+0.34 V
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0 V
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.44 V
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	-0.76 V

Nota: Fuente: (Petrucci et al., 2011)

3.3.8.2.2 Recuperación de aguas áuricas. En el punto 3.3.2 se habló sobre el Booming, que vendría a ser la 14va etapa del proceso productivo del ejemplo que vimos (1kg de cadena 030 10K). En el Booming se generan aguas cianuradas áuricas según la reacción:



Para poder recuperar el oro presente de las aguas cianuradas provenientes del Booming, se realiza el proceso de electrólisis. Se envían las aguas hacia la máquina de recuperación electrolítica (Boom1), como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Máquina de recuperación electrolítica Boom1

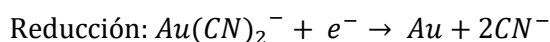
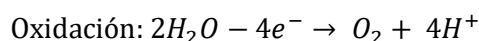


Nota: Fuente: (ARIN S.A., 2024)

La máquina Boom1 posee un rectificador de 10V 300A, cátodos de acero inoxidable 304 y ánodos de titanio bañados por óxidos de Iridio – Tantalio. El rectificador transforma la corriente alterna en corriente continua y el voltaje de 220 V a 10 V. Los parámetros de operación de Boom1 son:

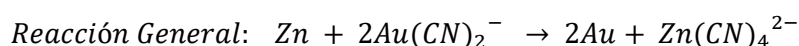
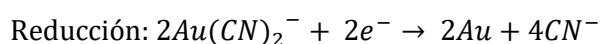
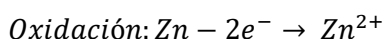
- 8 V
- 300 A
- 18 horas de operación.

El complejo auro-cianuro es estable $Au(CN)_2^-$, es la corriente la que logra reducir el oro y precipitarlo en el cátodo, mientras que el agua se oxida, generando O_2 gaseoso en el ánodo.



La eficiencia de recuperación del oro en la electrólisis es del 99.9%, el 0.1% del oro restante está presente todavía en las aguas cianuradas. Para recuperar el resto, se utilizará el método de Merrill Crowe y el carbón activado.

3.3.8.3 Merrill Crowe. El proceso de Merrill Crowe se usa para precipitar metales preciosos como el oro y la plata que se encuentran en solución. El método consiste en agregar polvo de zinc y luego agitar a un pH controlado (pH=11). Para evitar la pasivación del zinc, se suelen agregar sales de plomo como el acetato o nitrato de plomo. Es una reacción de simple desplazamiento, que se fundamenta en una diferencia de potenciales de reducción. En la Figura 33, se observa el mecanismo de precipitación del oro en una partícula de zinc.



$$E_{\text{celda}} = E_{\text{cátodo}} - E_{\text{ánodo}}$$

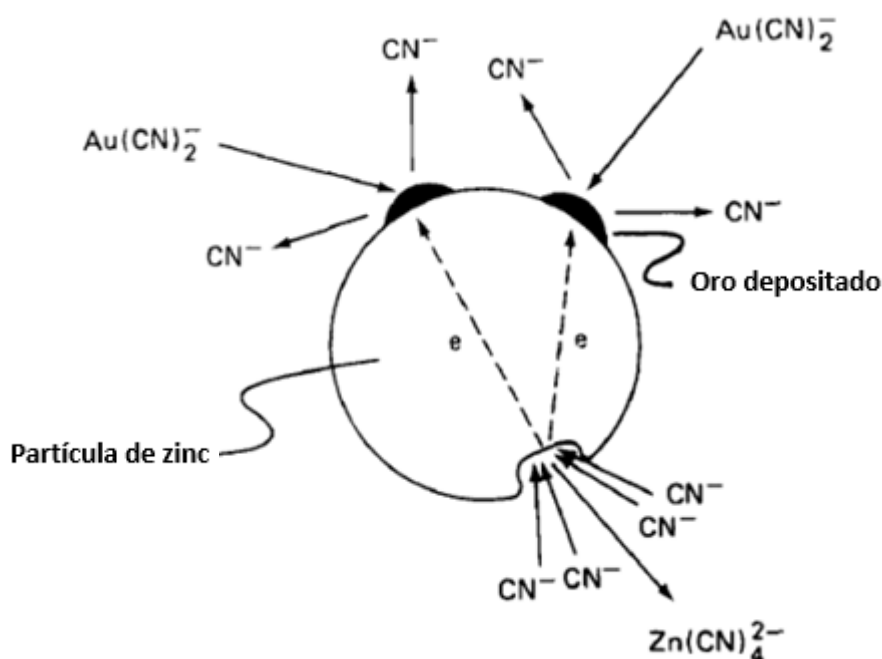
$$E_{\text{celda}} = E_{\text{Au}^+/\text{Au}} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}$$

$$E_{\text{celda}} = 1.69 - (-0.76) = 2.45\text{V}$$

Como podemos ver, $E_{\text{celda}} > 0$, la reacción es espontánea.

Figura 33

Mecanismo de precipitación del oro



Nota: Fuente: (Makoba, 2013).

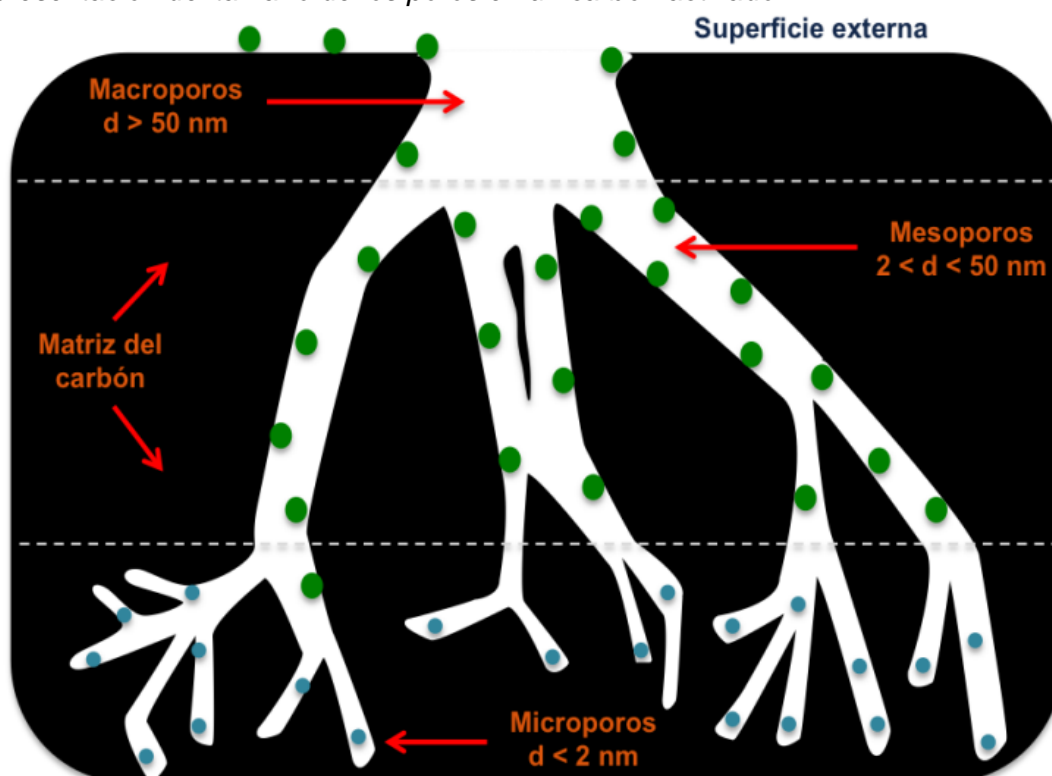
3.3.8.4 Carbón activado. Luego de la recuperación de oro por electrólisis y Merrill Crowe, el siguiente y último paso es el uso del carbón activado, el cual se suele utilizar para aguas cianuradas con poco contenido de oro.

