Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0

Recibo de pago N° 825322

Visto el Informe **N° 059-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG**, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 057-2025

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud del **Trabajo de Suficiencia Profesional** cuyo título es:

"MODELO DE REEMPLAZO DE ACTIVOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA (LLC) APLICADO AL SISTEMA DE CARBONATO DE ESTRONCIO DE LA REFINERÍA DE ZINC DE NEXA RESOURCES S.A COMPLEJO MINERO."

Presentado por:

CHAVEZ VALENCIA, GINO ROBERTO

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de DOS POR CIENTO **(2%)**, por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 26 de febrero del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Dr. José Luis Donayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica

“Modelo de reemplazo de activos mediante el análisis de costo de ciclo de vida (LLc) aplicado al sistema de carbonato de estroncio de la Refinería de Zinc de Nexa Resources S.A. complejo minero.”

Línea de Investigación: Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

Trabajo por Suficiencia Profesional

Presentado por:

Bach. **Chavez Valencia Gino Roberto**

Ica, Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios, que me dio una familia maravillosa que siempre creyó en mí, que me dio un ejemplo de superación, humildad y sacrificio, y que me enseñó a valorar todo lo que tengo.

A mis padres, que siempre me apoyaron mentalmente y de manera incondicional, para poder convertirme en un profesional.

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica por abrirme sus puertas y permitirme estudiar en sus aulas

Gracias mi familia por ser mi apoyo en mi deseo de perfección y mis ganas de triunfar en la vida.

A mis profesores de la universidad, por ser una inspiración para todos los estudiantes.

A todos los que me ayudaron en este trabajo con su experiencia.

ÍNDICE

PORTADA ……i
DEDICATORIA ……...ii
AGRADECIMIENTO …… iii
INDICE DE CONTENIDOS ……iv
Índice de tablas……vi
Índice de figuras…… vii
RESUMEN……viii
ABSTRACT……ix
INTRODUCCION 10
B. BASE TEORICA 13
b1.- Proceso de análisis de costes del ciclo de vida (ACCV).……13
b2.- Aspectos teóricos básicos del coste 14
b3.- Costos operativos y de soporte..……..…….15
b4.- Proceso de solicitud de tecnología ACCV ……..……16
b5.- Evaluación del impacto de la confiabilidad en el modelo ACCV……...18
b6.- El proceso de análisis de costo ciclo de vida (ACCV) ……20
b7.- Conceptos básicos del análisis del coste del ciclo de vida (LCC)..…….20
b8.- Objetivo del coste del ciclo de vida (LCC). 22
b9 Etapas del ciclo de vida de los activos y LCC ……..…….22
CAPÍTULO I: CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLO LA EXPERIENCIA 24
1.1 Contexto Laboral…….....24
1.2 Descripcion de la entidad…….....24
1.2.1 Misión 24
1.2.2 Visión 24
1.2.3 Nexa Resources Peru S.A.A.....……..25
1.3 Acerca de Nexa Resources Peru S.A.A 25
1.4 Ubicación donde se desarrolló la experiencia 26
1.5 Refinería de Cajamarquilla..... 27
1.6 Problemática 29
1.7 Objetivo……30
1.8 Actividad……..30
CAPÍTULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL..... 32
CAPÍTULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL 37
3.1 Desarrrollo de la experiencia……...37
3.2 Aplicación de la experiencia profesional ……..…..38

CAPÍTULO IV: REFLEXION CRITICA A DE LA EXPERIENCIA..... 64
CONCLUSIÓNES..... 66
RECOMENDACIÓNES..... 67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68
ANEXOS 70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. CARACTERÍSTICA Y PERFORMANCE DE LAS BOMBA PERISTALTICA ……51

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Fases del ciclo de vida 24
Fig. 2. Republica del Perú 27
Fig. 3. Distrito Lurigancho 27
Fig. 4 Ruta de transporte de mineral de la refinería 27
Fig. 5. Estructura organizacional en la refinería de Cajamarquilla 29
Fig. 6. Zona Nueva – Shougang Hierro Perú 30
Fig. 7 Consumo de Carbonato de estroncio (Kg) en el primer semestre del 2018 31
Fig. 8. Costos asociados al consumo de Carbonato de Estroncio en el Primer Semestre del año 2018 31
Fig. 9. Area de concentrado del mineral 40
Fig.10. Planta de tostación de concentrado de zinc 41
Fig. 11. Planta de Lixiviación y Purificación 42
Fig.12. Planta de flotación 42
Fig.12. Area de electrolisis el zinc 43
Fig. 13. Celda simplificada de electrolisis de zinc 44
Fig.14 Macroflujograma del proceso de electrolisis 52
Fig. 15. Fusión y moldeo 53
Fig. 16. Elaboración propia del sistema de Carbonato de estroncio 54
Fig. 14. Sistema de carbonato de estroncio 56

RESUMEN

Se enfoca en aplicar un modelo de reemplazo de activos a través del análisis del costo del ciclo de vida (LLC o LCC o CCV) con el objetivo de aumentar la recuperación de zinc en el proceso minero de hidrozinc en la Refinería de Cajamarca, como una instalación de producción unitaria de Nexa Resources. Las pruebas tienen como objetivo reducir la proporción de zinc presente como compuesto insoluble en el producto final del proceso de lixiviación, expresado como zinc insoluble de residuos de plomo/plata, mediante la aplicación de herramientas estadísticas para el análisis del costo del ciclo de vida (LLc). Se utilizan para identificar variables de mayor impacto y a través de ellas recomendar acciones sostenidas en el tiempo para controlar la variación de los procesos. Se espera recuperar el 1,09% del zinc en los residuos de Pb/Ag, lo que representa el 0,15% de la recuperación total de zinc de la refinería, lo que refleja un aumento de US$1,03 millones por año. Se concluye que la aplicación del análisis de costo del ciclo de vida (LLc), que es una herramienta estadística para la mejora continua, asegura la reducción de la variación del proceso utilizando el análisis estadístico propuesto, donde se estudian medidas estrictas de control de cada variable para reducir la variación del proceso.

Palabras clave: análisis de costos del ciclo de vida, confiabilidad, sistema de carbonato de estroncio,

ABSTRACT

It focuses on applying an asset replacement model through life cycle cost (LLc) analysis with the objective of increasing zinc recovery in the hydrozinc mining process at the Cajamarca Refinery, as a unit production facility. from Nexa Resources. The tests aim to reduce the proportion of zinc present as an insoluble compound in the final product of the leaching process, expressed as insoluble zinc from lead/silver waste, by applying statistical tools for life cycle cost analysis (LLC). They are used to identify variables with the greatest impact and through them recommend sustained actions over time to control process variation. 1.09% of the zinc in the Pb/Ag residue is expected to be recovered, representing 0.15% of the refinery's total zinc recovery, reflecting an increase of US$1.03 million per year.

It is concluded that the application of life cycle cost analysis (LLc), which is a statistical tool for continuous improvement, ensures the reduction of process variation using the proposed statistical analysis, where strict control measures are studied for each variable to reduce process variation.

Keywords: life cycle cost analysis, reliability, strontium carbonate system,

INTRODUCCIÓN

El análisis del costo del ciclo de vida (LLA) es un método desarrollado para evaluar cómo cambiará el costo de un activo a lo largo de su vida útil.

Este trabajo aplica la metodología análisis de costo de ciclo de vida en los activos que conforman el sistema de carbonato, con la finalidad de reducir el índice de Plomo en las láminas de Zinc durante el proceso de electrolisis en la Refinería de Cajamarquilla, compañía Minera Nexa Resources, a través de diversos eventos de falla del activo en el sistema de producción.

Dada la importancia de estudiar la ingeniería de confiabilidad e implementar buenas prácticas de mantenimiento, el siguiente trabajo tiene como objetivo aprovechar al máximo la experiencia y el método de análisis de costos del ciclo de vida propuesto como herramienta para apoyar la toma de decisiones por parte de los comandantes y gerentes de mantenimiento de los activos que conforman un sistema de carbonato de estroncio.

Estas innovaciones nos han permitido Analizar las diversas estrategias en el desarrollo del trabajo desde el inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control hasta lograr un trabajo compatible. Es importante aclarar que durante el proceso de LLC se deben adoptar muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, a lo largo de la vida del activo industrial. Señalamos que la mayoría de estas acciones, especialmente las que corresponden a la fase de diseño del sistema productivo, tienen un impacto significativo en el ciclo de vida del activo y un impacto significativo en los costes totales de fabricación.

Las decisiones relativas al proceso de mejora del factor “confiabilidad” (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallas, costo del mantenimiento preventivo/correctivo, nivel de mantenibilidad y accesibilidad), son particularmente interesantes porque estos aspectos son de gran importancia.

Afecta el costo total del ciclo de vida del activo y afecta significativamente las perspectivas potenciales de extender la vida útil del sistema de producción al costo. costes.

a) Antecedentes:

Parra y Crespo en el año 2019 [1] en el análisis de coste de ciclo de vida (ACCV) es una metodología desarrollada para evaluar como varían los costes de un activo en su ciclo de vida útil. En este trabajo se exploran los aspectos relacionados con el impacto de la confiabilidad en los costes totales de ciclo de vida y se analizan y cuantifican de forma objetiva, el impacto real de la aplicación de las herramientas de optimización del mantenimiento, propuestas por la industria 4.0: digitalización, internet de las cosas, machine learning, etc., a lo largo de la vida de un activo. El artículo, también incluye la presentación de un caso de estudio desarrollado en el sector Oil & Gas, cuyos resultados, permiten analizar

las fortalezas y las limitaciones (realidades y mitos) de las técnicas de mejora del mantenimiento propuestas por la Industria 4.0. Finalmente, el trabajo concluye mostrando los posibles caminos para investigaciones futuras dentro del área de evaluación del impacto económico de la confiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial.

Gómez el año 2019 [2] muestra un sistema híbrido de costeo a partir de los lineamientos de la norma ISO 15663 para análisis del ciclo de vida de los activos complementado con el costeo basado en actividades para una planta piloto y un laboratorio en un Centro de Innovación y Tecnología, el cual se adapta a las necesidades y objetivos de la organización. La metodología utilizada es de tipo cualitativo en la cual se llevó a cabo una revisión teórica y el posterior análisis de los diferentes sistemas contables junto con visitas de campo y entrevistas, así se generó un diagnóstico a partir del cual se identificaron fortalezas y debilidades del sistema contable actual implementado. Se identificaron cuatro fases del ciclo de vida a trabajar: incorporación, operación, mantenimiento y desincorporación, con sus variables específicas. Se estableció el procedimiento de imputación de costos directamente relacionados con cada variable y costos transferidos relacionados con actividades de apoyo a través de inductores de costo. Se cuantifica el costo de ciclo de vida integrando las fases ya mencionadas, el tiempo de vida del activo y la tasa de descuento planteada por la organización. El aporte es importante teniendo en cuenta el impacto económico que generará un sistema de costeo ajustado a la estructura económica general de una empresa de oil & gas. En este contexto, el artículo presenta un modelo de costeo híbrido que permita tener una visión real de los costos del ciclo de vida útil de los activos de la organización para la toma de decisiones en contextos de compra y desincorporación de un activo.

b) Planteamiento del problema

Se propone el desarrollo de un método de análisis de costos del ciclo de vida que permita una buena toma de decisiones entre reparación o reemplazo de un activo con otro y control de la contaminación por plomo en las placas de zinc, ya que estas placas. contiene un alto porcentaje de plomo que afecta en la etapa final de fusión y vertido.

objetivos

Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos que conforman el sistema de carbonato y estroncio

c) Alcance

Para demarcar el alcance de este informe se revisó las operaciones efectuadas en los procesos de mantenimiento en las áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto de la empresa minera. Con este estudio se pretendió reducir los sobrecostos que se dan de la siguiente manera:

- Menores tiempos ante paros en las actividades de mantenimiento.
- Mayor disponibilidad de equipos.

d) limitaciones

- Falta de planificación del mantenimiento preventivo
- Requerimiento inoportuno de materiales para el mantenimiento.
- Poco reporte de las desviaciones o posibles alertas en los equipos de las condiciones de los equipos.
- Poca información de los equipos
- Falta de seguimiento a los mantenimientos programados
- Falta de reuniones de planeamiento

e) justificación

El presente informe se justifica debido a la importancia de estudiar la ingeniería de confiabilidad e implementar buenas prácticas de mantenimiento, teniendo como objetivo aprovechar al máximo la experiencia y el método de análisis de costos del ciclo de vida propuesto como herramienta para apoyar la toma de decisiones por parte de los comandantes gerentes de mantenimiento de los activos que conforman un sistema de carbonato de estroncio. Una vez tomada la decisión y iniciado el proceso, el objetivo es reducir el índice de plomo en las láminas de zinc de proceso en la zona de electrólisis y no afectar la siguiente etapa del proceso de fundición y moldeado, evitando el reciclaje.

f) Motivo de elección de tema

Este trabajo incluye una combinación de conocimientos y experiencia teóricos y prácticos que me permiten participar en el proyecto, basando el trabajo en estándares y recomendaciones encaminadas a mejorar la seguridad operativa de los equipos que se esta reparando [3].

La razón principal detrás de esto es aumentar la conciencia sobre los aspectos administrativos del diseño y la implementación, tales como:

- Analizar las diversas estrategias en el desarrollo del trabajo desde el inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control hasta lograr un trabajo compatible.
- Además, conocer con mayor detalle los cálculos de electricidad, así como calcular la capacidad disponible para cada caso en beneficio de la producción de la empresa minera.

Realmente espero que este informe sea de utilidad para cualquier persona que desarrolle su actividad profesional en el campo de la electromecánica.

A. BASE TEORICA

b1 Proceso de análisis de costes del ciclo de vida (ACCV)

El concepto de análisis de costes del ciclo de vida (LCCA) comenzó a aplicarse de forma sistemática en los años 1970, especialmente en el seno del Departamento de Defensa de Estados Unidos, en el ámbito de la aviación militar.

Sin embargo, la mayoría de los métodos desarrollados por el Departamento de Defensa en esta etapa están orientados al proceso de adquisición y logística y no incluyen la fase de diseño y producción.

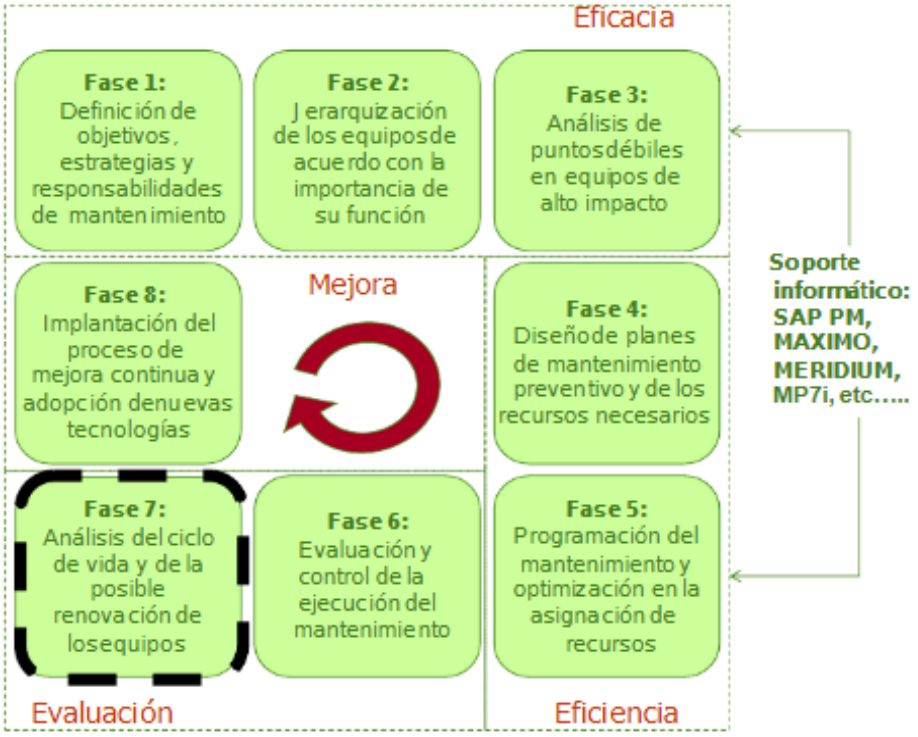


Fig.1. Modelo integral del proceso de gestión del mantenimiento (MGM)

[4] El ACV se define como un método de cálculo económico destinado a mejorar el proceso de toma de decisiones relacionadas con los procesos de diseño, selección, desarrollo y reposición de los activos que integran un sistema productivo.

