

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



Business Consulting para Nexa Resources

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN
ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS OTORGADO POR
LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
PRESENTADA POR**

Bárbara Luz Azabache Tufenio, DNI: 42710754

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS OTORGADO POR
LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
PRESENTADA POR**

Juan Iván Peláez Ruiz, DNI: 41821956

José Luis Osorio Mayta, DNI: 41577442

ASESOR

Dr. Carlos Armando Bazán Tejada, DNI: 09385874

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8121-8658>

JURADO

Presidente: Juan Pedro Rodolfo Narro Lavi

Jurado: Beatrice Elcira Avolio Alecchi

Asesor: Carlos Armando Bazán Tejada

Surco, noviembre 2023

Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, **Carlos Armando Bazán Tejada**, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado “**Business Consulting para Nexa Resources**”, del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as):

- Bárbara Luz Azabache Tufenio,
- Juan Iván Peláez Ruiz,
- José Luis Osorio Mayta;

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del **19%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 20 de septiembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 20 de septiembre de 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora:	
Bazán Tejada, Carlos Armando	
DNI: 09385874	Firma
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8121-8658	

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a Nexa Resources y de forma especial al Sr. José Luis Blanca Hidalgo quien brindó apertura y facilidades para la ejecución del presente trabajo, a todos los profesores, quienes a lo largo de estos dos años nos han brindado los conocimientos y experiencias necesarias para lograr esta meta, a los compañeros de carpeta con quienes compartimos experiencias profesionales y discutimos de forma práctica lo aprendido en clases, a los expertos consultados quienes brindaron de forma desinteresada su asesoría y aportes necesarios que permitieron desarrollar la consultoría de negocios. También, un agradecimiento especial al asesor Carlos Bazán, por su asesoría y tiempo brindado para lograr el objetivo de ser magísteres.



Dedicatorias

A mi esposo Gonzalo Arias, por su, comprensión, soporte y por motivarme a lograr mis objetivos y a mis queridos padres Yolanda y Marcos, por enseñarme que con lucha y perseverancia se pueden alcanzar los sueños.

Bárbara Azabache Tufenio.

A mis padres por su motivación y apoyo incondicional que fueron fuente de inspiración para conseguir muchos logros y enseñarme que no hay sueños imposibles que lograr, sólo que hay que esforzarse para conseguirlos.

José Luis Osorio Mayta.

A mi padre que me ayudo a iniciar este camino, y aunque hoy ya no se encuentre a mi lado su ejemplo de vida me motivó hasta el final para cumplir este reto. A mi madre que con su esfuerzo, trabajo y ejemplo han hecho de mí lo que soy. A mi familia y amigos quienes me dieron todo su soporte en este viaje.

Juan Iván Peláez Ruiz.

Resumen Ejecutivo

La consultoría de negocios se realizó en la empresa Nexa Resources ubicada en la ciudad de Lima, departamento de Lima. La cual produce zinc y cobre; cuenta con una capacidad de producción de 120 000 toneladas anuales de mineral. Esta consultoría se enfoca en conocer al detalle los procesos operativos del negocio, con el fin de encontrar oportunidades de mejora en los mismos. Para este fin, se realizaron reuniones con los representantes del negocio, especialmente con los usuarios de producción y mantenimiento para recabar sus principales puntos de dolor. Con la finalidad de conocer los factores externos que afectan al negocio, se procedió a realizar los análisis de Porter y Peste, a continuación, se hizo un análisis interno de negocio con la técnica AMOFHIT, para finalmente derivar en el FODA del negocio. Luego de estos análisis, se procedió a determinar el problema principal del negocio, el cual es la pérdida de ventas debido a que uno de los productos se encuentra fuera de especificación de calidad.

Con el problema identificado vía el diagrama de Ishikawa se identificaron las causas del problema para luego plantear ideas de solución para atender el problema. Se planteó mejorar la tecnología la línea de producción para tener visibilidad en línea de las variables que afectan a la calidad del producto y así evitar reprocesos por rangos fuera de especificación, debido a que son estos reprocesos los que generan pérdida de valor comercial del producto y por lo tanto pérdida de ventas. Para solucionar este problema se planteó la implementación de una solución de IoT (Internet de las Cosas) con un tiempo de implementación de siete meses y una inversión de 384 mil dólares. La inversión se recupera en un período de 11 meses además de obtener un Valor Presente Neto superior a 1.3 millones de dólares americanos, con un retorno de la inversión (ROI) de 412% lo cual hace viable la implementación.