El carbón activado se produce a partir de materiales con un alto contenido en carbono como las cortezas de almendras, cáscaras de coco, madera, nueces, carbón mineral, etc. Es sometido a un proceso de carbonización para luego ser activado de forma física o química. Tiene como principales características su gran porosidad y área específica, la cual varía en el rango de 400 a 1500 m²/g (Gasca, 2016), en donde se adsorben los complejos aurocianuros.

En la Figura 34, se observan los tamaños de los poros, en donde los microporos abarcan alrededor del 95% del área específica, los mesoporos el 5% restante y los macroporos sirven como entrada hacia los mesoporos y microporos (Gasca, 2016).

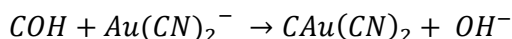
Figura 34

Representación del tamaño de los poros en un carbón activado



Nota: Fuente: (Gasca, 2016)

El carbón activado se basa en el principio de adsorción, atrayendo y reteniendo el complejo $Au(CN)_2^-$



3.4 Propuesta y contribuciones de su formación profesional

Como hemos podido apreciar, el ciclo productivo de una joya o cadena, genera aguas cianuradas que, luego de ser sometidas por tres tipos de recuperaciones de oro con una eficiencia > 99,9%, resulta en aguas con un contenido de 250 mg/L de cianuro total. Dichas aguas cianuradas no se pueden desechar al medio ambiente porque son muy tóxicas y perjudiciales, es por ello que la empresa Arin S.A. contrata los servicios de una empresa terciaria para que disponga de las aguas cianuradas en rellenos sanitarios para residuos peligrosos. Dichos servicios le cuestan a la empresa alrededor de 200,000 soles al año.

Mi contribución profesional es el “Diseño de un proceso económicamente viable que sea capaz de eliminar el cianuro presente en 15,000 litros mensuales de aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería”.

3.4.1 Objetivos y justificación del uso de las técnicas propuestas

El objetivo del presente informe es eliminar el cianuro presente en las aguas residuales provenientes de la producción de joyas. En el punto 3.2.4 se mencionaron 3 métodos de eliminación del cianuro, realizaremos un cuadro comparativo (ver Tabla 24) para escoger el método que mejor se adecúe a nuestras necesidades.

Tabla 24*Métodos de eliminación del cianuro en aguas residuales cianuradas*

Ventaja Desventaja	Métodos de eliminación del cianuro		
	Electrocoagulación	Peróxido de hidrógeno	Bacterias
Ventajas	Tiempo de eliminación del cianuro corto (5 minutos). Proceso simple, se electrocoagula y luego se filtra. Eficiencia de eliminación del 75%.	Tiempo de eliminación del cianuro de 4 horas. Proceso simple, se añaden insumos y se mezcla. Elevada eficiencia de eliminación del 99.98%.	No requiere el uso de insumos químicos ni ánodos de sacrificio para eliminar el cianuro. Eficiencia de eliminación del 84%
Desventajas	Generación de lodos, alto consumo de corriente eléctrica, utilización de mucho espacio de trabajo, uso de ánodos de sacrificio.	Consumo de insumos químicos controlados y costosos, se requiere un sistema de extracción y neutralización de gases.	Necesidad de sembrar y cultivar bacterias, elevado tiempo de eliminación del cianuro (72 horas), complejo y delicado sistema.

En la Tabla 24, se muestran 3 métodos de eliminación del cianuro, para nuestras necesidades, se escogió el método de eliminación con peróxido de hidrógeno. Se justifica la elección de dicho método por las siguientes razones:

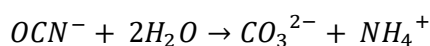
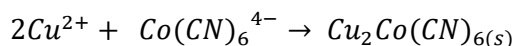
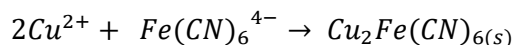
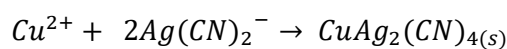
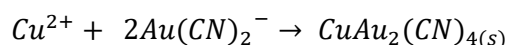
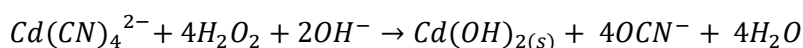
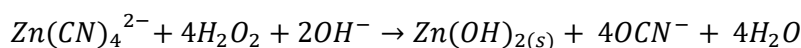
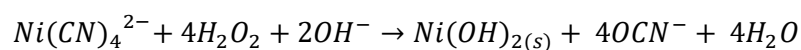
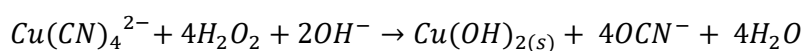
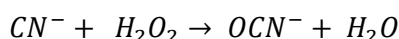
- Elevada eficiencia de eliminación del cianuro (99.98%).
- La empresa tiene permiso para el uso de insumos químicos controlados.
- El peróxido de hidrógeno es un oxidante fuerte y no es contaminante.
- La empresa ya cuenta con un sistema de extracción y neutralizado de gases.
- Se evita el hecho de realizar construcciones civiles de alto costo.
- Mínima inversión en equipos.

3.4.2 Cálculos y determinaciones para evaluar y monitorear la propuesta

Se mencionará el método general de eliminación del cianuro con peróxido de hidrógeno y se diseñará un sistema propio de eliminación del cianuro.

3.4.2.1 Eliminación del cianuro con peróxido de hidrógeno. El método de eliminación del cianuro con peróxido de hidrógeno es eficiente porque es capaz de destruir el cianuro libre (CN^-) y el cianuro WAD (complejos cianurados de Cu, Ni, Zn y Cd). Se suelen usar iones de cobre (solución de sulfato de cobre) como catalizador para aumentar la velocidad de reacción, siendo también capaz de precipitar el cianuro SAD (complejos cianurados de Au, Ag, Fe y Co) (Uceda, 2016).

Se presentan las reacciones ocurridas:



3.4.2.2 Diseño de un sistema de eliminación del cianuro. Para el diseño de un sistema de eliminación del cianuro en Arin S.A. se deben de tener en cuenta los metales en solución presentes y la concentración de cianuro de las aguas residuales provenientes del Booming.

Desde el año 2010, los organismos internacionales prohibieron el uso del cadmio en diversas industrias (incluidas la joyería) debido a su toxicidad, a pesar de que brinda una mayor durabilidad, maleabilidad y disminuye el punto de fusión de la aleación. La exposición al cadmio ocasiona daños a los pulmones, huesos y riñones, también provoca diversos tipos de cáncer (Mead, 2011). Por ello, se descarta el cadmio.

El hierro no se usa como parte de las aleaciones para joyería, aunque tal vez exista algún arrastre ínfimo por procesos anteriores, pero en líneas generales, se descarta.