Propone una evaluación cuantitativa de todos los costos asociados con la vida económica esperada, expresados en equivalentes monetarios anuales (USD/año, EUR/año, pesos/año). [5].

Distingue entre seis etapas en el ciclo de vida de los activos: reconocimiento de la necesidad, desarrollo del diseño, producción, distribución, uso y disposición. El proceso del ciclo de vida comienza con la definición de las diversas tareas de fabricación del diseño inicial [6].

Posteriormente se desarrollarán actividades tales como: planificación de la producción, diseño de planta, selección de equipos, determinación del proceso de producción y otras actividades similares.

Luego se tendrá en cuenta la logística antes de la fase de diseño. Esta fase incluye el desarrollo del soporte necesario para el diseño y las diversas etapas de producción, el soporte a los usuarios potenciales, los planes de mantenimiento planificados para el uso del activo (ver Figura 1: Modelo completo de gestión del mantenimiento de activos) y el proceso de análisis de activos.

Como parte de las técnicas de análisis del ciclo de vida, [5].

Se propone evaluar los siguientes aspectos: procesos productivos flexibles, protección del medio ambiente, condiciones de trabajo, operaciones de mantenimiento, mejora de los recursos humanos y economía.

En los últimos años, expertos en los campos de la ingeniería de valor, el diseño y la optimización de la fabricación han mejorado el proceso de medición de costos, incluyendo el uso de técnicas para medir el factor de confiabilidad y el impacto de las fallas en el costo total de un sistema de producción a lo largo de su ciclo de vida.[7].

Estas innovaciones nos han permitido reducir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones en áreas de importancia crítica como: diseño, desarrollo, mantenimiento, reposición y adquisición de activos inmobiliarios de exportación. Es importante aclarar que durante este proceso se deben aplicar muchas decisiones y procedimientos, tanto técnicos como no técnicos, a lo largo de la vida del activo industrial [8] Destacan que la mayoría de estos procedimientos, especialmente los que corresponden a la fase de diseño del sistema productivo, tienen un impacto significativo en el ciclo de vida del activo y un impacto significativo en los costes totales de fabricación. Las decisiones relativas al proceso de mejora del factor “confiabilidad” (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallas, costo del mantenimiento preventivo/correctivo, nivel de mantenibilidad y accesibilidad), son particularmente interesantes porque estos aspectos son de gran importancia. Afecta el costo total del ciclo de vida del activo y afecta significativamente las perspectivas potenciales de extender la vida útil del sistema de producción a un costo razonable.

b2 Aspectos teóricos básicos del coste

El coste total del activo, desde la concepción hasta el desmantelamiento, correrá a cargo del usuario y tendrá un impacto directo en la comercialización de ese activo [9].

Como comprador, pagaremos por los recursos necesarios para diseñar y comercializar el activo, y como usuario del activo, pagaremos por los recursos necesarios para utilizarlo, operarlo y disponer de él.

Los costos totales del ciclo de vida se pueden dividir en diferentes categorías, como se muestra en la Figura 2.

Este análisis se denomina: Estructura de desglose de costos (CBS).

En general, el costeo basado en costos representa los principales tipos de costos asociados con el diseño, producción, comercialización, uso y disposición de un activo en particular, aunque se debe tener en cuenta el análisis de nivel y tipos.

Los diferentes costos dependen de diversos factores como: la naturaleza del activo a desarrollar, el tipo de información disponible, el proceso de diseño y fabricación, variables económicas, recursos humanos y tecnología disponible, además de muchos otros factores.

Otro aspecto interesante se relaciona con la diferencia de importancia entre diferentes tipos de costos, por ejemplo, mientras la organización quiere saber el costo total del activo a desarrollar, al diseñador solo le interesa prestar atención a los costos que puede controlar.

Es difícil visualizar algunos de los costos incurridos durante la vida útil de un activo durante la fase de diseño; Estos costos están relacionados con cómo la organización desarrolla el producto.

Por lo tanto, la determinación de los costos totales del ciclo de vida de un activo debe clasificarse en costos relacionados con el proceso general de desarrollo y costos relacionados con el proceso de diseño del activo.

Algunos tipos de costos que a los diseñadores no les importan son los costos de los activos de fabricación y construcción.

Durante la fase de diseño, estos costos no pertenecen al diseñador, y esto no significa que la organización deba ignorar este tipo de costos, porque luego estos costos deben ser pagados por los responsables de producirlos y fabricar los activos [10].

b3 Costos operativos y de soporte

Los costos en esta etapa afectan particularmente a los usuarios de los activos desarrollados e incluyen los siguientes costos: operaciones, energía, suministros y materias primas, mantenimiento preventivo y correctivo, reparación, modificaciones de diseño e ingeniería, logística de repuestos, capacitación y cualquier otro costo.

Gastos.

Otros costos se generan a lo largo de la vida del activo (Fabrycky y Blanchard, 1991). Los costos operativos y de soporte son los mayores costos durante la vida útil de un activo y también son los más difíciles de predecir. En algunos casos, estos costos pueden exceder hasta 10 veces el costo de compra inicial [11].

Un aspecto importante en esta etapa es la disponibilidad de activos para satisfacer las expectativas de producción de los usuarios. En términos de disponibilidad, los activos

deben diseñarse de manera que puedan mantenerse en el menor tiempo y costo posibles sin afectar negativamente las características de confiabilidad y seguridad del activo diseñado. En la mayoría de las operaciones de fabricación, cada minuto que un activo está inactivo genera una pérdida financiera para el usuario.

En este caso, el tiempo es un "coste", por lo que las actividades de mantenimiento deben realizarse de forma rápida (tiempos cortos de reparación) y eficientemente para cumplir con el nivel de disponibilidad requerido por los usuarios [12].

b4 Proceso de solicitud de tecnología ACCV

Tradicionalmente, los aspectos de costo y diseño se han considerado y evaluado como dos procesos separados.

En el caso del diseño el objetivo principal es diseñar el mejor activo posible y en el caso del coste el objetivo principal es minimizar los costes de diseño y fabricación, aunque hay que tener en cuenta que ambos tienen objetivos comunes que son: desarrollar un activo que atiende y satisface eficazmente las necesidades de los usuarios y al mismo tiempo es competitivo desde el punto de vista económico [13].

El uso de técnicas LCAV ha aumentado significativamente debido principalmente al desarrollo de una gran cantidad de métodos que brindan formas de evaluar diferentes diseños o cursos de acción alternativos destinados a elegir la mejor manera de utilizar los recursos humanos y económicos.

recursos.

Recursos disponibles en el proceso de desarrollo de un sistema productivo [14].

Es importante enfatizar nuevamente que los resultados obtenidos del análisis de costos del ciclo de vida son más efectivos durante el proceso de diseño inicial y conceptual. Una vez que se completa el diseño, es difícil cambiar significativamente el desempeño económico.

Además, las consideraciones económicas del ciclo de vida deben tenerse en cuenta específicamente durante la fase de diseño de activos si queremos explotar plenamente las oportunidades de una ingeniería económica eficaz. Hay que tener en cuenta que aproximadamente dos tercios de los costos del ciclo de vida de un activo o sistema se determinan durante las etapas de diseño conceptual y preliminar [15].

El coste del ciclo de vida debe aplicarse a todas las fases del diseño del sistema: diseño, desarrollo, fabricación, construcción, uso operativo y logística. Al inicio del ciclo de vida se debe poner énfasis en el aspecto del costo, estableciendo elementos de costo cuantitativos específicos como requisitos de diseño.

A medida que evoluciona el ciclo de vida, el costo se convierte en un parámetro importante para evaluar configuraciones de diseño alternativas y seleccionar la solución preferida. Por lo tanto, los datos de costos se preparan con base en las especificaciones

específicas de diseño y fabricación y se utilizan para desarrollar estimaciones de costos del ciclo de vida.

Estas estimaciones, a su vez, se comparan con los requisitos originales para determinar el nivel de cumplimiento y la necesidad de medidas correctivas.

Esencialmente, el coste del ciclo de vida ha evolucionado desde una serie de estimaciones cualitativas hasta una metodología relativamente sofisticada, utilizada como herramienta de gestión para mejorar la toma de decisiones [14].

Hay muchos aspectos diferentes del diseño y desarrollo de activos que pueden estudiarse mediante el uso de modelos ACV.

Se debe tener mucho cuidado al utilizar y aplicar técnicas de ACV ya que su relativa facilidad de implementación puede llevar el proceso de toma de decisiones sobre el coste de los activos en la dirección equivocada [16].

Un paso importante en la implementación de una LCAI es definir claramente el objetivo principal del proceso de cálculo de costos.

Según [15], el ACV se puede utilizar para evaluar los siguientes procesos:

- Sistemas de producción alternativos
- Soluciones alternativas para sistemas de mantenimiento, tipos de actividades de mantenimiento (preventivo y correctivo), mantenimiento basado en condiciones, tecnologías de la Industria 4.0 (Internet de las Cosas, transformación digital, etc.)
- Configuraciones de diseño alternativas: esquemas de operación, diagnósticos, niveles de confiabilidad y mantenimiento, estandarización de repuestos, esquemas de monitoreo.
- Soluciones alternativas para sistemas de control y automatización.
- Alternativas a los procesos productivos: continuo o continuo.
  No continuamente
- Sistemas logísticos alternativos, abastecimiento y selección de diferentes proveedores.
- Canales de distribución alternativos, métodos de transporte y gestión de producción y ubicaciones de almacén.
- Soluciones alternativas para la gestión de residuos, desperdicios y reciclaje.
- Alternativas y procesos alternativos
- Soluciones alternativas para sistemas de protección y seguridad.

La inexactitud en el proceso de estimación de costes es un factor muy influyente que puede crear consecuencias financieras desastrosas en el desarrollo de activos industriales. En general, las estimaciones inexactas del costo de desarrollo de bienes raíces pueden surgir en dos situaciones, donde el costo estimado es menor que el costo real o en el caso opuesto, donde el costo estimado es mayor que el costo real.

Costos reales [17].

Cuando los costos estimados son menores que los costos reales, el plan inicial de contratar mano de obra, realizar ciertas actividades clave y comprar ciertos materiales y equipos no será factible. Sin embargo, los desarrollos previamente planificados deben continuar, en cuyo caso será necesario utilizar procesos de replanificación y reorganización, que muchas veces conducen a mayores costos, que no permitirán alcanzar las metas y objetivos del proyecto.

Proyectos relacionados con el desarrollo inmobiliario [17].

En el otro escenario, cuando el costo estimado es mayor que el costo real, se espera que los beneficios del proyecto aumenten, lo que generalmente no sucede, y lo que sucede con los fondos disponibles es que se gastarán.

Este exceso de dinero sólo se gastará si la organización controla estrictamente sus costes, lo que es muy poco probable en la práctica [17].

Durante el proceso de estimación de costos asociados con el desarrollo de activos, existe una gran cantidad de requisitos que variarán significativamente dependiendo de la etapa del programa de diseño y fabricación, la complejidad de los procesos y la profundidad de las técnicas analíticas [18].

Durante las fases iniciales de desarrollo y diseño conceptual, los datos disponibles son limitados y el análisis de costos a menudo se basa en modelos paramétricos, con un nivel de precisión de los datos en esta etapa que oscila entre el 20 y el 50% [19].

Durante las etapas intermedias de diseño, hay más información disponible y se pueden utilizar modelos de costos similares para comparar costos de activos similares; El nivel de precisión de los datos en esta etapa oscila entre el 70 y el 85% [19].

Durante la fase de diseño, a nivel detallado, toda la información de los activos está disponible y comúnmente se utilizan las especificaciones de fabricación, los procesos de fabricación, los requisitos logísticos y el soporte.

En los modelos detallados de estimación de costes, el nivel de precisión de los datos en esta etapa oscila entre el 85 y el 95% [19].

b5. Evaluación del impacto de la confiabilidad en el modelo ACCV

[20] sostienen que, para diseñar un sistema de fabricación eficiente y competitivo en el entorno industrial actual, es necesario evaluar y medir el impacto económico del factor de confiabilidad en detalle durante todo el ciclo de vida del producto.

En primer lugar, la determinación del coeficiente de confiabilidad permite predecir procesos productivos que pueden perder continuidad operativa debido a eventos de falla inesperados (comportamiento de frecuencia de fallas); En segundo lugar, analizar y evaluar el impacto económico (coste) resultante de errores de seguridad, ambientales, operativos y de producción.

Un aspecto importante del término confiabilidad está relacionado con la continuidad de las operaciones. En otras palabras, un sistema de fabricación puede considerarse "confiable" cuando puede realizar su función de forma segura y eficiente durante todo su ciclo de vida.

Ahora, cuando el proceso productivo comienza a verse afectado por una gran cantidad de fallas inesperadas (menor confiabilidad), este escenario conlleva costos elevados, relacionados principalmente con la función de recuperación (costos directos) y el impacto en el proceso productivo (multas).

El costo total de confiabilidad (causado por fallas no planificadas) se puede describir de la siguiente manera [21] [22]

- Costos de penalización: - Tiempo de inactividad (no listo para producción), pérdida de oportunidad/retraso en la producción, pérdida de producción, pérdida operativa, impacto en la calidad, seguridad e impacto ambiental.
- Costos directos del mantenimiento correctivo: - Mano de obra: Costos directos relacionados con la mano de obra (propia o contratada) ante acciones imprevistas. - Suministros y repuestos: Costos directos relacionados con consumibles y repuestos utilizados en caso de accidentes inesperados. El impacto en los costos resultante de los activos de baja confiabilidad está directamente relacionado con el desempeño de las dos métricas siguientes:

  Tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{Tiempo\ operacionales}{Numero\ de\ fallos}$$

  Los sistemas con MTBF bajo reflejan valores de confiabilidad bajos y una gran cantidad de errores.

  Tiempo medio de reparación (MTTR)

$$MTTF = \frac{Tiempo\ de\ repaarcion}{Numero\ de\ fallos}$$

  - Los sistemas con un MTTR largo reflejan un valor de mantenibilidad bajo (los sistemas tardan mucho en restaurar la funcionalidad).

  Según [20], un factor importante que aumenta los costos del ciclo de vida es a menudo la falta de conocimiento de los eventos de falla no planificados, un escenario que ocurre principalmente debido a la falta de comprensión y análisis durante la fase de diseño.

  Aspectos relacionados con el factor de fiabilidad.

Esta situación conlleva un aumento de los costes operativos (no se tienen en cuenta los costes iniciales), lo que afecta la rentabilidad del proceso productivo. En la siguiente sección se explicarán los detalles del modelo básico para evaluar el impacto económico de la confiabilidad a lo largo del ciclo de vida de los activos industriales.

b6 El proceso de análisis de costo del ciclo de vida (ACCV) permite:

1. Calcule el costo del ciclo de vida de un activo.
2. Investigue diferentes opciones para determinar cuál ofrece el mejor costo del ciclo de vida.
3. Combina el análisis financiero tradicional y la evaluación de riesgos (confiabilidad / frecuencia de falla x consecuencias de la falla) / permite calcular el costo de un activo durante su ciclo de vida, expresado como: dinero / tiempo ($ / año). ($/año).

b7 Conceptos básicos del análisis del coste del ciclo de vida (LCC)

Una comprensión básica del ciclo de vida del producto y las actividades realizadas durante estas fases es esencial para el concepto de costeo del ciclo de vida.
Es esencial comprender la relación entre estas actividades y el rendimiento, la seguridad, la confiabilidad, la mantenibilidad y otras características del producto que contribuyen a los costos del ciclo de vida.

Según Farr [23], el coste del ciclo de vida (LCC) corresponde a todos los costos esperados asociados con un proyecto o programa a lo largo de su ciclo de vida.
Es la suma de los costos directos, indirectos, recurrentes, no recurrentes y otros costos incurridos o que se estima surgirán en el diseño, investigación, desarrollo, inversión, operación, mantenimiento, gestión y otros tipos de productos.
A lo largo de su vida (es decir, su vida útil esperada). Todos los costos relevantes deben incluirse en un análisis de CCV, independientemente de la fuente de financiamiento, la unidad de negocios, los controles de gestión, etc.

Algunas definiciones de CVCA a destacar son:

- [24], El análisis de costos del ciclo de vida se define como un proceso sistemático de evaluación técnica y económica, aplicado en el proceso de selección y sustitución de sistemas de producción, para determinar el verdadero impacto de todos los costos a lo largo de la vida de un activo.
De esta forma podremos elegir los activos que aporten mayores beneficios al sistema productivo.
- La UNE 60300-3-3 (2009) define el análisis de costes del ciclo de vida como una técnica o herramienta que permite comparar los cálculos de costes realizados durante un período de tiempo determinado, teniendo en cuenta los costes de inversión inicial y los costes de explotación futuros, así como calcular la reposición de vida.

- ISO 15686 (2011) establece que el análisis LCC es una técnica o herramienta para comparar los cálculos de costos realizados durante un período de tiempo determinado, teniendo en cuenta los costos de inversión inicial, los costos mineros futuros y calculando los costos de reposición a lo largo de su vida útil y al final de su vida útil.

En particular, para implementar la ACCV de forma eficaz, es necesario aclarar los siguientes conceptos:

Características de costos: Los costos del ciclo de vida se determinan identificando las funciones aplicadas en cada etapa, calculando los costos de estas funciones y aplicando los costos apropiados a lo largo del ciclo de vida.

Para ser completos, los costos del ciclo de vida deben incluir todos los costos de diseño, adquisición, operaciones y mantenimiento, así como los de producción y eliminación.

- Al analizar los costos relacionados con los bienes: se agrupan en dos grandes grupos:

Gastos de capital o gastos de capital:

CAPEX, o inversiones en activos fijos, son inversiones de capital que generan rentabilidad.

Los gastos de capital se realizan cuando una empresa invierte para comprar un activo de capital o para agregar valor a un activo existente cuya vida útil se extiende más allá del año fiscal.

Una empresa utiliza los gastos de capital para comprar o mejorar activos fijos como equipos, bienes raíces o edificios industriales.

En contabilidad, los gastos de capital se incluyen en el cálculo de un activo (capitalización) aumentando la base del activo (el costo o valor del activo ajustado a efectos fiscales).

Los gastos de capital incluyen costos de investigación, diseño y desarrollo, como planificación inicial, análisis de mercado, investigación de productos, requisitos de diseño e ingeniería, y los costos de financiamiento de activos del fabricante se transfieren al usuario del equipo como parte del costo de adquisición; costos de adquisición y construcción; Como análisis de ingeniería, análisis de procesos y producción, construcción de instalaciones, desarrollo de procesos, operaciones de fabricación, control de calidad y requisitos de soporte logístico primario.

✓ Gastos operativos o costos operativos:

Los gastos operativos, gastos operativos, gastos operativos o gastos operativos son los costos continuos de operar un producto, negocio o sistema.

Durante esta fase existen costos operativos y de soporte, como insumos operativos al sistema de producción, mantenimiento planificado, mantenimiento correctivo, dependiendo de factores de confiabilidad y costos de soporte logístico durante todo el ciclo de vida del sistema; Además, existen costos de remoción y eliminación,

como la eliminación de elementos que no se pueden reparar durante la vida útil del sistema, el desguace del sistema y el reciclaje de materiales.

Incluye mano de obra, operaciones, mantenimiento planificado, almacenamiento, subcontratación y mantenimiento correctivo: sanciones por fallas/baja confiabilidad y paradas.

b 8 Objetivo del coste del ciclo de vida (LCC).

- El coste del ciclo de vida del producto es un proceso de análisis económico que determina los costos totales de compra, posesión y eliminación de un producto.
- Puede aplicarse a todo el ciclo de vida del producto o a partes o grupos de diferentes etapas del ciclo de vida del producto.
- El objetivo principal del costeo del ciclo de vida es proporcionar criterios para la toma de decisiones durante cualquiera o todas las etapas del ciclo de vida de un producto.
- Un objetivo importante del modelado de LCC es identificar aquellos costos que probablemente tendrán el mayor impacto en el LCC o que pueden ser particularmente importantes para esa aplicación en particular.
- También es importante identificar los costos que tienen sólo un impacto menor en la LCC.
- Según Salazar [25] los objetivos que destaco para la reposición de activos en una empresa son:
- Gasto.
- Reducir los costos de operación y mantenimiento.
- Aumentar la vida útil del dispositivo.
- incrementar la producción.
- Mayor confiabilidad y disponibilidad.
- Mejorar la eficiencia en el uso de los activos.
- Mejora de la calidad del producto.
- Mejora de la seguridad.
- Respetar la normativa medioambiental.

b9 Etapas del ciclo de vida de los activos y LCC

El concepto de costeo del ciclo de vida se basa en una comprensión básica del ciclo de vida del producto y las actividades realizadas durante estas fases.

Es esencial comprender la relación entre estas actividades y el rendimiento, la seguridad, la confiabilidad, la mantenibilidad y otras características del producto.

a los costos del ciclo de vida.

Hay seis etapas principales en el ciclo de vida del producto:

Fig. 1. Fases del ciclo de vida.

Fuente: Propia

Es necesario seleccionar las etapas, componentes o grupos apropiados dentro del ciclo de vida de estas etapas para satisfacer las necesidades específicas de cada análisis particular.

En general, los costos totales en los períodos anteriores se pueden dividir en costos de adquisición, costos de tenencia y costos de tenencia.

costos de eliminación.

LCC = costos de adquisición, costos de propiedad y costos de liquidación

Los costos de adquisición suelen ser claros, pueden evaluarse fácilmente antes de tomar una decisión de compra y pueden incluir o no costos de instalación.

El costo de propiedad, que suele ser el elemento más importante de una LCC, suele exceder los costos de adquisición y no está claro. Estos costos son difíciles de predecir y también pueden incluir costos relacionados con la instalación.

Los costos de procesamiento pueden representar una gran proporción de los costos totales de transporte de bajo costo. La legislación puede exigir actividades de eliminación gradual para grandes proyectos, como las centrales nucleares, que generan costos significativos.

CAPÍTULO I.

CONTEXTO DONDE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA

1.1 Contexto laboral

Nexa Resources Perú S.A.A. (ex Milpo) (BVL: NEXAPE), es una empresa minera peruana de escala regional dedicada a la exploración, extracción, procesamiento y comercialización de concentrados de zinc, cobre y plomo con contenidos de plata y oro, siendo en la actualidad uno de los principales productores polimetálicos de bajos costos y con significativa exposición en zinc en Perú. Nexa Perú desarrolla sus operaciones con un claro compromiso por la responsabilidad social y ambiental. La Compañía es parte de Nexa Resources S.A., la empresa del segmento de metales y minería de Votorantim S.A.

La Compañía es parte de Nexa Resources S.A. (antes Votorantim Metais Holding), la empresa del segmento de metales y minería de Votorantim S.A., una sólida empresa privada diversificada y global que cuenta con cerca de 100 años de historia y presencia en sectores claves de la economía en más de 23 países.

Nexa Perú mantiene en la actualidad 3 unidades mineras polimetálicas subterráneas en operación, Cerro Lindo (Ica), El Porvenir (Pasco) y Atacocha (Pasco). Asimismo, cuenta con un portafolio de proyectos greenfield cupríferos y polimetálicos con exploración avanzada.

1.2 Descripción de la entidad

1.2.1 Misión:

Nexa Recursos Perú S.A.A. (antes Melpo) (BVL: NEXAPE), es una empresa minera regional peruana especializada en la exploración, extracción, procesamiento y comercialización de concentrados de zinc, cobre y plomo que contienen plata y oro, y actualmente se encuentra entre los principales fabricantes de polímeros de bajo costo. Con importante exposición al zinc en Perú. Nexa Perú desarrolla sus operaciones con un claro compromiso de responsabilidad social y ambiental.ambiental.

1.2.2 Visión:

Nexa es una empresa minera global y miembro del portafolio de Votorantim. Un equipo que busca la excelencia y cree en lo que hace.

Queremos ir más allá, pensando en la calidad y la innovación tecnológica, para crear un futuro mejor para todos.

1.2.3 Nexa Resources Peru S.A.A.

RUC: 20100110513

Razón Social: NEXA RESOURCES PERU S.A.A.

Página Web: http://www.milpo.com

Razón Social Anterior: Compañia Minera Milpo S.A.A.

Tipo Empresa: Sociedad abierta de responsabilidad limitada

Condición: Activo

Fecha Inicio Actividades: 06 / Abril / 1949

Actividad Comercial:

Ext. de Min. Metaliferos No Ferrosos.

CIIU: 13200

Dirección Legal: Av. Circunvalacion del Club G Nro. 170

Urbanización: Club Golf los Incas (Torre el Golf-Block a Piso 22)

Distrito / Ciudad: Santiago de Surco

Departamento: Lima, Perú

1.3 Acerca de Nexa Resources Peru S.A.A.

Nexa Resources es una empresa minera global que opera en Perú y otros países.

En Perú, Nexa Resources tiene una fuerte presencia y es conocida como uno de los principales productores de zinc y otros minerales.

La empresa opera en el campo de la exploración, extracción y procesamiento de minerales, con un enfoque en la sostenibilidad y la responsabilidad social.

Nexa Resources está comprometida con prácticas mineras responsables y busca minimizar el impacto ambiental de sus operaciones.

Además de su compromiso con la sostenibilidad, Nexa Resources da importancia a la seguridad y el bienestar de sus empleados y las comunidades circundantes.

Promover la creación de empleo local y asociaciones comunitarias a través de programas de desarrollo social y ambiental.

En resumen, Nexa Resources es una empresa minera global con operaciones en Perú, enfocada en la exploración y procesamiento de minerales, como uno de los principales productores de zinc.

El compromiso de la empresa con la sostenibilidad, la responsabilidad social y la seguridad laboral la convierte en líder en la industria minera, contribuyendo al desarrollo económico y social de sus comunidades.

1.4 Ubicación donde se desarrolló la experiencia:

Los siguientes trabajos se llevaron a cabo en la Unidad de Refinería Kajamarkela (ver Anexo 1) de la empresa minera Nexa Resources, ubicada en la Carretera Central Alt. Kilómetro 9.5 cambia dirección a Huachipa, Cajamarquilla - Lima 15 - Perú.

La ubicación geográfica de la Refinería de Cajamarquilla corresponde a las siguientes coordenadas UTM:

- La latitud norte tiene las coordenadas 8'676.800 a 8'677.400
- El Meridiano Oriental tiene las coordenadas 294.400 a 295.500.

Su superficie es de unas 17 hectáreas y se encuentra a unos 450 metros sobre el nivel del mar.

La zona de fundición de la Refinería de Cajamarquilla se ubica en el valle seco de Cajamarca y su valle, hasta el punto de conexión con el río Rímac.

Fig.2. Republica del Perú

Fig.3 Distrito Lurigancho Chosica

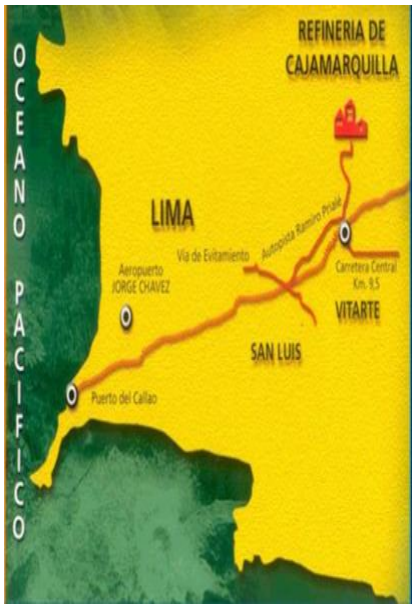


Fig.4. Ruta de transporte de mineral de la refinería

1.5 Refinería de Cajamarquilla

Historia

La construcción de la refinería de Cajamarquilla se inició en setiembre de 1977 y finalizó en mayo de 1981, cuando se inició la producción.

La construcción y diseño estuvieron a cargo del Consorcio Belga de Empresas Belgas en el Exterior para el Gobierno del Perú, propietario y operador de la refinería.

Debido a las circunstancias, fue privatizada en 1995 por una empresa llamada TechCominco de Canadá y la Corporación Marubeni de Japón, que se hizo cargo de la refinería de Kajamarkela.

Durante la fase de diseño, la refinería de Cajamarca tiene una capacidad de producción de 101.500 toneladas de zinc refinado al año.

A mediados de 1998, cuando TEC Cominco/Marubeni operaba la refinería, la empresa había aumentado su producción a 130.000 toneladas por año.

A mediados de diciembre de 2004, la empresa brasileña Votorantim Mitais adquirió la refinería de Cajamarca al grupo TEC Cominco/Marubeni.

A finales de 2017, las empresas mineras Milpo y Votorantim Metais se fusionaron para formar la empresa minera Nexa Resources S.A.

Diagrama Organizacional

La estructura organizacional en la refinería de Cajamarquilla es la siguiente.

Gerencia de Ingeniería de mantenimiento

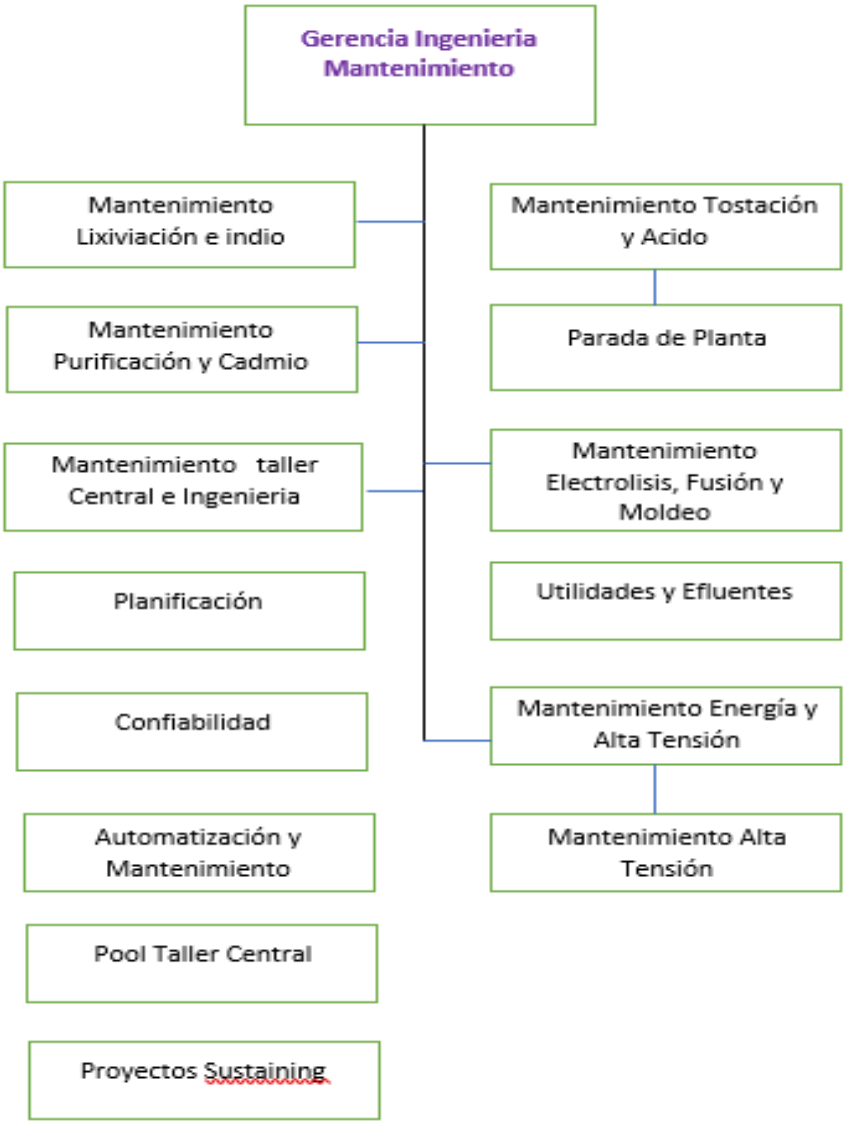


Fig. 5 Estructura organizacional de mantenimiento en la refinería de Cajamarquilla

Fuente: Gerencia de Desarrollo Humano Organización (DHO)

1.6 Problemática (realidad problemática)

En la refinería de Cajamarquilla, unidad de la minera Nexa Resources, el proceso de refinación del zinc se desarrolla en cuatro etapas. Concentrado; Tostación, Lixiviación y purificación y electrolisis.