Los metales como el Au, Ag, Cu, Zn, In, Co y Ni sí están presentes en las aleaciones, por lo tanto, también están presentes en las aguas de lavado del Booming. Dichas aguas de lavado son sometidas a electrólisis con el fin de recuperar el oro presente, recuperando no solo el oro, sino también la gran mayoría de los metales presentes en solución. Las concentraciones iniciales de In, Co y Ni en las aleaciones son muy pequeñas, por ello, luego del Booming y la electrólisis, las aguas restantes tienen concentraciones ínfimas de dichos metales.

Posterior a electrólisis, tenemos cuatro metales presentes en las aguas restantes (Au, Ag, Cu y Zn) las cuales son sometidas por el proceso Merrill-Crowe y el Carbón Activado, que como hemos visto anteriormente, son selectivos al Au y la Ag.

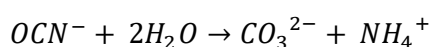
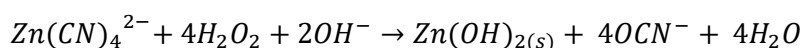
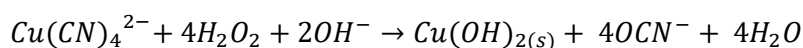
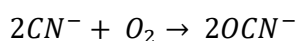
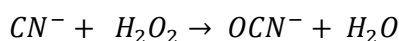
Las aguas residuales provenientes del Booming (después de las recuperaciones) tienen concentraciones de mínimas de Cu (0.55 mg/L) y Zn (1.69 mg/L) las cuales cumplen con los VMA de la Tabla 17: Cu (3 mg/L) y Zn (10 mg/L). Ver Anexo 12.

Otro factor a considerar es la eficiencia del proceso de eliminación del cianuro y, para ello, se utilizará el sulfato de cobre como catalizador, con el fin de disminuir la energía de activación y aumentar la velocidad de reacción.

También sabemos que el oxígeno es un oxidante y por eso lo utilizaremos con dos objetivos, para mezclar los insumos y para oxidar el cianuro presente en las aguas.

Por último, debemos saber la concentración de cianuro presente en las aguas residuales, que es en promedio 250 mg/L.

Para nuestro diseño, las principales reacciones a considerar son:



El cianuro (CN^{-}) se oxida a cianato (OCN^{-}) mediante el peróxido de hidrógeno y el oxígeno del aire presurizado. El cianato se hidroliza, resultando en el ión carbonato

(CO_3^{2-}) y amonio (NH_4^+). Como subproductos de la eliminación del cianuro, tendríamos precipitados de $\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$ y $\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)}$, cuyas cantidades dependen de la concentración de dichos metales en las aguas residuales.

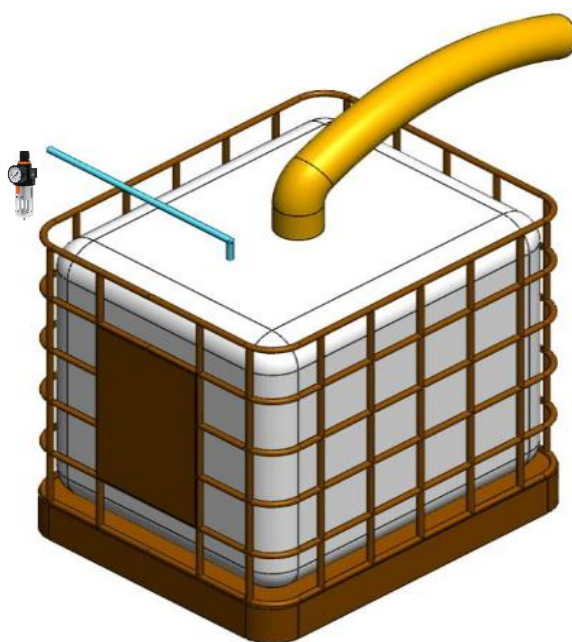
La capacidad de la máquina de recuperación electrolítica es de 500 litros, entonces el lavado de joyas en el Booming se da hasta acumular 500 litros de aguas áuricas para su posterior recuperación de oro, por lo tanto, el diseño tiene que considerar la eliminación de 500 litros de aguas residuales cianuradas.

3.4.2.2.1 *Diseño 1.* Consta de un IBC de 1000 litros de capacidad y una línea de aire con su regulador de presión (ver Figura 35). Por la parte superior se encuentra una manguera para dirigir los vapores, mediante un extractor, hacia la torre de lavado de gases. Los pasos para la eliminación del cianuro son los siguientes:

- Enviar 500 litros de aguas residuales cianuradas al IBC.
- Disolver 100 gramos de CuSO_4 en 100 mL de agua desionizada y agregar al IBC, agitar por 30 minutos con el aire a 5 bar.
- Agregar 5 litros de peróxido de hidrógeno.
- Agitar por 4 horas con el aire a 5 bar mediante 1 línea de aire y 1 agujero.

Figura 35

Diseño N°1, IBC de 1000L de eliminación de cianuro

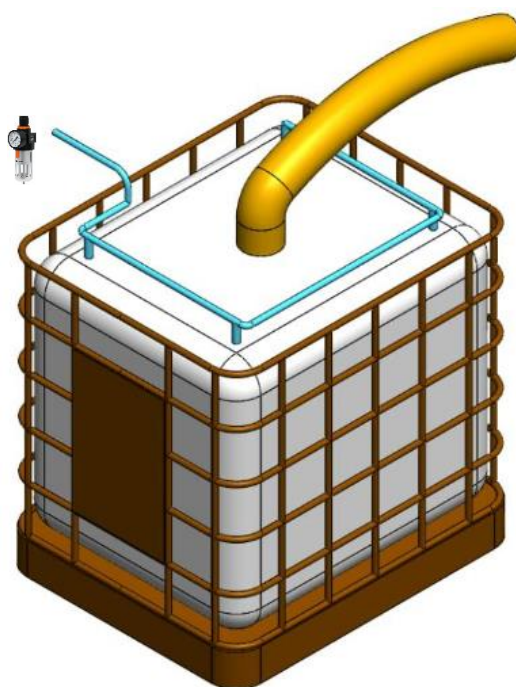


3.4.2.2.2 Diseño 2. Consta de un IBC de 1000 litros de capacidad. El ingreso del aire se da a través de pequeños agujeros en tubos verticales ubicados en las cuatro esquinas del IBC, con el fin de aumentar el área de contacto del aire con las aguas cianuradas (ver Figura 36). Por la parte superior se encuentra una manguera para dirigir los vapores, mediante un extractor, hacia la torre de lavado de gases. Los pasos para la eliminación del cianuro son los siguientes:

- Enviar 500 litros de aguas residuales cianuradas al IBC.
- Disolver 100 gramos de CuSO_4 en 100 mL de agua desionizada y agregar al IBC, agitar por 30 minutos con el aire a 5 bar.
- Agregar 5 litros de peróxido de hidrógeno.
- Agitar por 4 horas con el aire a 5 bar mediante 4 líneas de aire con 4 agujeros cada una.

Figura 36

Diseño N°2, IBC de 1000L de eliminación de cianuro



Más detalles sobre las dimensiones de los Diseños N°1 y N°2 se encuentran en los Anexos 3 y 4.

3.4.3 Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de solución

Para saber si la eliminación del cianuro fue exitosa, se enviaron muestras para analizar el cianuro libre al laboratorio especializado en análisis de minerales K.W. Química Germana S.A.C. (Ver Anexos del 5 al 10). En la Tabla 25, se muestra un cuadro resumen.