Esto representa el siguiente problema que encontramos en el cuarto campo que es la electrólisis, donde se extrae el zinc de una solución pura mediante electrólisis y mediante una corriente eléctrica que pasa por la solución y se deposita el zinc sobre el cátodo de aluminio.

El zinc depositado se retira del cátodo de aluminio, luego se transporta mediante puentes grúa hasta máquinas llamadas mantequillas, luego ingresa a mesas de apilamiento y es transportado mediante montacargas hasta el área de fusión y colada.

El sistema de carbonato de estroncio es uno de los pasos que conduce al establecimiento de un área de electrólisis.

Este sistema tiene tres objetivos importantes (proceso de conversión de la energía continua en energía química, electrolitos fundidos en sus disoluciones acuosas y aplicaciones que tiene la electrolisis), pero el siguiente trabajo se centra en el objetivo más importante que es controlar la contaminación por plomo en las placas de zinc, ya que estas placas. contiene un alto porcentaje de plomo, afectará en la etapa final de fusión y vertido.

Estos paneles contienen un alto porcentaje de plomo, en ocasiones son reprocesados y en otros casos son etiquetados como productos de calidad inferior, generando pérdidas a la organización.

Finalizada la fase de diseño y operación de la Refinería de Cajamarquilla.

El sistema de carbonato de estroncio en el área de electrólisis incluye dos bombas dosificadoras (G-222 y G-223), dos tanques de almacenamiento (G-220 y G-221), una línea de transmisión y una línea de succión y distribución, tanto abierta como cerrada.

. El sistema tiene como objetivo descargar el líquido al sumidero G-032, el cual luego se mezcla con las celdas de electrólisis donde se encuentran el cátodo y el ánodo.

Ante esta situación y con el objetivo de poder mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos que conforman el sistema de carbonato y estroncio, se propone desarrollar un método de análisis de costos del ciclo de vida que permita una buena toma de decisiones entre reparación o reemplazo de un activo con otro, esta decisión deberá ser presentada y aprobada por el Gerente de Mantenimiento y/o director de Mantenimiento en reemplazo del original.

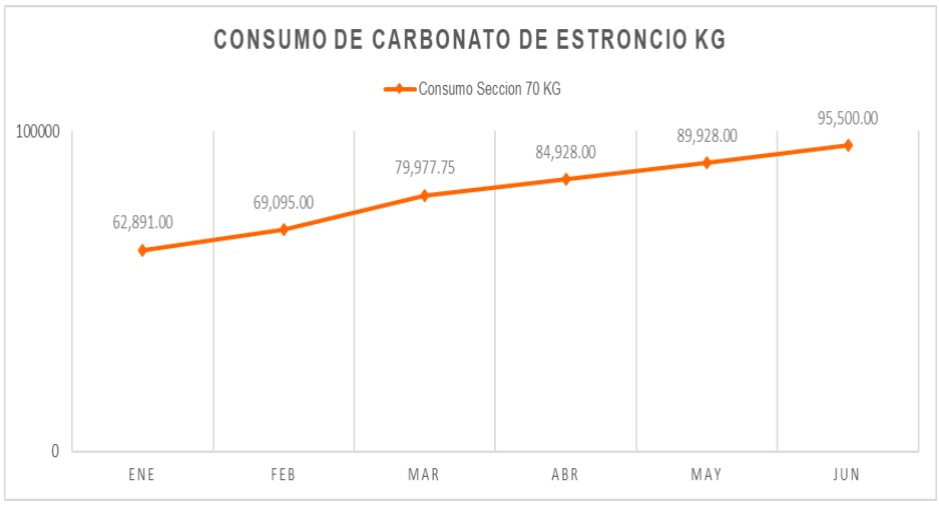


Fig.7- Consumo de Carbonato de estroncio (Kg) en el primer semestre del 2018.

Fuente: Gerencia de Operaciones de Electrolisis.

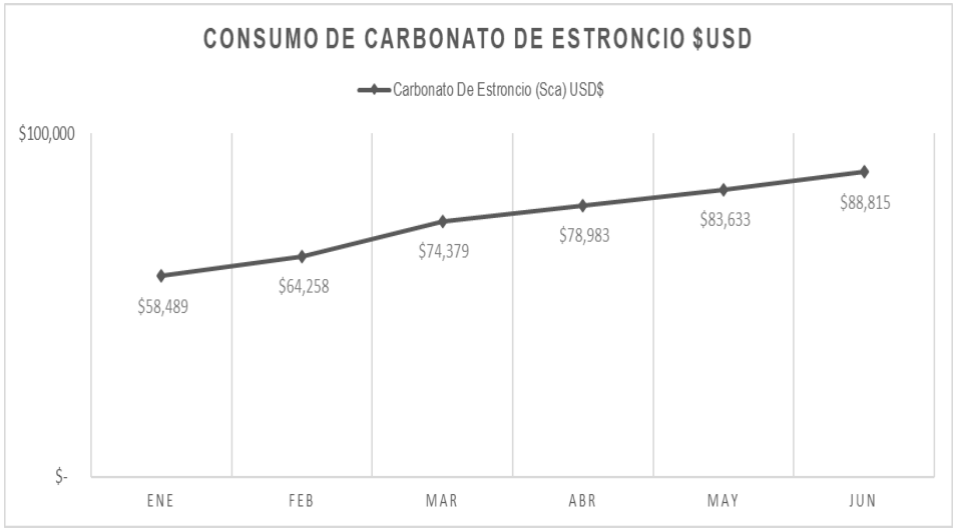


Fig. 8. Costos asociados al consumo de Carbonato de Estroncio en el Primer semestre del año 2018

Fuente: Gerencia de Administración y Finanzas.

1.7 Objetivo

Aplicar la metodología análisis de costo de ciclo de vida en los activos que conforman el sistema de carbonato, con la finalidad de reducir el índice de Plomo en las láminas de Zinc durante el proceso de electrolisis en la Refinería de Cajamarquilla, compañía Minera Nexa Resources. Provincia de Lurigancho – Chosica, Lima.

1.8 Actividad

En la refinería de Cajamarquilla, una unidad de la minera Nexa Resources S.A. Existe un departamento de ingeniería de gestión del mantenimiento y la fiabilidad, PPCIM (Planificación, Programación y Control de Ingeniería de Mantenimiento) que interviene en todo el proceso de gestión del mantenimiento.

Dada la importancia de estudiar la ingeniería de confiabilidad e implementar buenas prácticas de mantenimiento, el siguiente trabajo tiene como objetivo aprovechar al máximo la experiencia y el método de análisis de costos del ciclo de vida propuesto como herramienta para apoyar la toma de decisiones por parte de los gerentes de mantenimiento de los activos que conforman un sistema de carbonato de estroncio.

Una vez tomada la decisión y iniciado el proceso, el objetivo es reducir el índice de plomo en las láminas de zinc de proceso en la zona de electrólisis y no afectar la siguiente etapa del proceso de fundición y moldeado, evitando el reciclaje.

CAPITULO II

TRAYECTORIA PROFESIONAL

G-chavez@outlook.com

926429095

EXPERIENCIA

Ing. Programador de Mantenimiento

CONFIPETROL ANDINA S.A.

Unidad Mina Justa - MARCOBRE

En Confipetrol, con más de 20 años de experiencia, somos una empresa líder en Latinoamérica en la prestación de soluciones integrales en Operación y Mantenimiento. Tenemos certificaciones ISO 9001, 14001, 18001, Norsok S006, RUC y también hemos adoptado las directrices ISO 26000 y el estándar SGE-21 para nuestro sistema de gestión de prácticas de responsabilidad social corporativa. Así mismo, somos oficialmente reconocidos como Endorsed Assesors del Instituto de Gestión de Activos (IAM).

Funciones:

- Responsable de la elaboración del Plan de mantenimiento Basado en condición para las Áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto
- Elaborar el programa semanal de Mantenimiento Predictivo, Lubricación en las áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto.
- Elaborar el programa de parada de Planta en las áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto
- Responsable de elaborar el Status de Condición de Equipos según técnica Predictiva y NDT realizada.
- Elaborar el reporte de KPI´s de cumplimiento de Programa semanal y Parada de Planta
- Responsable de elaborar los KPI´s de mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, MTBF y MTTR.
- Responsable de la elaboración Análisis de Falla, RCM,
- Comunicación directa con compañía y coordinación la disponibilidad de equipos con

operaciones

- Actualización de estrategias en los Planes de Mantenimiento Basado en Condición y Lubricación en ERP SAP PM
- Liderar las reuniones de planeamiento con el objetivo de presentar nuestra gestión de Mantenimiento – Cumplimiento de Programa Semanales.

Logros:

- **Implementación del Plan de Mantenimiento Basado en Condición**

  Desarrollar, implementar el Plan de Mantenimiento Basado en Condición de las técnicas NDT, Predictivo, Lubricación. Con una Proyección anual y logrando proponer el HeadCount para lograr los cumplimientos dentro del Programa Semanal.

Octubre 2020 – Julio 2021

Planificador de Mantenimiento

ABENGOA PERÚ S.A.

Nueva Planta de Beneficio – San Nicolás / Paquete 7

Unidad Shougang Hierro Perú

Empresa Española líder en ingeniería y construcción fundada en el año 1994 y tenemos presencia activa en el desarrollo de los proyectos más importantes ejecutados en el Perú. Operamos las concesiones de Abengoa ATS, ATN, ATN1 y ATN2 a través de Omega Perú Operación y Servicio de Mantenimiento en las Operaciones de la Minera Shougang Hierro Perú.

Funciones:

- Responsable de la elaboración del Plan de mantenimiento preventivo, monitoreo de condiciones (Lubricación/Termografía/ Vibraciones)
- Elaborar el programa semanal de Mantenimiento preventivo, correctivo programado, Lubricación y monitoreo de vibraciones.
- Elaborar el programa de parada de Planta en la planta de concentradora Paquete 7.
- Responsable de cumplir y elaborar el reporte de KPIS asignados por el cliente MTBF, MTTR, Disponibilidad, Confiabilidad.
- Asignar recursos, Mano de Obra, Repuestos y servicios especializados.
- Responsable de elaborar los informes diarios, informes semanales y de parada de Planta
- Responsable de la elaboración de ACR, Pareto, RCM, Análisis de Falla en los eventos de que generen gran impacto a la operación.
- Comunicación interna con el cliente para establecer las paradas de equipo en su mantenimiento Preventivo, correctivo programado, predictivo
- Actualizar los Planes de Mantenimiento en el sistema ERP.

• Liderar las reuniones de planeamiento con el objetivo de dar seguimiento a los planes de acción designados por el cliente.

Logros:

- **Implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento en Abengoa Perú.**
  Desarrollar, implementar un sistema de Gestión de Mantenimiento definiendo, nuestros procesos de Mantto, funciones de trabajadores, indicadores de Mantto, estrategias, análisis de criticidad, plan anual de Mantto, cuyo objetivo es ser socio estratégico del cliente "Shougang Hierro Perú"
- **Implementación de Dashboard KPIS Mantenimiento en Power BI.**
  Se dimensiona y generar reporte en Power BI para el análisis de KPIS de mantenimiento y predictivo.
- **Implementación del Mantenimiento Predictivo por Termografía y Ultrasonido.**
  Se realizo propuesta de implementar el técnico por termografía analizando motores eléctricos, transformadores, seccionadores de molino, aplicando norma NETA. Alcanzando la confiabilidad de los equipos de Planta Concentradora.

Septiembre 2019 – Setiembre 2020

Ingeniero de Planeamiento

COMPAÑÍA SAN MARTIN CONTRATISTAS GENERALES S.A.

Unidad Planeamiento Central, CRDC – Lima, Perú

Unidad Cementeras UNACEM – Lima, Perú

Empresa Peruana líder en operaciones Mineras, construcción e infraestructura con mas de 30 años en el mercado. Actualmente tienes varias operaciones de mantenimiento en distintas unidades mineras Shougang, Antapaccay, el Brocal, las Bambas entre otras. Se a implementado un Centro de Reparación de Componentes de Equipos (CRDC) el cual tiene que controlar y monitorear la planificación a largo y corto plazo, Overhaul, mantenimiento predictivo.

Funciones:

• Participar en la elaboración del Plan de mantenimiento preventivo (Diagrama Gantt, requerimientos de Materiales y equipos auxiliares)

• Participar en la planificación de recursos y requerimientos de materiales para el área.

• Reportar las desviaciones o posibles alertas en los equipos a través del monitoreo de condiciones de los equipos.

• Asistir al jefe de mantenimiento en la generación de solicitudes de compra para mantenimiento planificado, con el propósito de asegurar la compra de los materiales requeridos dentro del plan de mantenimiento.

• Consolidar información descargada del sistema para la elaboración de proyecciones.
• Verificar la disponibilidad de los equipos, e implementar plan de acciones a equipos críticos.
• Dar seguimientos a los mantenimientos semanales programados en obra.
• Actualizar los horometros en el sistema SAP PM.
• Liderar las reuniones de planeamiento con el objetivo de dar seguimiento a los planes de acción designados por la jefatura.

Logros:

• Incremento de la Disponibilidad CAMION FUERA DE CARRETERA CAT 793F. A través de un análisis de datos de vida se aumenta la disponibilidad del Equipo CAT 793F de la unidad Shougang Hierro Perú.
• Implementación de Gestión Trazabilidad Implementar una gestión para la trazabilidad de componentes a quipos críticos de cada proyecto. Se implemento en el sistema SAP PM.

Julio 2018 - septiembre 2019

Becario de Mantenimiento

COMPLEJO MINERO NEXA RESOURCES S.A.

Unidad Refinería Cajamarquilla – Lima, Peru

Forme parte de la Gerencia de Ingeniería de Mantenimiento, brinde soporte al Jefe de Mantenimiento, Supervisor Senior y Planner de Mantenimiento en Planta Concentradora. En el complejo Minero Nexa Resources – Unidad Cerro Lindo y en la Refinería de Zinc – Cajamarquilla.

Funciones:

• Elaborar el Plan de mantenimiento en Paradas de Planta (Diagrama Gantt, requerimientos de Materiales y equipos auxiliares) y el Programa de Mantto Semanal
• Actualizar las estrategias de Mantto. Preventivo (IP41/IP42) según la vida útil del equipo. Como implementar puntos de medida, documentos de medición en SAP PM.
• Generación de Soldped, O.C., HES en SAP según los requerimientos de la jefatura
• Seguimiento a los KPI´s asignados (MTBF, MTTR, OEE, ICPMP. ICPOM)
• Convocar y Liderar las reuniones entre las jefaturas de Mantto y Operaciones con la finalidad de coordinar la disponibilidad y priorización de equipos que se atenderán en el programa preventivo Semanal. • Realizar el ACR, RCM y análisis de fallas de los equipos en las situaciones Reactivas
• Supervisar los trabajos de Mantto. Preventivo que involucraban personal propio de Nexa y a contratas (Confipetrol, SKF) • Seguimiento a trabajos que involucraban Bloqueo y Etiquetados de equipos a intervenir, entre otros.