Tabla 25

Resultados de análisis de CN^- por K.W. Química Germana S.A.C.

# Prueba	Aguas residuales (L)	Peróxido de hidrógeno 35% (L)	Tiempo (hr)	Concentración CN^- inicial (mg/L)	Concentración CN^- final (mg/L)	# Diseño
1	100	0.5	4	250	25	1
2	100	1	2	250	2.5	1
3	100	1	4	250	1.25	1
4	100	1	5	250	1.25	1
5	100	1	6	250	1	1
6	500	4	4	250	2	1
7	500	4	5	250	3.5	1
8	500	4	6	250	1.6	1
9	500	6	6	250	0.073	2
10	500	6	7	250	0.07	2
11	500	6	8	250	0.07	2
12	500	7	6	250	0.033	2
13	500	8	5	250	0.023	2
14	500	5	2	250	0.093	2
15	500	5	4	250	0.045	2
16	500	6	12	250	0.045	2

Los resultados de la Tabla 25 muestran que la concentración de CN^- ha ido disminuyendo debido a que se variaban parámetros conforme se tenían los resultados de análisis previos. Se variaron cantidades de peróxido de hidrógeno, tiempo de reacción y diseños.

Las concentraciones más bajas de CN^- se dieron en las pruebas 12 y 13, obteniendo 0.033 mg/L y 0.023 mg/L, sin embargo, son las pruebas en donde más se ha consumido el peróxido de hidrógeno.

Se observa que en la Prueba 15 se usan 5 litros de peróxido de hidrógeno (35%) y 4 horas de reacción, resultando en 0.045 mg/L de CN^- . En la prueba 16 se usaron 6 litros

de peróxido de hidrógeno (35%) y 12 horas de reacción, el resultado fue el mismo 0.045 mg/L de CN^- .

Según las normas medioambientales peruanas, las aguas residuales deben tener un máximo de 1 mg/L de cianuro total. Como hemos visto, las aguas residuales que genera Arin S.A. contienen en su gran mayoría cianuro libre CN^- y, en menor porcentaje, el cianuro WAD. Como lo corroboran los resultados del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. (Ver Anexo 11).

Cianuro Total = 248.5 mg/L y Cianuro Libre = 223.7 mg/L

Entonces, para términos prácticos, se consideran los resultados de cianuro libre como si fuesen de cianuro total.

Se define que la Prueba 15 es la que mejor resultados ha dado tomando en cuenta el consumo de peróxido de hidrógeno (35%), el tiempo de reacción y el diseño. Los parámetros de operación definidos son los del Diseño 2:

- 500 litros de aguas residuales cianuradas
- 100 gramos de $CuSO_4$
- 5 litros de peróxido de hidrógeno (35%)
- 4 horas de reacción a 5 bar en 4 líneas de aire con 4 agujeros cada una.

Para corroborar que los parámetros de operación del Diseño 2 son los adecuados, se realizó la eliminación del cianuro a un lote y se analizaron el cianuro total y libre, antes y después del ataque en el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. (Ver Anexo 11) el cual posee la ISO/IEC 17025:2017 y está reconocido por INACAL.

Tabla 26

Resultados de cianuro total y libre por Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Análisis	Muestra inicial	Muestra final
Cianuro total (mg/L)	248.5	<0.005
Cianuro libre (mg/L)	223.7	<0.004

La eliminación del cianuro fue exitosa y se corrobora que los parámetros de operación determinados son los correctos.

3.4.4 Evaluaciones y decisiones tomadas

Arin S.A. posee una fórmula de lavado de joyas en el Booming que genera aguas residuales con una concentración en promedio de 250 mg/L de cianuro total, por lo tanto, el sistema de eliminación de cianuro escogido “Diseño 2” es el adecuado y cumple con las normas medioambientales que exige el gobierno peruano.

3.4.5 Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos

Como Jefe de Áreas Químicas, realizo reportes diarios dirigidos hacia gerencia en donde se aprecia el control del oro debido a que es la materia prima más importante y costosa. El control del oro parte por realizar cortes diarios a los que se les llama “liquidaciones” que vendría a ser el balance de masa del material que ingresa y el material que sale, la diferencia en masa es lo que se vendría a recuperar después, a través de las 3 etapas de recuperaciones de oro que vienen previamente (electrólisis, Merrill Crowe y el carbón activado).

En la Figura 37, podemos ver el reporte diario de mermas de la sección Booming, en donde se aprecian el número de liquidación, el saldo fino (oro fino), el peso bruto raspado (proveniente de la electrólisis) y la merma electrolítica (merma de oro fino).

Figura 37

Reportes diarios de mermas en la sección Booming


BOOMING		FEBRERO		2024				
N° DE LIQUIDACIÓN	SALDO BRUTO SAN	SALDO FINO SAN	LEY DEL SALDO BRUTO	Peso Bruto Raspado	Peso Bruto FUNDIDO	RECUP. ELECTR. G.F.	% Recup Elect. (gf)	MERMA electrol. (g.f.)
177998-178042	1311	657.09	50.1%	1284.63	1225.50	642.90	97.8%	14.19
999-041-072	704.28	384.77	54.6%	703.11	677.40	384.49	99.9%	0.28
178143	1635.17	789.01	48.3%	1620.25	1531.70	783.01	99.2%	6.00
106-147-175	1339.47	748.31	55.9%	1358.64	1266.50	741.54	99.1%	6.77
178185-178215	1280.72	587.5	45.9%	1270.14	1175.10	586.61	99.8%	0.89
216-261-306	1546.6	874.41	56.5%	1505.96	1381.10	846.48	96.8%	27.93
178263-178307	2633.83	1216.98	46.2%	2628.59	2371.80	1210.21	99.4%	6.77
334-398-443	969.19	506.73	52.3%	963.66	885.50	494.20	97.5%	12.53
178332-178422	1851.97	996.27	53.8%	1872.91	1705.00	996.06	100.0%	0.21
178462	1522.22	693.96	45.6%	1560.19	1400.10	704.95	101.6%	-10.99
178502-178527	1627.74	728.45	44.8%	1619.35	1457.20	734.57	100.8%	-6.12
178501-178563	1482.21	790.63	53.3%	1443.06	1309.70	760.41	96.2%	30.22
178566-178608	1637.72	724.5	44.2%	1647.05	1503.10	733.81	101.3%	-9.31
178609-178638	1256.96	669.03	53.2%	1269.85	1180.20	658.55	98.4%	10.48
178639	862.94	376.94	43.7%	853.55	777.50	375.14	99.5%	1.80
178711	1747.48	888.64	50.9%	1718.59	1648.30	867.17	97.6%	21.47
178670	1148.1	574.98	50.1%	1192.12	1105.10	587.69	102.2%	-12.71
178710-178735	999.86	523.72	52.4%	1019.96	926.70	529.98	101.2%	-6.26
178769-178828	1232.87	564.94	45.8%	1245.57	1112.80	562.74	99.6%	2.20
178773-178818	1412.12	759.17	53.8%	1437.89	1325.80	756.90	99.7%	2.27
TOTAL	28202	14056	49.8%	28215.07	25966.10	13957.42	99.3%	98.61

Recuperación zinc	63.92
Recuperación placas	0
Recuperación escorias	14.28
Recuperación otros	0.00

Merma 20.42
% Rec 99.90

En la Figura 38, podemos ver el reporte mensual de mermas de Booming, en donde se aprecian la merma de oro con respecto a la producción y, de esa manera, se pueden obtener varias relaciones, gráficas, tendencias pasadas y posibles tendencias futuras.

Figura 38
Reportes mensuales de mermas en la sección Booming

	FORMATO				Código: GR-PR-002.FO.01 Versión: 01 Fecha: 26/10/2023			
	INFORME DE MERMAS DE CADA SECCIÓN							
	INFORME DE MERMAS 2024 (G.F) SECCION BOOMING							

MERMA DE SISTEMA					MERMA INTERNA			
MES	MERMA SISTEMA	PRODUC CION	% MERMA	% MERMA ESTANDAR	MERMA DE LIQ	MERMA DE RECUP. LEY CONOCIDA	RECUP. LEY DESCONOCIDA	MERMA INTERNA
ENERO	17.48	159,739	0.01%	-0.10%	14056.01	-2.92	14035.62	17.47

Capítulo IV. Discusión de resultados e implicancias

4.1 Contribuciones al desarrollo de la empresa

Arin S.A. tiene como misión, política de responsabilidad social y cultura organizacional, la no contaminación al medioambiente y la mejora continua de los procesos; por ello, es que la eliminación del cianuro en las aguas residuales es tan importante, porque cumple con la filosofía de la empresa.

A través del ahorro económico generado, se pueden realizar más proyectos que sean amigables al medioambiente, mejoras en los procesos, adquisición de equipos más modernos y menos contaminantes.

4.2 Impacto de la propuesta (Económico, tecnológico y ambiental)

La eliminación del cianuro tiene impactos principalmente económicos y ambientales. El impacto ambiental se da porque se dejan de enviar las aguas residuales a rellenos sanitarios, los cuales tienen una capacidad operativa establecida. El impacto económico es el ahorro producido al dejar de contratar los servicios a una empresa para que disponga de las aguas residuales, dicho costo es de S/200,000 soles anuales.

Realizaremos el costo por insumos (ver Tabla 27) que implica eliminar el cianuro con nuestro método, el Diseño 2:

Tabla 27

Costos por insumos del Diseño 2

Insumo químico	Costo unit c/IGV (\$)	Cantidad	Tipo de cambio	Costo por insumos (S/.)
Peróxido de hidrógeno (35%)	0.8	5	3.75	15
Sulfato de cobre	8.85	0.1	3.75	3.32
Costo por 500 litros				18.32

Arin S.A. genera al año 180,000 litros de aguas residuales cianuradas, entonces

500 litros → S/ 18.32

180,000 litros → S/ 6,595.2

Los costos por insumos al año son S/ 6,595.2.

También tendremos en cuenta el costo ocasionado por el compresor que proporciona el aire comprimido en un año. El compresor de aire es de 15 hp ó 11.03 kW, el precio por kWh es 0.16\$

$$180,000 \text{ litros} / 500 \text{ litros} = 360 \text{ veces} \times 4 \text{ horas} = 1,440 \text{ horas}$$

$$0.16 \times 3.75 \times 11.03 \times 1,440 = S/9,529.92$$

Los costos por el oxígeno al año son S/ 9,529.92.

Por lo tanto, los costos por eliminación del cianuro en un año son

$$9,529.92 + 6,595.2 = S/16,125.12$$

Si consideramos que las condiciones en las ventas, costos operativos y demás gastos financieros de Arin S.A. se mantienen, entonces tendríamos un ahorro anual de:

$$200,000 - 16,125.12 = S/183,874.88$$

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se escogió el método de eliminación del cianuro usando el peróxido de hidrógeno y el sulfato de cobre como catalizador, el cual demostró ser eficiente y capaz de eliminar el cianuro presente en las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería.
- Se define el proceso de capaz de eliminar el cianuro mediante el Diseño 2 (ver punto 3.4.2.2.2), el cual consiste en un IBC de 1000 litros de capacidad, 4 líneas de ingreso de aire (cada línea contiene 4 agujeros) y un regulador de presión de aire. Para 500 litros de aguas residuales, se requieren 100 gramos de sulfato de cobre, 5 litros de peróxido de hidrógeno, agitación con aire a 5 bar de presión durante 4 horas.
- Se validó el Diseño 2 y se demostró que es capaz de eliminar el cianuro presente en las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería, reduciendo el contenido de cianuro total de 248.5 mg/L a un contenido <0.005 mg/L, cumpliendo así, con las normas medioambientales del estado peruano.
- El Diseño 2 mejora la disposición de las aguas residuales provenientes del proceso productivo de una joyería dejando de enviar las aguas a un relleno sanitario y generando un ahorro de S/183,875 anuales.

5.2 Recomendaciones

- Buscar proveedores que puedan ofrecer insumos químicos más cómodos que permitan ahorrar más.
- Investigar sobre equipos pulidores que sean capaces de dar brillo a las joyas, como las cadenas, sin la necesidad de utilizar el cianuro de sodio.

Capítulo VI. Referencia bibliográfica

- Ascuña, V., Zela, J., Bolaños, H., Mamani, P., Huamani, R., & Huanca, P. (2018). Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles. *Revista boliviana de química*, 35(5), 161-167.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602018000500005
- Bambague, K. (2017). *Estrategia para biorremediación de aguas residuales contaminadas con cianuro, provenientes del proceso minero de lixiviación de oro* [Tesis de grado, Universidad del Cauca]. Repositorio Universidad del Cauca.
<http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/9341/Estrategia%20para%20biorremediación%20de%20aguas%20residuales%20contaminadas%20con%20cianuro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cáceres, E., & Ames, H. (2019). Evaluación experimental del tratamiento de efluentes cianurados de una minera aurífera por el método de Taguchi. *Investigación aplicada e innovación*, 13, 74-81.
https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/Tratamiento%20de%20efluentes%20cianurados%20por%20el%20método%20Taguchi_Revista%20Tecsups_V13_2019.pdf
- Chang, R., & Goldsby, K. (2017). *Química* (12va edición). McGraw-Hill.
- Durante, E. (2016). *Tratamiento por electrocoagulación de aguas de cianuración generadas en el beneficio del oro en una zona minera del sur de Bolívar, Colombia* [Tesis de grado, Universidad de Córdoba]. Repositorio institucional Unicordoba.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/6a7b071e-d115-49ab-921c-a0b3f50324f3/content>
- Gasca, J. (2016). *Carbón activado de carácter básico para recuperar oro de lixiviados cianurados* [Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.]. Repositorio IPICYT.

<https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1811/1/TMIPICYTG3C32016.pdf>

Lleras, R., & González, L. (2005). *Joyas de los Andes, metales para los hombres, metales para los dioses*. Museo chileno de arte precolombino. <https://museo.precolombino.cl/wp-content/uploads/2020/10/Joyas-de-los-Andes-1.pdf>

Logsdon, M., Hagelstein, K., & Mudder, T. (2001). *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente. [http://www.ingenieroambiental.com/200/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/200/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)

Makoba, M. (2013). Zinc precipitation on gold recovery. *911 Metallurgist Blog*. <https://www.911metallurgist.com/blog/wp-content/uploads/2015/08/Merrill-Crowe-Flowsheet-ZINC-PRECIPITATION-ON-GOLD-RECOVERY.pdf>

Mas, M., Aguirre, F., Amaya, G., Torres, F., & Marchevsky, N. (2013). *Procesos de destrucción de complejos cianurados*. Universidad Nacional de Cuyo. <https://fcai.uncuyo.edu.ar/upload/14amtc-mas-unlp.pdf>

Metalliferous Mining – Processing (2010). *Electrowinning and Smelting, resource book*. <https://rsteyn.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/07/electrowinning-and-smelting-basics.pdf>

Perry, R., Green, D., & Maloney, J. (1999). *Perry's chemical engineers's handbook* (7th edition). McGraw-Hill.