Logros:

- Reducir el Índice de Plomo en las Láminas de ZINC – Planta de Electrolisis. Se implemento Bombas Peristáltica con la finalidad de dosificar Carbonato de Estroncio a las celdas electrolíticas y pueda disminuir el Plomo en los cátodos de Zinc.
- Implementación de PO. En estado Intermedio de Energía – Planta Electrolisis Se realizo con el objetivo de reducir el tiempo de bloqueo de equipos con el objetivo de atender los mantenimientos de inmediato
- Implementación de Reporte de Guardia automatizado y Capacitación SAP PM Realice una macro en Excel con el objetivo de facilitar a los técnicos de mantenimiento emitir su reporte. También capacite a personal en SAP PM

Junio 2017 – Julio 2018

Supervisor Jr. Mantenimiento

PROINGTROL INGENIEROS S.A.C. – LIMA, PE

Forme parte de PROINTROL INGENIEROS S.A.C, Empresa prestadora de servicios en Mantto. Preventivo correctivo y predictivo a diferentes unidades mineras como Nexa Resources, Volcan y Chinalco. Cuenta con más de 20 años en el mercado dando solución a equipos de planta concentrados, equipos electromecánicos.

Funciones:

- Realizar levantamiento de planta en los proyectos y actividades de Mantto. correctivos a molinos SAG, chancadoras cónicas y fajas transportadoras
- Supervisar actividades de Mantto. Preventivo y correctivo en unidades de cerro lindo. Logrando alcanzar las expectativas de la compañía, teniendo como resultado un trabajo eficiente de calidad y sin accidentes.
- Elaborar la Programación de Mantto. De las actividades correctivas programadas elaboración del diagrama gantt
- Hacer cumplir el programa de Mantto. En la ejecución de las actividades respetando las normas de seguridad.
- Elaborar Ordenes de Trabajo, distribuir y llevar el control del Mantto.

Logros:

- Implementar la Gestión de Mantenimiento a través de ordenes Trabajo el cual asigna H-H. recursos y equipos específicos
- Gestionar el uso de KPIs, donde muestra la cantidad de intervenciones a los equipos específicos de empresas el cual se tiene contrato.

CAPITULO III

APLICACIÓN PROFESIONAL

3.1 Desarrollo de la experiencia

Desde julio del 2021 vengo desarrollándome en el sector minero como Ing. Programador de mantenimiento en la empresa CONFIPETROL ANDINA S.A., una empresa líder en Latinoamérica en la prestación de soluciones integrales en Operación y Mantenimiento

Mis funciones específicas son las siguientes:

- Responsable de la elaboración del Plan de mantenimiento Basado en condición para las Áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto
- Elaborar el programa semanal de Mantenimiento Predictivo, Lubricación en las áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto.
- Elaborar el programa de parada de Planta en las áreas de Óxidos, Sulfuros y Puerto
- Responsable de elaborar el Status de Condición de Equipos según técnica Predictiva y NDT realizada.
- Elaborar el reporte de KPI´s de cumplimiento de Programa semanal y Parada de Planta
- Responsable de elaborar los KPI´s de mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, MTBF y MTTR.
- Responsable de la elaboración Análisis de Falla, RCM,
- Comunicación directa con compañía y coordinación la disponibilidad de equipos con operaciones
- Actualización de estrategias en los Planes de Mantenimiento Basado en Condición y Lubricación en ERP SAP PM
- Liderar las reuniones de planeamiento con el objetivo de presentar nuestra gestión de Mantenimiento – Cumplimiento de Programa Semanales

Implementación del Plan de Mantenimiento Basado en Condición

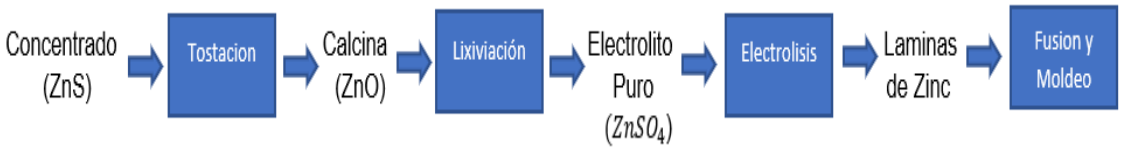
Desarrollar, implementar el Plan de Mantenimiento Basado en Condición de las técnicas NDT, Predictivo, Lubricación. Con una Proyección anual y logrando proponer el HeadCount para lograr los cumplimientos dentro del Programa Semanal

- Seguimiento a listado de señales bloqueadas.
- Control del Roster de personal, para asegurar las HH que se requiere en los programas semanales y parada de planta.

3.2 Aplicación de la experiencia profesional

3.2.1 Procesos de Refinería de Zinc

Según la Gerencia de PCP y procesos, publica el siguiente documento con código DP-VM-ZINC CJM-HSMC-090, el cual define las etapas del proceso de refinación que se lleva a cabo en la Refinería de Cajamarquilla, de la compañía minera Nexa Resources es la siguiente;



Concentrados

En el área de concentrados es el inicio del proceso de la refinería ya que es aquí donde el mineral es recibido vía ferrocarril y/o camiones de todas las unidades que tiene la compañía minera Nexa Resources. El área de concentrados de Zinc es mineral conteniendo sulfuros, en especial esfalerita: sulfuro de zinc (ZnS), conteniendo una humedad típica de 8 a 10% y contenidos metálicos de 48 a 62% de zinc, 33% de azufre y pequeñas cantidades de otros metales como fierro, plata, cobre, plomo y cadmio. Estos concentrados son producidos por las operaciones mineras en su mayoría de la sierra central. La capacidad de almacenamiento es de 10,000 TM. dividida en 11 pilas de almacenamiento para homogeneización. Este concentrado "mezcla" es transportado a la Planta de Tostación para la siguiente etapa del proceso de refinación.

Fig. 9. Area de concentrado del mineral

Tostación y Ácidos

Los concentrados son tostados a 930°C, los minerales de Zinc son convertidos en óxido de Zinc y el sulfuro es liberado como gas SO2 de acuerdo a la siguiente reacción

$$ZnS + 3/2\ O2 \qquad ZnO + SO2 + calor$$

Fuente: Gerencia de PCP Procesos de la Refineria de Cajamarquilla

El óxido de zinc obtenido, conocido como CALCINA, es soluble en ácido sulfúrico y es tratado en la etapa de lixiviación. El horno de tostación es de lecho fluidizado diseñado por LURGI, con un área de 100m2, y una capacidad de tratamiento para 810 TM. de concentrado diario. Los gases calientes de la Planta de Tostación entran en la caldera de recuperación de calor, diseñada para producir vapor a 40 Bar de presión y 350°C; el vapor sobrecalentado es enviado a la turbina en donde se genera 3.2 MW de energía eléctrica y el vapor remanente se usa para el proceso de lixiviación y purificación.

Los gases calientes (conteniendo SO2) son limpiados, enfriados y alterados químicamente para hacer el ácido sulfúrico. La Planta de Ácido Sulfúrico produce 238,500 TM por año.

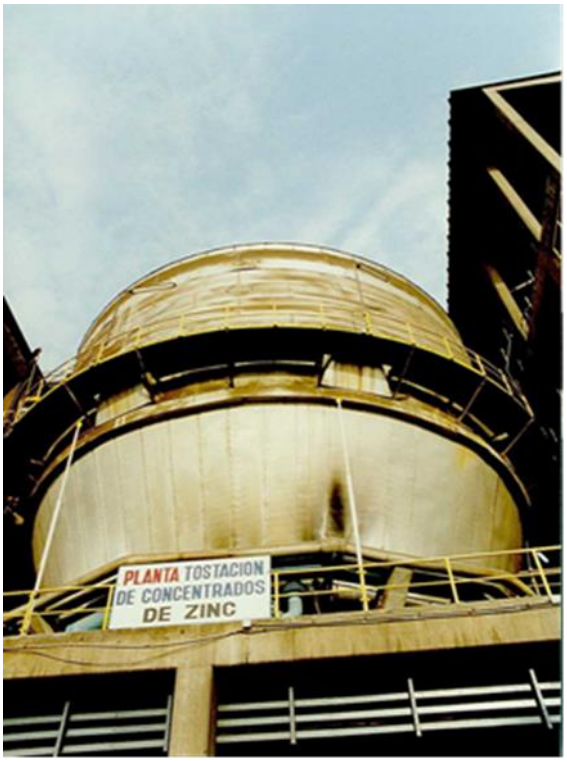


Fig.10. Planta de tostación de concentrado de zinc

Fuente: Gerencia de PCP y Procesos de la Refinería de Cajamarquilla

Lixiviación y Purificación

La Lixiviación de calcina (ZnO) involucra la disolución de los óxidos metálicos en ácido sulfúrico diluido proveniente de la etapa de electrólisis. La reacción principal es

$$ZnO + H2SO4 \longrightarrow ZnSO4 + H2O$$

Fuente: Gerencia de PCP y Procesos de la Refinería de Cajamarquilla El proceso de Lixiviación produce una solución impura rica en sulfatos de zinc, cadmio, cobre, cobalto, níquel. Esta solución es purificada bajo sedimentación con polvo de zinc, en la primera etapa se controla cobre y cadmio y en la segunda etapa el cobalto, continuando el proceso en la planta de Electrodeposición El residuo rico en plomo y plata es procesado en la Planta de Flotación. Otro residuo que contiene principalmente fierro es separado y precipitado en la etapa de Jarosita. La planta de Lixiviación tiene las siguientes etapas de proceso: Lixiviación Neutra, dos etapas de Lixiviación Ácida, una etapa de precipitación de Jarosita y una etapa de Lavado Acido de Jarosita.

Fig. 11. Planta de Lixiviación y Purificación

Cadmio y Planta de Flotación

a. Planta de cadmio

Los residuos de Cadmio en la solución ZnSO4 es separada en la Planta de Purificación, un proceso de lixiviación cobre-cadmio con acido sulfúrico diluido (170 - 180 gr/l) para recuperar el cadmio metálico (99.97% de pureza). La producción de cadmio en forma de varillas y bolas es de 365 TM. por año.

b. Planta de Flotación

Esta planta trata los residuos de Pb/Ag obtenidas en la lixiviación para recuperar un alto concentrado de Ag. aproximadamente 450 onzas/TM corta.

Fig.12. Planta de flotación

Electrodeposición de Zinc

En el área de electrolisis el zinc es extraído de la solución purificada por Electrólisis. Una corriente eléctrica pasa a través de la solución y el zinc se deposita en un cátodo de aluminio, el oxígeno se libera en el ánodo de plomo con formación de ácido sulfúrico de acuerdo a la siguiente reacción

$$ZnSO4 + H2O \text{ ---> } Zn \mid + 1/2O2 + H2SO4$$

Fuente: Gerencia de PCP y Procesos de la Refineria de Cajamarquilla

El zinc depositado es removido de los cátodos de aluminio, mediante las máquinas de Stripping cada 48 horas y los cátodos, luego de ser lavados y cepillados son retornados a las Celdas Electrolíticas. La Casa de Celdas contiene 8 filas de celdas con 29 celdas, haciendo un total de 232 celdas, cada una contiene 48 cátodos de aluminio y 49 ánodos, cada cátodo tiene un área de deposición de 2.6 m2.

Fig.12. área de electrolisis el zinc

2.2 Conceptos Fundamentales

- ✓ **Electrolisis**

  Es un proceso el cual nos permite la separación de metales desde soluciones acuosas que lo contienen a través de una corriente eléctrica continua. La reducción (toma de electrones) de iones metálicos (cationes) propicia su precipitación como metales sobre placas conductivas denominadas cátodos en las que suceden reacciones electroquímicas, como contraparte, suceden reacciones anódicas (oxidación) con liberación de electrones cerrando el circuito eléctrico. Cuando los iones metálicos de interés provienen de un ánodo soluble se denomina Electro refinación y cuando los iones provienen desde una solución electrolítica, con el uso de ánodos insolubles, se denomina Electrodeposición.

- ✓ **Celda Electrolita**

  Es un dispositivo simple de un material completamente aislante (muy alta resistencia al paso de la corriente eléctrica) donde se lleva a cabo la electrolisis. Consta de dos electrodos sumergidos en un electrolito y es capaz de transformar una corriente eléctrica en reacciones químicas de oxidación-reducción que no tienen lugar de modo espontáneo. También se las conoce como cubas electrolíticas.

- ✓ **Fuente Electromotriz (FEM – "Bomba de electrones")**

  Es un dispositivo simple de un material completamente aislante (muy alta resistencia al paso de la corriente eléctrica) donde se lleva a cabo la electrolisis. Consta de dos electrodos sumergidos en un electrolito y es capaz de transformar una corriente eléctrica en reacciones químicas de oxidación-reducción que no

tienen lugar de modo espontáneo. También se las conoce como cubas electrolíticas.

- ✓ **Cátodo:**

  Es el electrodo negativo de una cuba electrolítica hacia el que se dirigen los iones positivos (cationes) dentro del electrolito y es el lugar donde abundan los electrones.

- ✓ **Ánodo**

  Se denomina ánodo al electrodo positivo de una cuba electrolítica hacia el que se dirigen los iones negativos (aniones) dentro del electrolito y es el lugar donde hay gran escasez de electrones.

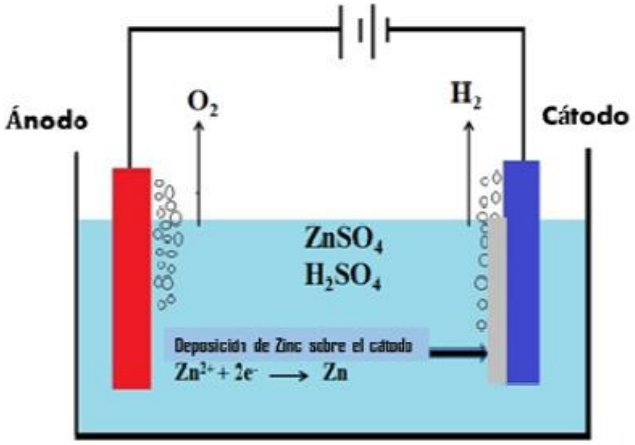


Fig. 13. Celda simplificada de electrolisis de zinc
Fuente: Gerencia de PCP y Procesos de la Refinería de Cajamarquilla

2.3 Descripción de cada etapa de operación del proceso de electrolisis

El proceso de electrolisis incluye las siguientes:

- ✓ **Almacenamiento de la de Solución**

  La solución purificada fluye por canaletas desde las torres de enfriamiento de solución pura a los tanques de almacenamiento de solución pura. De los tanques de almacenamiento se usa un juego de bombas para alimentar solución pura a la canaleta común que recolecta electrolito gastado enfriado de las torres de enfriamiento y alimenta a la casa de celdas. La adición de solución purificada a los sistemas de circulación de la casa de celdas se regula para mantener el contenido de zinc y ácido sulfúrico del "spent" (electrolito gastado) dentro de los límites de especificación, típicamente alrededor de 52 g/L de zinc y 185 g/L de ácido sulfúrico.

La acumulación de “gypsum” (yeso o sulfato de calcio) en los tanques de almacenamiento de Solución Purificada debe limpiarse periódicamente. Se utiliza agua y herramientas manuales para enviar el yeso al sumidero de Solución Pura. Se usa una lanza de aire industrial para agitar los sólidos de yeso en el sumidero y permitir bombearlos al Tanque de Efluentes.

De los tanques de almacenamiento de electrolito gastado, el electrolito gastado se bombea al Área 40 (Lixiviación), Área 42 (Recuperación de Indio cuando opera), Área 50 (Purificación) y Área 60 (Cadmio).

La capacidad de bombeo de electrolito gastado de los tanques de almacenamiento a la Casa de Celdas se abastece también para permitir llenarla con “spent” (según sea necesario durante el arranque inicial o después de una parada de emergencia).

Después de una falla de suministros eléctrico, se bombeará electrolito gastado de los tanques de almacenamiento de electrolito gastado a las Casas de Celdas. El electrolito gastado de la poza será bombeado a los tanques de almacenamiento de “spent” y renviado al circuito de lixiviación.