Petrucci, R., Herring, F., Madura, J., & Bissonnette, C. (2011). *Química general, principios y aplicaciones modernas* (10ma edición). Pearson.

Prías, J., Rojas, C., Echeverry, N., Fonthal, G., & Calderón, H. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua angustifolia* Kunth. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(135), 157-166.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000200004

- Tapia, M. (2013). *Diseño e implementación de sistemas para la recuperación de oro en solución por cementación y electrólisis, a escala de laboratorio* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio EPN.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6403/1/CD-4932.pdf>
- Tovar, O., Sánchez, W., & García, C. (2005). *Uso y manejo de cianuro en la pequeña minería*. Ministerio de Energía y Minas.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5210301/Uso%20y%20manejo%20del%20cianuro%20en%20la%20pequeña%20minería.pdf>
- Uceda, D. (2016). *Hidrometalurgia química e ingeniería*. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
<https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743-1552.pdf>
- Vanýsek, P. (2010). *Electrochemical series*. Colorado State University.
https://diverdi.colostate.edu/all_courses/CRC%20reference%20data/electrochemical%20series.pdf
- Vargas, J. (2016). Determinación de la mejor práctica industrial en el tratamiento de aguas cianuradas y propuesta de optimización [Tesis de maestría, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio UPB. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2957>

ANEXOS

Anexo 1: Certificado laboral Arin S.A.

	
<h3><u>CONSTANCIA DE TRABAJO</u></h3>	
A QUIEN CORRESPONDA:	
<p>Por el presente dejamos constancia que el Sr (a) DIONICIO PARRA IVAN ALESSIO identificado con DNI. Nro. 46900846 labora en nuestra Empresa Desde el 25/04/2022 hasta la actualidad, laborando como:</p>	
JEFE DE AREA QUIMICAS.	
<p>Se extiende el presente para los fines que el interesado considere pertinentes acreditar.</p>	
<p>Chorrillos, 15 de Abril de 2024</p>	
<p>Atentamente,</p>	
<div> LIC. PEDRO BELTRÁN ANTONOLI GERENTE EN GERENCIA HUMANA</div>	
<p>LIMA: Jr. El Amauta N° 197 Urb. San Juan Bautista de Villa - Chorrillos - Lima - Perú ☎ (51 1) 254 7892 Anexo 200 - ✉ ventas@arinsa.com.pe</p>	

Anexo 2: Certificado laboral Aris Industrial S.A.



CERTIFICADO DE TRABAJO

Mediante el presente documento certificamos que el Sr. IVAN ALESSIO DIONICIO PARRA, identificado con DNI N°46900846, ha laborado en mí representada, ARIS INDUSTRIAL S.A. con RUC N° 20100257298, desempeñándose en el cargo de SUPERVISOR DE TURNO, en la subdivisión Sulfónico, división Químicos, en el siguientes periodos:

DEL: 05.02.2018 AL: 07.09.2021

Se extiende el presente a solicitud de el interesado y para los fines que estime conveniente.

Lima, 24 de Septiembre del 2021

ARIS INDUSTRIAL S.A.