Los objetivos principales que tiene el almacenamiento de solución de electrolisis son:

- Después de una falla de suministros eléctrico, se bombeará electrolito gastado de los tanques de almacenamiento de electrolito gastado a las Casas de Celdas. El electrolito gastado de la poza será bombeado a los tanques de almacenamiento de “spent” y renviado al circuito de lixiviación.
- Proporcionar solución purificada rica en zinc a las casas de celdas a fin de reabastecer el zinc removido desde la solución circulante durante la electrolisis.
- Retornar una porción del electrolito de bajo zinc y alta acidez a otras áreas.
- Recolectar los efluentes de la Casa de Celdas en el Tanque de Efluentes y transferirlos al Tratamiento de Efluentes.

✓ **Enfriamiento y circulación de electrolito**

La temperatura objetivo para el electrolito de alimentación a celdas es de aproximadamente 32° C. La temperatura del electrolito a la salida de las celdas, dependiendo de la densidad de corriente, está entre 35° - 39°C. La temperatura se mide en el cajón de recolección de cada torre de enfriamiento. Cada ventilador de torre está provisto de un accionamiento de velocidad variable. La velocidad del ventilador de cada torre es parte lazo de control de temperatura utilizado para mantener el punto consignado de temperatura de cada torre mediante ajuste de la velocidad de ventilador. Alternativamente, las torres pueden salir de servicio cambiando manualmente el flujo

y así evitar cualquiera de las torres de enfriamiento. Los objetivos principales del sistema de enfriamiento y circulación de electrolito son:

- Controlar la temperatura del electrolito en las celdas por circulación a través de la torre de enfriamiento atmosférico para remover el calor absorbido por efecto de la corriente eléctrica durante su paso por las celdas electrolíticas.
- Proveer un flujo a través de las celdas de electrolisis para asegurar una temperatura, concentración de zinc y nivel de ácido uniformes en el ingreso a las celdas.
- Mezclar la solución purificada rica en zinc agregada a la canaleta de descarga de las torres de enfriamiento.
- Mezclar los reactivos agregados a la canaleta de descarga de las torres de enfriamiento.
- Remover periódicamente el "gypsum" que se acumula en las Torres de Enfriamiento y en la tubería de distribución de alimentación a las celdas.

✓ **Sistema de adición de reactivos**

El siguiente proceso el cual está enfocado el siguiente proyecto de tesis consiste en preparar manualmente mezclando el reactivo sólido con agua en un tanque de mezcla agitado. Para toda preparación de pulpa de reactivo, se usa una mezcla de agua desmineralizada y agua cruda. Los lotes de reactivo mezclado se transfieren por gravedad a un tanque de retención agitado. La solución se bombea continuamente a un tanque de alimentación y rebosa de regreso al tanque de retención. La solución se dosifica desde el tanque de alimentación a la tasa de flujo requerida a la canaleta de Electrolito de la Torre de Enfriamiento Atmosférico. El cátodo de zinc se analiza regularmente por su contenido de plomo y la tasa de adición de carbonato de estroncio se regula según sea necesario. A menudo, el uso de estroncio es excesivo ya que es visto como una panacea para los problemas de plomo. La dosificación debe estar en un nivel aproximado de 25 mg/L y ser estrechamente controlado continuamente en lugar de dosificaciones de golpe cuando surjan problemas.

La solución combinada de Regaliz y Silicato de Sodio se prepara manualmente mezclando los reactivos sólidos con agua en un tanque agitado. La solución preparada se transfiere por gravedad a un tanque de alimentación desde donde se bombea a la canaleta de electrolito de la Torre de Enfriamiento Atmosférico utilizando una bomba dosificadora regulable. La solución de regaliz y silicato se añade para mantener una capa de espuma en la superficie del electrolito en las celdas a fin de minimizar la generación de niebla ácida sobre ellas.

La solución gelatina se prepara manualmente mezclando el reactivo sólido con agua en un tanque agitado (el mismo tanque usado para la preparación de regaliz). La solución de reactivo preparada se transfiere por gravedad a un tanque de alimentación

desde donde se bombea a la canaleta de electrolito de la Torre de Enfriamiento Atmosférico mediante una bomba dosificadora regulable. Se agrega gelatina para controlar la calidad física del depósito de zinc. La solución de gelatina debe utilizarse dentro de las 24 horas de preparada.

La adición de reactivos a los tanques de mezcla se hace manualmente. Las adiciones de agua a los tanques de mezcla y la transferencia a los tanques de alimentación se hacen automáticamente bajo control del DCS

La tasa de alimentación de solución de gelatina y regaliz se regula por control manual de la bomba dosificadora.

La pulpa de carbonato de estroncio se bombea a una tasa constante al tanque de alimentación y la tasa de adición al proceso se controla por ajuste manual de la altura del vertedero de rebose

Los objetivos principales de esta etapa son:

- Agregar gelatina para controlar la morfología del depósito de zinc en el cátodo;
- Agregar una mezcla regaliz y silicato de sodio para minimizar la evolución de niebla ácida sobre las celdas;
- Agregar una pulpa de carbonato de estroncio para controlar la contaminación del cátodo de zinc con plomo soluble en solución, el sulfato de estroncio precipita y coprecipita sulfato de plomo o adsorbe plomo para mantener los niveles adecuadamente bajos de plomo en la solución cerca del cátodo
- Tambien se identifica que según el documento de datos con codigo DD-VM-Zinc CJM-HSMC-092 clasifica al sistema de carbonato de estroncio como material No Peligroso. Publicaco el 17/06/2014.

✓ **Manipulación de Electrolito**

Cada fila de celdas es servida por una grúa de manipuleo de electrodos. Los tiempos de deposición de zinc son de 48 horas. La mitad de los cátodos se retiran de una celda y se transfieren a la máquina deslaminadora. La corriente eléctrica sigue fluyendo por la mitad restante de cátodos. Después de depositar los cátodos en el transportador de entrada de la máquina deslaminadora, la grúa levanta inmediatamente un juego de cátodos esperando en el transportador de salida y vuelve a colocarlos en la celda.

Es importante mantener al mínimo el tiempo del ciclo entre retiro y colocación de cátodos en una celda para evitar el recalentamiento de los contactos de electrodo de los cátodos que quedan en la celda.

La grúa de manipuleo de electrodos es capaz de operar totalmente en modo automático, pero puede operarse también bajo control manual.

Cuando los electrodos son izados desde una celda, se activan rociadores de agua en la grúa a fin de lavar cualquier porción de electrolito ácido que cae a las barras entre celdas. Se suministra agua a los rociadores desde un tanque de agua instalado en la grúa. Para esta aplicación, el agua utilizada es una mezcla de agua desmineralizada y agua cruda. El tanque de agua se rellena periódicamente, según sea necesario, en una estación de llenado de agua. Una bandeja de goteo se coloca automáticamente bajo los cátodos antes de ser llevados a la sección de Deslaminado para impedir el goteo de electrolito y evitar la corrosión de las barras, contactos y barras equipotenciales del electrodo.

La Máquina Limpiadora de Ánodos está situada en el extremo de la Casa de Celdas opuesto al de la Máquina Deslaminadora. El proceso de limpieza y planchado de ánodos se hace generalmente en un ciclo de 21 a 25 días. Un tercio de ánodos de una celda es removido y transferido al carro de transferencia de ánodos en la Máquina Limpiadora de Ánodos. Al igual que durante el Deslaminado de cátodos, la corriente sigue fluyendo por las celdas después de removidos los ánodos y es importante minimizar el tiempo entre el retiro y colocación de ánodos.

Los objetivos principales del sistema de manipuleo de electrodos son:

- Retirar cátodos con sus depósitos de zinc, de las celdas de electrólisis, y luego transferirlos al transportador de ingreso de la máquina deslaminadora.
- Devolver cátodos Deslaminado, del transportador de salida de la máquina deslaminadora a las celdas de electrolisis.
- Transferir ánodos entre las celdas y la máquina limpiadora de ánodos.
- Rociar los topes de las celdas con agua de lavado para remover cualquier electrolito que gotea al sacar los electrodos de las celdas.

✓ **Deslaminado de Cátodos**

El Deslaminado se lleva a cabo en dos pasos: pre-deslaminado y Deslaminado. Durante el pre-deslaminado se hace la primera incisión entre la lámina de zinc y el cátodo de aluminio mediante el movimiento vertical de los cuchillos de pre-deslaminado. Los cuchillos se mueven luego horizontalmente para separar la parte superior de las láminas de zinc. Si la operación de pre-deslaminado falla, se da la alerta al operador quien debe completar la acción manualmente. El Deslaminado se completa con el movimiento vertical de los cuchillos principales para terminar la separación del zinc desde la hoja de aluminio.

Después del Deslaminado, el operador de la máquina inspecciona visualmente los cátodos y, de ser necesario, los reemplaza con cátodos nuevos o reacondicionados.

Antes de que los cátodos sean movidos al transportador de alimentación de salida, el operador tiene la opción de cepillarlos si es necesario. El cepillado se hace en húmedo para minimizar la creación de polvo de aluminio en el aire.

Las láminas de zinc removidas en la máquina deslaminadora caen por un chute y transportador a una mesa de apilado. La pila de láminas se gira periódicamente 180º para asegurar una pila nivelada. Desde allí, las pilas son retiradas por montacargas y llevadas a la zona de almacenamiento de cátodos de zinc en el Área de Fusión y Moldeo.

El ciclo de la máquina deslaminadora es totalmente automático bajo control de PLC local. Normalmente no se requiere la intervención del operador, salvo para coordinar los ciclos de Deslaminado con los movimientos de la grúa.

Los objetivos principales del sistema de Deslaminado de cátodos son:

- Remover el depósito de zinc en forma de lámina desde la hoja de aluminio sin dañarla.
- Cepillar y lavar el cátodo de aluminio como sea necesario. (Los requerimientos del cepillado dependen de la calidad del electrolito sobre todo del flúor contenido).
- Proveer un medio para la inspección, remoción y reemplazo de cátodos dañados.
- Producir pilas niveladas de láminas de zinc para transferirlas al área de almacenamiento previo a los hornos de fusión.

✓ **Limpieza de Ánodos**

El proceso de limpieza y planchado de ánodos se hace generalmente por ciclos de 21 a 25 días. Un tercio de los ánodos de una celda se tratan como un lote. Los ánodos se colocan en el carro de transferencia de ánodos (vagón) que mueve los ánodos hacia y desde la Máquina Limpiadora de Ánodos.

El primer paso es una estación de cepillado. Cada ánodo es izado a la posición de inicio, se colocan cepillos giratorios en la superficie del ánodo y el ánodo es levantado cubriendo su altura total mientras se le cepilla. Un rociador de agua presurizada remueve cualquier depósito separado por los cepillos.

El segundo paso es la estación de planchado. Cada ánodo es izado mientras es rociado con agua presurizada de varias boquillas de chorro plano. Esto remueve cualquier residuo que quede en la superficie del ánodo. Una vez que el ánodo ha llegado al punto superior de movimiento, dos placas pesadas planchan la hoja de ánodo con dos impactos rápidos. El ánodo baja luego de regreso al carro de transferencia

Después de limpiados y planchados, los ánodos se inspeccionan y reparan o reemplazan como sea necesario. Luego se le devuelve al servicio. La máquina de limpieza y planchado de ánodos está totalmente cerrada.

El agua y lodo de ánodo (MnO2) caen por un chute sobre un clasificador espiral de ánodo. El líquido de rebose del clasificador se recolecta en el sumidero del área de celdas y luego se bombea al tanque de efluentes. Los sólidos de bióxido de manganeso se recolectan en una estación de embolsado en "big-bags" y se venden.

El ciclo de la máquina de limpieza de ánodos es totalmente automático bajo control del PLC local. Normalmente no se requiere intervención del operador, salvo para coordinar los ciclos de limpieza de ánodos con los movimientos de la grúa de electrodos.

Los objetivos principales del Sistema de Limpieza de Ánodos son:

- Remover la costra de dióxido de manganeso (MnO2) adherido a la superficie de los ánodos.
- Planchar los ánodos para su enderezado horizontal/vertical.
- Proveer un medio para la inspección, remoción y reemplazo de ánodos dañados.

Limpieza y mantenimiento de Celdas

El Dióxido de Manganeso (MnO2) que precipita en las celdas, se asienta en el fondo de las mismas y debe ser removido periódicamente. El sistema de limpieza de celdas por succión permite remover el lodo de celdas mientras se mantienen las celdas en línea y sin interferir con la producción de zinc.En el fondo de las celdas hay una tubería perforada instalada permanentemente para facilitar la remoción del lodo. Para limpiar las celdas, esta tubería se conecta con una manguera flexible a toma vertical de varios tubos de situados a lo largo de las filas de celdas. El lodo de celdas se recolecta mediante vacío en los depósitos de limpieza de celdas y se descargan al tanque bomba de limpieza de celdas. De aquí es bombeado a la Lixiviación Súper Acida Caliente (LAC 2) en el Área 40. Los tubos de toma vertical están situados también a lo largo del tanque de circulación principal.Debido a las caídas de temperatura en las líneas que alimentan la celda, el electrolito tiene la tendencia a cristalizarse (mayormente por yeso) sobre las paredes del sistema de alimentación, por lo que la tubería de alimentación requiere frecuente limpieza periódica.La limpieza de celdas se hace bajo control manual. La activación de un interruptor de flujo en el flujo de agua de sello de la bomba de vacío apagará dicha bomba.

Los objetivos principales del sistema de limpieza y mantenimiento de celdas son:

- Remover los depósitos de "gypsum" del sistema de tubería de alimentación de celdas.
- Remover el lodo de Dióxido de Manganeso (MnO2) y "gypsum" asentados en el fondo de las celdas de electrolisis.

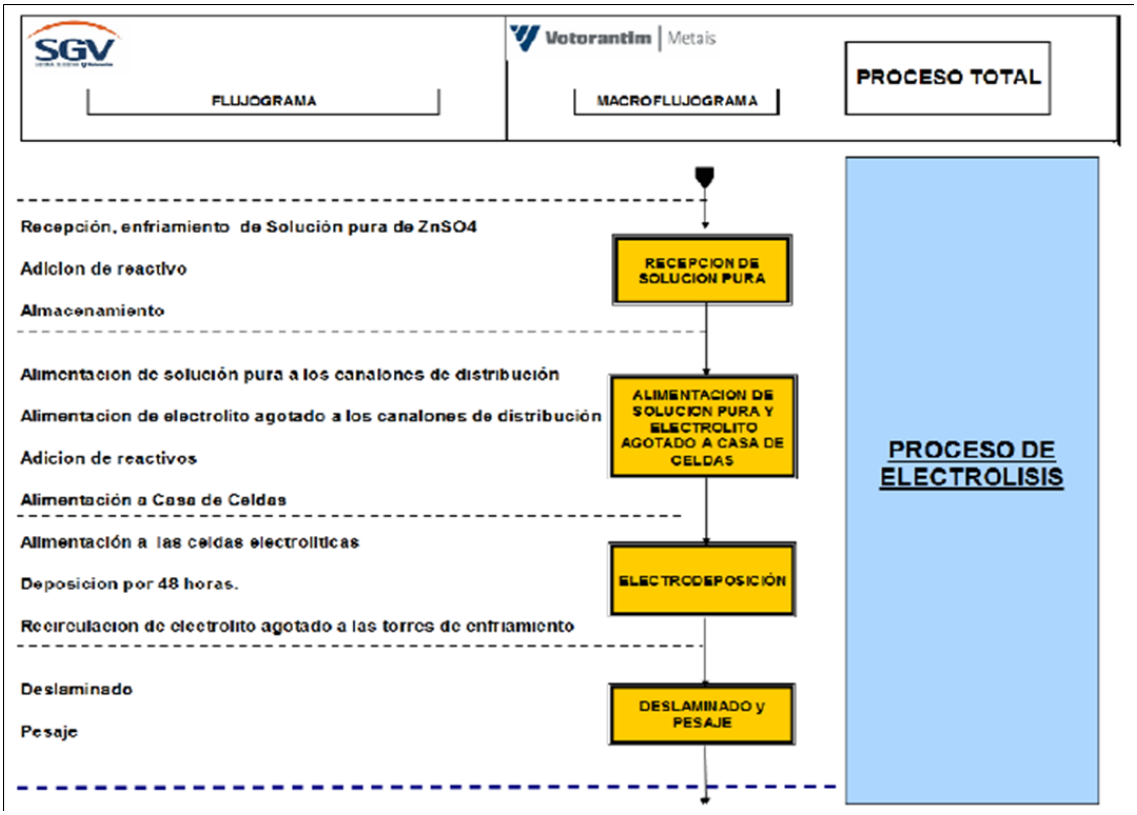


Fig.14 Macroflujograma del proceso de electrolisis

Fuente: Gerencia de PCP y Procesos de la Refineria de Cajamarquilla

Fusión y Moldeo

El zinc obtenido en la Planta de Electrólisis es fundido en un horno de inducción y moldeado en barras SHG, jumbos de calidad SHG (99.995% de pureza), jumbos de aleación de varias calidades y aleación de Zamak-

Fig. 15. Fusión y moldeo

2.4 Consideraciones Teóricas para el análisis de costo de ciclo de vida aplicada a bombas dosificadoras.

2.4.1 Descripción de las bombas dosificadoras que alimentan al circuito de Celdas Electrolíticas

a) **Aplicación y Función de las bombas dosificadoras en el sistema de carbonato de Estroncio.**

El proceso de carbonato de estroncio está compuesto por dos bombas peristálticas, dos tanques uno de preparación luego dirigido por una línea de traspase hacia un tanque de almacenamiento, estas bombas se encargan emitir esta mezcla de carbonato de estroncio y agua hacia el canalón que se encuentra en la parte superior del edifico de casa de celdas Sección 70, luego de llegar al canalón principal es aquí donde se mezclara con el electrolito dirigiéndose a la 8 líneas donde están alojadas las celdas electrolíticas. Las ventajas que aporta el sistema de adición de reactivos es:

- Eliminación del plomo contenida en las láminas de zinc
- Mitigar la neblina acidad que se originan en la parte superior de las celdas electrolíticas
- Mantiene el menor consumo de energía eléctrica y mayor eficiencia e las secciones.

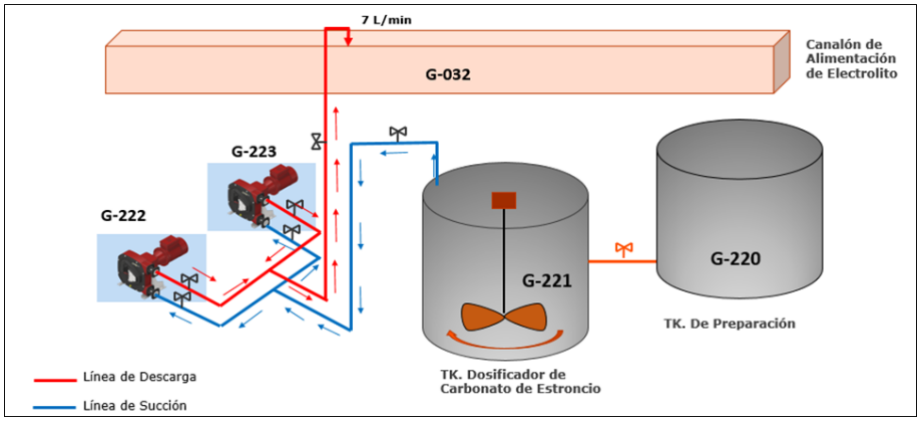


Fig. 16. Elaboración propia del sistema de Carbonato de estroncio.

b) **Característica y Performance de las Bombas dosificadoras**

Inicialmente en la etapa de diseño del sistema de adición de reactivos, se contaba con dos bombas dosificadoras instaladas en la parte superior del tanque de dosificador, este equipo de poca capacidad el cual no complica con las necesidades del cliente (operaciones) por lo que también se añadían los problemas por mantenimiento correctivo, debido a la alta tasa de fallas.

Las bombas que se requieren para este proceso son de tipo peristáltica con capacidad de 15 bar (217.55 PSI) y caudal de 7 L/h debido a al aumento de la producción en el periodo del 2018.

Mencionadas las siguientes características, se requiere adquirir las bombas peristálticas más eficientes y que garanticen el mejor trabajo a lo largo de su ciclo de vida, de tal forma que asegure una alta disponibilidad y cumpla las necesidades de operaciones.

TABLA I

CARACTERÍSTICA Y PERFORMANCE DE LAS BOMBA PERISTALTICA

GERENCIA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO

BOMBA PERISTÁLTICA	
DATOS GENERALES	
DESCRIPCIÓN	BOMBA PERISTALTICA
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	BOMBA PERISTALTICA DE TANQUE DE CARBONATO DE ESTRONCIO
NUMERO ACTIVO	NO FIGURA
CÓDIGO DE EQUIPO	NO FIGURA
TAG	7500-0370G222
TAG SYBETRA	G222
FECHA DE TOMA DE DATOS	04/02/2010
SECCIÓN	70
FAMILIA	BOMBAS
FUENTE DE DATOS	VOL 1439 (ARCHIVO TECNICO)
DATOS DE ACTIVO	
MARCA	ALBIN
MODELO	ALH-20
N° SERIE	27 I 1554
FABRICANTE	ALBIN
DATOS ESPECÍFICOS	
POTENCIA BHP (Kw)	0.55
POTENCIA MÁXIMA (HP)	0.75
PRESIÓN MÁXIMA (BAR)	7.5
AÑO DE FABRICACIÓN	2007
VELOCIDAD NOMINAL (RPM)	48
VELOCIDAD MÁXIMA (RPM)	DNE
MONTAJE	HORIZONTAL
EFICIENCIA	DNE
PESO	DNE
RODAMIENTOS	DNE
CAUDAL (m3/h)	0.0001133
RANGO	DNE
TIPO DE LUBRICANTE	DNE
CANTIDAD DEL LUBRICANTE	DNE
MATERIAL	
CUBIERTA	ALUMNIO
ROTOR	DNE
ZAPATOS DEL ROTOR	DNE
SEPARADORES DE MILLARES	DNE
BASE	DNE
CARTUCHO DEL COJINETE	DNE
MANGUERA	
TIPO	DNE
MATERIAL	ELASTOMERO NR REFORZADO CON POLIAMIDA
RANGO DE TEMPERATURA (°C)	HASTA 30
PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)	DNE
DIÁMETRO INTERIOR (mm)	DNE
DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	DNE
LONGITUD (mm)	DNE
PESO (Kg)	DNE
ENTRADA	
DIÁMETRO (mm)	25
NPSH REQUERIDO (m)	DNE
SALIDA	
DIÁMETRO (mm)	25

Fuente Archivo Técnico, Compañía Minera Nexa Resources S.A.

c) Problemas que se tienen con los equipos actuales

Actualmente en el sistema de adición de reactivos o también llamado sistema de carbonato de estroncio, los activos son de la marca Albin 1 equipo está fuera de servicio por presentar fallas en impulsor y el otro activo presenta fallas constantes por rotura de maguera, esto debido al desgaste de las zapatas internas que giran originando paros constantes, también en las últimas semanas se a detectado sonido excesivo en caja de reductora.

Por otro lado, no se tiene un Plan de Mantenimiento preventivo por lo cual solo se realiza mantenimiento correctivo, esperando que suceda la una falla funcional.

Por lo que se requiere el reemplazo de estos activos para lograr cumplir las necesidades solicitadas por operaciones, evitar pérdidas en la producción por enviar láminas de zinc contaminadas con plomo al área de Fusión y Moldeo. También diseñar un Plan de Mantenimiento preventivo para así detectar posibles fallas funcionales y no legar a una falla funcional.

Fig. 14. Sistema de carbonato de estroncio,
Fuente: Gerencia de Desarrollo Humano Organización. Área Comunicación e Imagen Institucional.

2.4.1.1 Análisis para los costos del ciclo de vida

a) Costos totales en un sistema de bombeo

El Costo del Ciclo de Vida (CCV) es un análisis de costos (flujos de efectivo) en 5 años como promedio, llevado a valor presente, el que tenga el menor CCV será la mejor opción a tomar como se sabe, el costo de ciclo de vida incluye el costo inicial Cic, el costo de instalación y arranque (Cin), el costo de energía (Ce), el costo de operación (Co) el costo de mantenimiento y reparaciones (Cm), el costo de paradas y pérdidas productivas(Cs), el costo ambiental· (Cenv) y el costo de disposición de los equipos (Cd), incluidos para dejar el proyecto como originalmente se encontró.

El análisis de costo del ciclo de vida ha sido una tendencia creciente para muchas compañías en numerosas industrias, las organizaciones bien informadas utilizan cada vez más el análisis de costo de ciclo de vida como un instrumento valioso al hacer decisiones de compra de equipos.

El costo del ciclo de vida es simplemente la suma de todos los costos de adquisición y propiedad de un producto o sistema sobre su vida completa. Estos pueden incluir diferentes tipos de costos tales como; diseño, producción, garantía, reparación y disposición final. Teniendo en cuenta partidas con frecuencia ignoradas, tales como el costo de fallas de partes y reparaciones o el impacto financiero en el resto de su operación por fallas del equipo, el análisis de costos del ciclo de vida puede proporcionar a la empresa una representación de los costos verdaderos sobre de la vida del equipo adquirido. El análisis de costos del ciclo de vida determina las diferencias en el valor neto actual de las opciones en competencia y ayuda a identificar la opción que ofrece el mejor valor para el propietario.

Para el equipo industrial con una vida típica de operación de 20 a 30 años o más, existen costos significativos incurridos al adquirir el equipo, obtener partes y contratar servicios de mano de obra necesarios para conectarlo al servicio eléctrico, gas o agua, entrenar operarios, realizar mantenimiento y detección de fallas según se requiera a lo largo de la vida operativa del equipo. Los costos acumulados de estas actividades a menudo pueden exceder el precio de compra inicial.

En el presente, el costo de mantenimiento por si mismo puede exceder por mucho el costo inicial de adquisición; El análisis del costo del ciclo de vida proporciona el costo total probable a incurrirse durante

la vida de una pieza del equipo. Los costos del ciclo de vida son dependientes al costo de mano de obra y los gastos contraídos y pueden aumentar considerablemente cuándo el equipo falla en cumplir el desempeño esperado. O falla dentro de unos pocos años posteriores a la compra requiriendo disposición final y costos de sustitución imprevistos, así como la supervisión de estas tareas inesperadas. Es generalmente aceptado que el 80 % del costo de ciclo de vida es una función de decisiones hechas durante la etapa conceptual de un proyecto, cuando el cliente estudia una variedad de opciones. Como en cualquier decisión, cada alternativa tiene un impacto comercial que afecta el valor económico al cliente sobre la vida entera del equipo. Este es el mejor tiempo para considerar las opciones que permitirán aminorar el costo total de propiedad, a través del ciclo de vida total del equipo. La confiabilidad mejorada y el tiempo reducido de reparaciones tienen como resultado menor tiempo muerto y mayor disponibilidad del equipo.

Cuando una compañía evalúa las alternativas únicamente por el precio de compra inicial, ignorando virtualmente una operación potencialmente más larga y otros gastos, esto puede llevar a costos totales de propiedad significativamente más altos sobre la vida del equipo. Los negocios ahora reconocen las implicaciones de tal omisión. El análisis de costo del ciclo de vida proporciona una base sólida para adquirir equipos de mayor calidad y va más allá del cumplimiento técnico y el precio más bajo. Un análisis de costo del ciclo de vida calcula el costo de un sistema o el producto sobre su vida entera. El análisis de un sistema típico podría incluir los costos como mostrado en la tabla

Elementos de la ecuación de CCV

CCV = Cic + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Cenv

CCV = Costo de Ciclo de Vida

Cic = Costo inicial, precio compra

Cin = Costo de instalación y Arranque

Ce = Costos de energía

Co = Costos de Operación

Cm = Costos de mantenimiento y reparación

Cs = Costos de paradas y perdidas de producción

Cenv = Costos ambientales

b) Costo inicial del equipo

Al seleccionar el equipo de bombeo se deben tomar en cuenta varios aspectos, como usar tuberías de diámetros pequeños así como las uniones pueden reducir los costos de adquisición, sin embargo un diámetro pequeño requiere más potencia en la bomba dando como resultado mayor costo de energía. Por otro lado pequeños diámetros de tubería en la succión de la bomba reducen la carga neta positiva de succión disponible (NPSH d) y por lo tanto puede ser requerida una bomba más grande y de menor velocidad, usualmente más costosa o aumentar la distancia sumergida de la bomba.

Habrá otras opciones, que pueden ser realizadas durante la etapa de diseño que pueden afectar los costos iniciales de inversión. Una decisión importante es la calidad del equipo seleccionado. No puede ser una opción con respecto a los materiales que tienen diferentes tasas de desgaste más pesado, rodamientos de rodillos, los paquetes de control más amplio, todos los aumentos de la vida laboral de la bomba. Estas y otras opciones pueden incurrir en mayores costos iniciales y reducir los costos de CCV

Los costos iniciales también suelen incluir los siguientes elementos:

- Ingeniería (diseño y dibujos, cuestiones de reglamentación)
- El proceso de Licitación
- La administración de compra de pedidos
- Pruebas e inspección
- Inventario de piezas de repuestos
- Capacitación
- Equipamiento auxiliar para la refrigeración y sellado de agua

c) Costo de Instalación y Arranque

Los costos de instalación y puesta en marcha son los siguientes:

- Bases de diseño, preparación, y el refuerzo de concreto, etc
- El ajuste y la inyección de material de base
- La conexión de tuberías de proceso
- La conexión del cableado eléctrico y de instrumentación
- La conexión de los sistemas auxiliares y otros servicios públicos
- Disposiciones para el lavado
- Evaluación del desempeño en el arranque

La instalación puede ser realizada por un proveedor de equipos, el contratista, o por el usuario. Esta decisión depende de varios factores, incluyendo las habilidades, herramientas y equipos necesarios para completar la instalación, los requisitos contractuales de adquisición; las reglas de trabajo que rigen el lugar de instalación, y la disponibilidad de las autoridades competentes para llevar a cabo la instalación. El personal de planta o contratista debe coordinar la supervisión con el proveedor. Se debe tener cuidado de seguir las instrucciones de instalación a detalle. Una instalación completa incluye la transferencia de la operación del equipo y los requisitos de mantenimiento a través de la capacitación del personal responsable de su operación.

El arranque inicial requiere de mucha atención a las instrucciones del fabricante del equipo para la puesta en marcha y operación. Una lista de verificación se debe utilizar para asegurar que el equipo y el sistema están operando dentro de los parámetros especificados. Una aprobación final se produce normalmente después que se demuestra una operación exitosa.

d) **Costo de Energía**

El consumo de energía es a menudo uno de los elementos de costos más grandes y pueden llegar a dominar el CCV, sobre todo si las bombas funcionan por más de 2000 horas al año. El consumo de energía puede ser fácilmente calculado mediante la recopilación de los datos de salida del equipo de bombeo, siempre y cuando sean constantes en el tiempo. Si la salida no es constante se debe establecer un modelo basado en el tiempo

La potencia de ingreso es:

$$P = \frac{Q \times H \times s.g.}{366 \times \eta_p \times \eta_m} \quad [kW] \quad \text{(metric)}$$

$$P = \frac{Q \times H \times s.g.}{3960 \times \eta_p \times \eta_m} \quad [hp] \quad \text{(U.S. units)}$$

Donde:

P = Potencia

Q = Flujo Nominal, m3/hr (US gpm)

H = Altura, m (ft.)

Op = Eficiencia de la Bomba

o m = Eficiencia del motor

s.g. = Gravedad especifica

El diseñador de la planta o gerente necesita obtener los datos por separado que muestra el rendimiento de cada sistema de bombeo y se considerará en todo la línea de descarga. El rendimiento puede ser medido en términos de la eficiencia global de la unidad de bomba o de energía utilizada por el sistema en diferentes niveles de salida. El manejo de la selección y aplicación afectará el consumo de energía. Por ejemplo, mucha más electricidad requiere una bomba accionada por un motor neumático que la bomba accionado por un motor eléctrico. Además, algunos usos de la energía no pueden ser dependientes de la salida. Por ejemplo, un sistema de control de sensado de presión en la salida puede generar una carga de energía constante, mientras que un motor eléctrico a velocidad de variable puede consumir los diferentes niveles de energía en diferentes parámetros de funcionamiento. El uso de una válvula de estrangulación, válvula de alivio o de un bypass para control reducirá la eficiencia operativa y aumentará la energía consumida.