Ricardo Condori Fernández
Jefe de Recursos Humanos

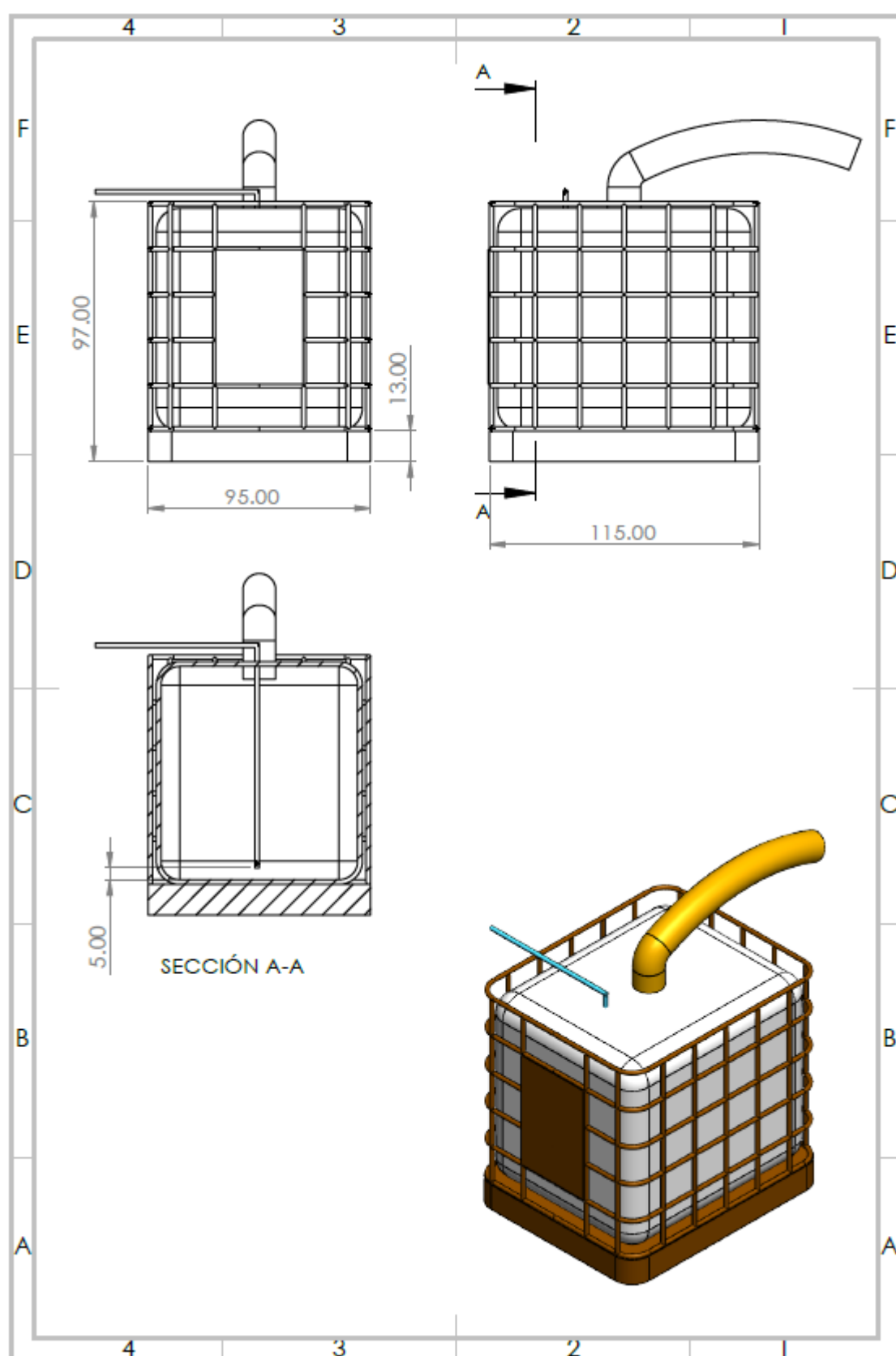
◆ TEXTIL

◆ QUÍMICOS

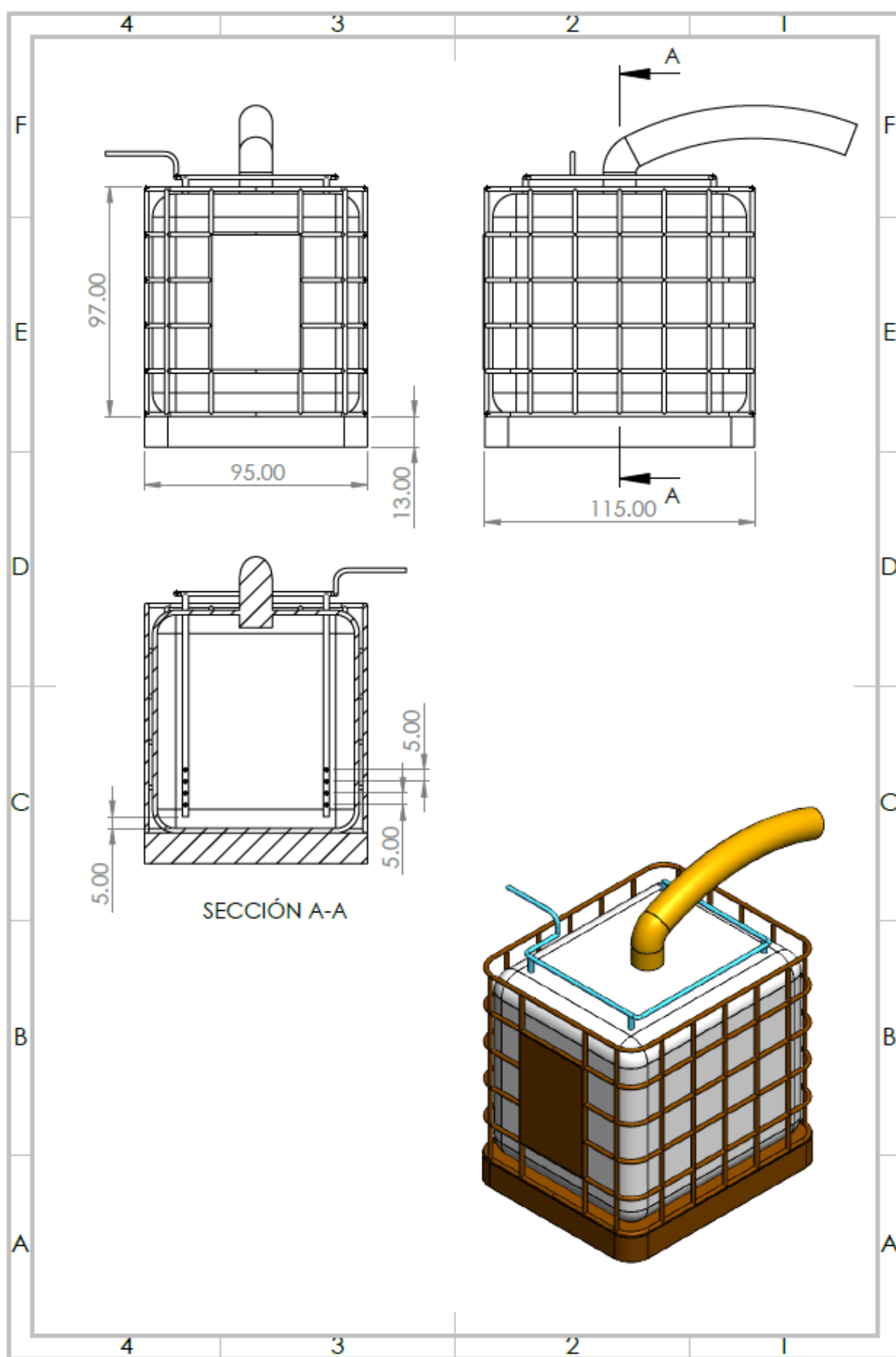
◆ CERÁMICOS

Av. Industrial 491 Lima 1 - Perú / (511) 336 5428 / aris@aris.com.pe / www.aris.com.pe

Anexo 3: Vistas del Diseño 1




Anexo 4: Vistas del Diseño 2



Anexo 5: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 1

Pág.: 1/1



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 Jr. La Maquinaria N° 218 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
 Telf: 251 0442 - 251-0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

INFORME DE ENSAYO

KW 1429 / 2023

Fecha : 28 / 06 / 2023

Cliente : **ARIN S.A**

Referencia : Carta: 21.06.2023


Material : SOLUCION

Cantidad de Muestra(s) : **04**

Orden de Trabajo : **KW 0773/ 2023**

Cerrados ☒ Abiertos ☐

N° LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Cianuro Libre ppm
KW 2649	P. N.º 02	2.50
KW 2650	P. N.º 03	1.25
KW 2651	P. N.º 04 S/H	1.25
KW 2652	P. N.º 05	1.00



* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente

* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.


* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.

* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.

R.U.C. 20516566877

Anexo 6: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 2

Pág.: 1/1



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
 Telf: 251 0442 - 251 0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

INFORME DE ENSAYO

KW 1672 / 2023

Fecha : 19 / 07 / 2023

Cliente : **ARIN S.A**

Referencia : GR.0003 N° 123325

Material : SOLUCION

Cantidad de Muestra(s) : **04**

Orden de Trabajo : **KW 0909/ 2023**

Cerrados ☒ Abiertos ☐

N° LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Cianuro Libre ppm
KW 3067	A.P 05 23.06	124
KW 3068	P 06	2.0
KW 3069	P 07 S/H	3.5
KW 3070	P 08 C/H	1.6


* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente

* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.


* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.

R.U.C. 20516566877



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

Anexo 7: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 3



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
Telf: 251 0442 - 251-0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

Pág.: 1/1

INFORME DE ENSAYO

KW 2024 / 2023

Fecha : 22 / 08 / 2023

Cliente : **ARIN S.A**

Referencia : Carta 16.08.2023


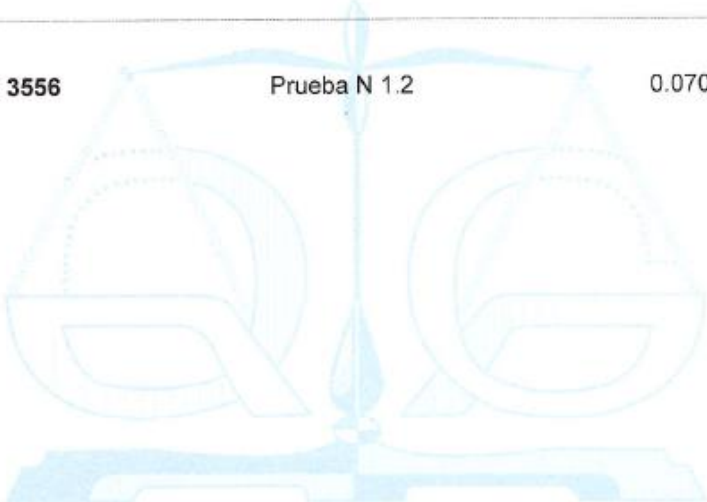
Material : SOLUCION

Orden de Trabajo : KW 1071/ 2023

Cantidad de Muestra(s) : 01


Cerrados ☒ Abiertos ☐

N° LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Cianuro Libre ppm
KW 3555	Prueba N 1.1	0.073
KW 3556	Prueba N 1.2	0.070



* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente
* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.
* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.
R.U.C. 20516566877

Anexo 8: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 4



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
Telf: 251 0442 - 251-0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

Pág.: 1/1

INFORME DE ENSAYO

KW 2023 / 2023

Fecha : 22 / 08 / 2023

Cliente : **ARIN S.A**

Referencia : Carta:17.08.2023

Material : SOLUCION


Orden de Trabajo **KW 1086/ 2023**


Cantidad de Muestra(s) **01**

Cerrados ☒

Abiertos ☐

N° LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Cianuro Libre ppm
KW 3629	Prueba N 1.3	0.070





Jana Or
K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente


* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.

* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.

R.U.C. 20516566877

Anexo 9: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 5



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
Telf: 251 0442 - 251-0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

Pág.: 1/1

INFORME DE ENSAYO

KW 2379 / 2023

Fecha : 22 / 09 / 2023


Cliente : **ARIN S.A**

Referencia : Cot KW 0925 / 2023 Carta: 18.09.2023

Material : SOLUCION Orden de Trabajo : **KW 1266/ 2023**

Cantidad de Muestra(s) : **02** Cerrados ☒ Abiertos ☐

Nº LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Cianuro Libre ppm
KW 4156	Cianuro 7 litros	0.033
KW 4157	Cianuro 5 horas	0.023



* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente
* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada
* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.
R.U.C. 20516566877

Anexo 10: Resultados del laboratorio K.W. Química Germana S.A.C. 6

Pág.: 1/1



K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
 Telf: 251 0442 - 251-0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

INFORME DE ENSAYO

KW 2437 / 2023

Fecha : 02 / 10 / 2023
 Cliente : **ARIN S.A**
 Referencia : Cot KW 0970 / 2023 Carta: 29.09.2023
 Material : SOLUCION Orden de Trabajo : **KW 1327/ 2023**
 Cantidad de Muestra(s) : **03** Cerrados ☒ Abiertos ☐

N° LAB.	IDENTIFICACION DEL CLIENTE	Cianuro Libre ppm
KW 4320	Destrucción de Cianuro después de 2 horas y 5 Litros	0.093
KW 4321	4 horas 5 litros Peroxido	0.045
KW 4322	6 litros y 12 horas de Peroxido Destrucción de cianuro	0.045


K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente
 * Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
 * Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.
 * Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.
 R.U.C. 20516566877

Anexo 11: Resultados del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. 1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 176217-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua residual	Agua residual	Agua de proceso	Agua residual
Materia analizada		Agua residual	Agua residual	Agua de proceso	Agua residual
Fecha de muestreo		2023-08-28	2023-08-28	2023-08-28	2023-08-28
Hora de inicio de muestreo (h)		09:10	09:10	09:35	09:45
Coordenadas UTM WGS 84 18L		8651013N	8651013N	8651021N	8651024N
Altitud (msnm)		38	38	42	42
Descripción del punto de muestreo		Punto ubicado en el buzón final, área de lavado de manos a 1 metro de la caseta de vigilancia.	Punto ubicado en el buzón final, área de lavado de manos a 1 metro de la caseta de vigilancia.	Muestra tomada en el área booming, tinas electrolíticas previa a la recuperación.	Muestra tomada en el área booming, tanque de almacenamiento de agua residual.
Condiciones de la muestra		Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente		AR-01	AR-01	BO-01	BO-02
Código del Laboratorio		23081707	23081708	23081711	23081712
Ensayo	Unidad	Resultados			
Acetatos y grasas (HEM)	mg/L	53.1	////	////	////
Cianuro Total	mg/L	0.020	////	248.5 *	<0.005
Cianuro libre	mg/L	////	////	223.7 *	<0.004
Cromo Hexavalente (VI)	mg/L	<0.007	////		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	118.90	////		
Nitrógeno Amoniacal / Amoniac	NH ₄ ⁺ - N mg/L	4.620	////		
Sólidos Sedimentables (SS)	mg/L	133.20	////		
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	133.20	////		
Sulfuros	S ²⁻ mg/L	0.079	0.077		
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ mg/L	259.10	////		
Temperatura (medición en campo)	° C	25.2	////		
Código del Cliente		Blanco de campo (BKC)	Blanco viajero (BKV)		
Código del Laboratorio		23081709	23081710		
Ensayo	Unidad	Resultados			
Cromo Hexavalente (VI)	mg/L	<0.007	////		
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	////	<3.00		

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS para la matriz agua de proceso.
////: Ensayo no solicitado.

Cod. FI 002 / Versión: "1" / FE: 06/2023

Este informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multi lateral/multis de los miembros firmantes de IAC e IAC.

INFORMACIÓN: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de validez de la muestra analizada con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego será eliminadas.

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puedes comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá en aviso: Validez de firma: firma válida, de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si se informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima.

• Central telefónica: (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Anexo 12: Resultados del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 176217-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua residual	Agua residual	Blanco
Matriz analizada	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo	2023-08-28	2023-08-28	2023-08-28
Hora de inicio de muestreo (h)	09:10	09:10	09:10
Coordenadas UTM WGS 84 18L	8651013N	8651013N	8651013N
Altitud (msnm)	38	38	38
Descripción del punto de muestreo	Punto ubicado en el buzón final, área de lavado de manos a 1 metro de la caseta de vigilancia.	Punto ubicado en el buzón final, área de lavado de manos a 1 metro de la caseta de vigilancia.	Punto ubicado en el buzón final, área de lavado de manos a 1 metro de la caseta de vigilancia.
Condiciones de la muestra	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente	AR-01	DUPLICADO (AR-01)	Blanco de campo (BKc)
Código del Laboratorio	23081707	23081708	23081709
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)			
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.0006	mg/L	0.0007
Aluminio (Al)	0.004	mg/L	0.004
Arqueica (As)	0.001	mg/L	0.001
Bario (Ba)	0.0025	mg/L	0.0025
Bromo (Br)	0.0025	mg/L	0.0025
Cadmio (Cd)	0.0005	mg/L	0.0005
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.0005
Cromo (Cr)	0.0005	mg/L	0.0005
Cupero (Cu)	0.0005	mg/L	0.0005
Hierro (Fe)	0.0005	mg/L	0.0005
Mercurio (Hg)	0.0005	mg/L	0.0005
Molibdeno (Mo)	0.0005	mg/L	0.0005
Níquel (Ni)	0.0005	mg/L	0.0005
Plata (Ag)	0.0006	mg/L	0.0007
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.0005
Selenio (Se)	0.0005	mg/L	0.0005
Silicio (Si)	0.0005	mg/L	0.0005
Sodio (Na)	0.0005	mg/L	0.0005
Vanadio (V)	0.0005	mg/L	0.0005
Zinc (Zn)	0.0005	mg/L	0.0005

L.D.M.: límite de detección del método.

Lima, 08 de Setiembre del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión: 11 / E.E. 06/2023

Este informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/multio de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puede comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: "Validez de firma: firma válida", de lo contrario el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima.

• Central telefónica: (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 3 de 3