La eficiencia o los niveles de energía que se utiliza deben ser trazados en la misma base del tiempo, así como el uso de los valores a mostrar en relación con el patrón referencial. El área bajo la curva representa la energía total absorbida por el sistema que está siendo revisado durante el ciclo de funcionamiento seleccionado. El resultado será en kWh (kilowatt hora). Si tenemos varios costos de potencias en los diferentes niveles de carga, entonces el total de las áreas deben estar dentro de estos niveles.

Una vez que las tasas de carga se determinan por la energía suministradas se pueden aplicar el total de kWh para cada banda de carga (período de tasa). El costo total de la energía absorbida se puede encontrar para cada sistema en estudio y llevado a un período de tiempo común.

Finalmente, los costos de consumo de energía y materiales de los servicios auxiliares deben ser incluidos. Estos costos pueden venir de los circuitos de refrigeración o calefacción, a partir de líquido flushing o líquido / gas arreglos barrera. Por ejemplo, el costo de funcionamiento de un enfriamiento circuito de enfriamiento con agua deberá incluir los

siguientes elementos: el costo del agua, el servicio de bombeo, filtración, la circulación, y la extracción de calor/ disipación.

e) Costo de Operación

Los costos de operación son los costos laborales relacionados con el funcionamiento de un sistema de bombeo. Estos varían ampliamente dependiendo de la complejidad y la función del sistema. Por ejemplo, una bomba de fluidos tóxicos puede requerir control diario por emisiones peligrosas, fiabilidad y rendimiento dentro de los parámetros aceptados.

Por el contrario, un sistema completamente automatizado de fluidos tóxicos, puede requerir una supervisión muy limitada. Regular la observación de cómo un sistema de bombeo está funcionando puede alertar a los operadores de posibles pérdidas en el rendimiento del sistema. Los indicadores de rendimiento incluyen cambios en la vibración, cavitación, temperatura, ruido, consumo de energía, flujo nominal y presión.

f) Costo de Reparación y Mantenimiento

La obtención de una vida útil de trabajo de una bomba requiere de un servicio regular y eficiente. El fabricante informará al usuario sobre la frecuencia y el alcance de este mantenimiento de rutina. El costo depende del tiempo, frecuencia del servicio y los precios de los repuestos. El diseño también puede influir en estos costos a través de los materiales de construcción, componentes elegidos y la facilidad de acceso a las partes de este servicio.

El programa de mantenimiento puede estar compuesto por los menos frecuentes pero de mayor cuidado, así como el servicio más frecuente, pero más simple. Las principales actividades del servicio deben ser realizadas en un taller de mantenimiento. Durante el tiempo que la bomba no está disponible para la planta de proceso, no pueden haber pérdidas de producción, por lo que se considera un costo de reemplazo temporal. Estos costos pueden ser minimizados mediante la programación de las principales actividades de mantenimiento durante la parada anual o sobre el proceso de cambio. Servicio importante puede ser descrito como "unidad de la bomba no reparable en el sitio", mientras que la rutina de trabajo seria como "unidad de la bomba reparable en el sitio."

El costo total de mantenimiento de rutina se determina multiplicando el costo por evento por el número de eventos esperados durante el ciclo de vida de la bomba.

Aunque las fallas inesperadas no pueden predecirse con exactitud, se puede estimar estadísticamente mediante el cálculo de tiempo medio entre fallas (MTBF). MTBF se puede estimar para los componentes y luego se combinan para dar un valor para la máquina completa.

Puede ser que sea suficiente considerar simplemente el mejor y el peor de los escenarios donde la vida más corta posible y la más larga vida útil probable que se consideran. En muchos casos, los datos del historial de la planta están disponibles.

El fabricante puede definir y proporcionar el MTBF de los items cuya falla impidan el funcionamiento de la unidad de bombeo o reducirá su ciclo de vida por debajo del objetivo de diseño. Estos valores se pueden derivar de la experiencia pasada o del análisis teórico. Se puede esperar que los ítems incluyan juntas, cojinetes, impulsor, válvula, anillos de desgaste, acoplamiento, fabricantes de motor y otros artículos especiales que constituyen el sistema completo. Los valores de MTBF se pueden comparar el diseño de trabajo del equipo y el número de eventos de falla calculado.

Hay que reconocer que las variaciones del proceso y prácticas de los usuarios siempre tienen un impacto importante sobre el MTBF de una planta y las bombas incorporadas a esta. Siempre que sea posible, los datos históricos son preferibles a los datos teóricos de los proveedores. El costo de cada evento y los costos totales de estas fallas inesperadas se puede estimar de la misma manera que los costos calculados para los mantenimientos de rutina.

g) **Costo por Perdida de Producción**

El costo de paradas inesperadas y la pérdida de producción es un punto muy importante en el total de LCC y puede competir con los costos de consumo de energía y los costos de las piezas de repuesto en su impacto. A pesar del diseño adecuado de una bomba y sus componentes, existen ocasiones en las que produce una falla inesperada. En aquellos casos en que el costo de pérdida de producción es inaceptablemente elevado, se debe de instalar una bomba de repuesto en paralelo para reducir el riesgo (stand by). Si una bomba de repuesto se utiliza, el costo inicial será mayor, pero el costo del mantenimiento

no programado se incluye únicamente el costo de la reparación.

El costo de la pérdida de producción depende del tiempo muerto y se diferencia por cada caso.

h) Costo por Perdida Ambientales

El costo de la eliminación de contaminantes durante la vida útil de un sistema de bombeo varía significativamente dependiendo de la naturaleza del producto bombeado. Ciertas opciones pueden reducir significativamente la cantidad de contaminación, pero por lo general aumenta el costo de inversión.

Por ejemplo la contaminación ambiental pueden incluir: refrigeración del fluido bombeado, la eliminación de flujo por las prensaestopas, fuga por la carcaza, uso de lubricantes contaminantes, eliminación de las piezas usadas y contaminadas. Los costos de inspección del medio ambiente también deben ser incluidos.

2.4.2 Procedimiento para el cálculo del análisis de costo de ciclo de vida para los activos del sistema de carbonato de estroncio.

2.4.2.1 Cálculo de coste de ciclo de vida de los activos del sistema de carbonato de estroncio

Para nuestra selección se analizaran dos marcas muy prestigiosas en el mercado nacional e internacional las cuales son:

Marca, Goulds Pumps, procedencia USA

Marca Hidrostal, Nacional

Para realizar la mejor selección aplicando el CCV, se seguirán todos los cálculos de costos como se detallan En nuestro análisis se utilizará la información suministrada por el proyectista los cuales son los siguientes:

Caudal: 750m3/h

Presion: 80 metros

NPSHd: 1 O metros

Fluido a bombear: Agua con 500 ppm,a 25 ºC

Cantidad: 01 und + 01 stand by

Temperatura Ambiente: 25 ºC

Altitud: 215 msnm

Tipo de Trabajo: 24 horas

Voltaje: 440 V

Fases: 3 Fases

Frecuencia: 60 Hz

Con estos parámetros se realizara el análisis para buscar y seleccionar el equipo más rentable para el cliente

CAPITULO IV

REFLEXION CRITICA A LA EXPERIENCIA

Mediante el análisis del costo de ciclo de vida nos permite analizar los distintos costos involucrados en el activo durante toda la vida útil del mismo, estos son desde su concepción hasta su eliminación. La ventaja de un análisis de costo de ciclo de vida es principalmente que permite entregar información de la vida del activo otorgando las herramientas necesarias para una futura toma de decisiones. Se diseñan una serie de actividades que permiten darle mayor especificidad al mantenimiento de los equipos. Es decir, se incorporan actividades al análisis con el fin de cubrir con las diversas limitaciones que se van presentando en la particularidad. Por otra parte, el estado de activos es una característica que permite cuantificar el deterioro de un equipo, incorporando factores semicuantitativos que le agreguen dicha situación a los modelos de gestión de activos. Este análisis se realiza con la información de las actividades de operación, mantenimiento e historial de fallas, con el objetivo de determinar el estado o condición en la que se encuentra el activo de estudio.

Estas materias han tomado serio protagonismo en la refinería permitiendo realizar estudios de los equipos para, en algunos casos, prever las fallas o la pronta detección en caso de necesitar mantenimiento mayor o reemplazo. Actualmente se está trabajando en incorporar las temáticas de la confiabilidad en el análisis del costo de ciclo de vida, permitiendo entregar información certera del costo por fallas y útil para la futura toma de decisiones. Estudios previos han utilizado la Distribución de Weibull para determinar los eventos de falla bajo una función probabilística, sin embargo, una de las grandes limitaciones que presentan estos estudios es al momento de considerar la cantidad real o más aproximada de fallas como constante para cada año de trabajo del equipo.

Para cubrir esta limitación es que el presente trabajo busca incorporar aspectos del estudio de estado de los activos en el análisis de los costos del ciclo de vida y su validación a través de la aplicación en un caso real como son los equipos mineros de la refinería de Cajamarquilla siendo el objetivo principal incorporar la cuantificación del deterioro de los activos en el análisis de los costos del ciclo de vida. El diseño del modelo comienza con el cálculo del índice de estado de los equipos y para esto se estudian los factores de locación, diversos factores que afectan el estado de los equipos, las condiciones de operación, los modos de falla y los factores que afectan a la confiabilidad. Posteriormente se emplea una relación entre el comportamiento del estado a nivel teórico (según fabricante o información entregada por la empresa) de la bomba con el comportamiento real, y esta relación se incorpora en la tasa de fallas la cual irá variando a lo largo del tiempo, influenciada por el índice del estado del activo. Finalmente se desarrolla un flujo de caja con todos los costos asociados al ciclo de vida de los equipos.

CONCLUSIONES

En el proceso de Análisis de los Costes a lo largo del Ciclo de Vida de un activo, existen muchas decisiones y acciones, que deben ser tomadas, siendo de interés particular para este trabajo, aquellos aspectos relacionados con el proceso de mejoramiento de la Confiabilidad (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos, tienen un gran impacto sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costes razonables.

La orientación de este informe, hacia el estudio y el análisis del factor Confiabilidad y su impacto en los costes, se debe, a que gran parte del incremento de los costes totales durante el Ciclo de Vida útil esperado de un sistema de producción, es ocasionado en su mayoría, por la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallos, escenario provocado básicamente por el desconocimiento y por la ausencia de una evaluación técnica en la fase de diseño de los aspectos relacionados con la Confiabilidad. Esta situación trae como resultado un incremento en los costes de totales de operación (costes que no fueron considerados en un principio) afectando de esta forma la rentabilidad del proceso de producción.

Las técnicas de LLC, permitirá que las organizaciones seleccionen de forma eficiente y con un menor nivel de incertidumbre sus activos físicos, contribuyendo a no caer en la simplicidad de seleccionar sus activos tomando en cuenta solo las tendencias actuales “la moda del momento”, escenario que hoy en día, está ocurriendo de forma reiterativa, sobre todo en el proceso de justificación de las diversas herramientas propuestas por la denominada Industria

RECOMENDACIONES

Es necesario incluir dentro de las metodologías actuales de LLC, modelos que permitan estimar el impacto de la Confiabilidad, con el fin de poder disminuir el nivel de incertidumbre en el proceso de evaluación de los costes totales esperados en el ciclo de vida útil de un activo de producción

El cálculo del coste del ciclo de vida se debe aplicar en todas las fases de diseño del sistema: diseño, desarrollo, producción, construcción, uso operativo y apoyo logístico

Evaluar el impacto de los principales fallos sobre la estructura de costes de un sistema de producción, a partir de un proceso sencillo, el cual se resume a continuación: primero, se determinan los tipos de fallos más importantes, luego, se asigna a cada tipo de fallo un valor constante de frecuencia de ocurrencia por año (este valor no cambiara a lo largo de la vida útil esperada), posteriormente, se estima el impacto en costes por año, generado por los fallos en la producción, las operaciones, el ambiente y la seguridad

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] C. Parra y A. Crespo. Técnicas de análisis de coste de ciclo de vida, utilizadas para justificar la aplicación de herramientas de optimización de mantenimiento, propuestas por la industria 4.0. caso de estudio: Sector Oil and gas. Universidad de Sevilla- 2019

[2] N. Gómez et al. Modelado del costo del ciclo de vida de los activos de I+D en una industria petrolera. Metadatos. 2019 http://hdl.handle.net/20.500.11912/4787

[3] J. Marín, "Diseño y validación de una herramienta de gestión del ciclo de vida de activos de producción en compañía minera poderosa para reducir costos de operación y mantenimiento," *Ucv.edu.pe*, 2020, doi: https://hdl.handle.net/20.500.12692/51435.

[4] S. Kirk, S. and A. Dellisola. Life Cycle Costing for Design Professionals. McGraw Hill, New York, 6-57. 1996.

[5] L. Alting, L. Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. In Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques. A. Kusiak (ed.) (New York: Wiley), 1± 17- 1993

[6] A. Kriwet y E. Zussman and G. Seliger, G. Systematic integration of design for recycling into product design. International Journal of Production Economics, 38, p.15± 22.- 1995

[7] J. Woodhouse, J. Turning engineers into businessmen. 14th National Maintenance Conference, London. 1991

[8] T. Markeset and U. Kumar &M and risk analysis tools in product design to reduce life-cycle cost and improve product attractiveness. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 22-25 January, Philadelphia. p. 116-22. - 2001

[9] R. L. Wilson, R. L. Operations and support cost model for new product concept development. - 1986

[10] W. J. Fabrycky, and B. S. Blanchard. Life Cycle Costing and Economic Analysis. Prentice Hall, Inc, Englewwod Cliff, New Jersey. 1991

[11] R. L.Wilson. Operations and support cost model for new product concept development. Proceedings of the 8th Annual Conference on Components and Industrial Engineering, 128± 131. 1986

[12] D. J.Smith, and A. H.Babb. Maintainability Engineering, Halsted Press. 1973

[13] J.S. Noble and J.M.A.Tanchoco. Concurrent design and economic justification in developing a product. International Journal of Production Research, 28 (7), 1225± 1238. 1990

[14] S. Durairaj and S. Ong, S. Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies. Corporate Environmental Strategy, Vol. 9, No. 1, p.30-39. 2002

[15] S. Dowlatshahi, Product design in a concurrent engineering environment: an optimization approach. Journal of Production Research, 30 (8), 1803-1818. Año 1992

[16] B.S. Blanchard. Life cycle costing – a review. Terotechnica, 1, 9± 15 año 1979

[17] J.M. Daschbach and H. Apgar. Design analysis through techniques of parametric cost estimation. Engineering Costs and Production Economics, 14, 87± 93. Año 1988

[18] W. Fabrycky and B. S.Blanchard. Life Cycle Costing and Economic Analysis. Prentice Hall, Inc, Englewwod Cliff, New Jersey. Año 1991

[19] R. C. Creese and L. T. Moore, L. T. (1990). Cost modeling for concurrent engineering. Cost Engineering, 32 (6) June, 23± 27. Año 1990

[20] J. Woodhouse. Turning engineers into businessmen. 14th National Maintenance Conference, London. Año 1991

[21] R. E. Barlow, C.A. Clarotti and Spizzichino, F. Reliability and Decision Making. Chapman & Hall. Año 1993

[22] D. N. Ruff and R. K. Paasch. Consideration of failure diagnosis in conceptual design of mechanical systems. Design Theory and Methodology, ASME, DE- 53, 175-187. Año 1993

[23] J. Farr, “Systems Life Cycle Costing: Economic Analysis, Estimation, and Management,” ResearchGate, Jun. 20, 2011.

[24] J. Woodhouse. Managing Industrial Risk. Chapman Hill Inc, London, 200-241. Año 1993

[25] O. Salazar, “Análisis y selección de un sistema de sellado para una bomba de impulsión de lodos basada en la metodología de análisis de costo de ciclo de vida,” Unsa.edu.pe, 2016, doi: http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3245.

ANEXOS

Refinería de Zinc de Nexa Resources S.A. complejo minero