Abstract

The business consulting was carried out in the company Nexa Resources located in the city of Lima, department of Lima. Which produces zinc and copper; in addition to having a production capacity of 120,000 tons of mineral per year. This consultancy focuses on knowing in detail the operational processes of the business, in order to find opportunities for improvement in them. For this purpose, meetings were held with business representatives, especially with production and maintenance users to gather their main pain points. In order to know the external factors that affect the business, the Porter and Peste analyzes were carried out, followed by an internal business analysis with the AMOFHIT technique to finally derive the SWOT of the business. After these analyzes we proceeded to determine the main problem of the business, which is the loss of sales due to one products being out of quality specification.

With this problem identified via the Ishikawa diagram, the causes of the problem were identified and then ideas for solutions were proposed to address the problem. It was proposed to improve the technology of the production line to have online visibility of the variables that affect the quality of the product and thus avoid reprocessing due to out-of-specification ranges, because it is these reprocesses that generate loss of commercial value of the product and therefore loss of sales. For this purpose, the implementation of an IoT (Internet of Things) solution was proposed, with an implementation time of 7 months and an investment of 384 thousand dollars. The investment is recovered in a period of 11 months in addition to obtaining a Net Present Value greater than 1.3 million US dollars, with a return on investment (ROI) of 412% which makes the implementation viable.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas	x
Lista de Figuras.....	xi
Capítulo I: Situación General del Negocio	1
1.1 Presentación del Negocio	1
1.2 Modelo de Negocio	2
1.3 Visión, Misión, Valores y Políticas	2
1.4 Análisis de la Industria.....	4
Capítulo II: Análisis de Contexto	7
2.1 Análisis de Contexto Externo del Negocio	7
2.1.1 Factores Políticos	9
2.1.2 Factores Económicos	11
2.1.3 Factores Sociales	12
2.1.4 Factores Tecnológicos.....	13
2.1.5 Factores Medioambientales.....	13
2.2 Análisis de Contexto Interno del Negocio.....	14
2.2.1 Administración.....	15
2.2.2 Marketing	15
2.2.3 Operación.....	15
2.2.4 Finanzas	17
2.2.5 Recursos Humanos.....	20
2.2.6 Sistema de Información y Tecnología	21
2.2.7 Fortalezas y Debilidades.....	21
Capítulo III: Problema Clave	25
3.1 Elección del Problema Principal.....	26

3.2 Problema Clave	28
Capítulo IV: Revisión de Literatura	31
4.1 Mapa de Literatura.....	31
4.2 Revisión de Literatura.....	31
4.3 Problemas Secundarios Ligados al Problema Central.....	34
Capítulo V: Análisis de Causa Raíz del Problema Clave.....	38
5.1 Medición.....	38
5.2 Método	40
5.3 Máquinas	41
5.4 Personas	41
5.5 Materiales	42
5.6 Medioambiente.....	43
5.7 Matriz Causa Raíz	43
Capítulo VI: Alternativas de Solución	45
6.1 Alternativas de Solución Identificadas.....	45
6.2 Evaluación de las Alternativas de Solución	46
6.2.1 Valuación de Matriz Costo Versus Impacto	47
6.3 Solución Propuesta.....	48
Capítulo VII: Plan de Despliegue de la Solución	73
7.1 Etapas de Implementación	73
7.2 Plan de Implementación y Presupuesto	78
7.3 Factores Clave de Éxito.....	81
Capítulo VIII: Resultados Esperados	82
8.1 Recuperación de la Inversión.....	82
8.2 Resultados Esperados del Despliegue.....	87

Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones	89
9.1 Conclusiones	89
9.2 Recomendaciones	90
Apéndice A: Objeto y Modelo de Entrevista.....	95
Apéndice B: Encuesta de Satisfacción: Actitudes Hacia trabajar con Sistemas	
Interconectados en Línea	96



Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Aspectos Relevantes del Sector Minero</i>	4
Tabla 2 <i>Iniciativas de Mejoras Basadas en Tecnologías Emergentes Aplicadas por Empresas del Sector</i>	6
Tabla 3 <i>Activos de Nexa Resources (Expresado en Miles de US\$ Dólares)</i>	18
Tabla 4 <i>Pasivos Nexa Resources (Expresado en Miles de US\$ Dólares)</i>	19
Tabla 5 <i>Patrimonio Nexa Resources (Expresado en Miles de US\$ Dólares)</i>	20
Tabla 6 <i>Nexa FODA</i>	22
Tabla 7 <i>Análisis de las Causas</i>	32
Tabla 8 <i>Matriz Priorización</i>	44
Tabla 9 <i>Partidas Presupuestales 2023</i>	45
Tabla 10 <i>Determinación de Valores</i>	46
Tabla 11 <i>Impacto</i>	47
Tabla 12 <i>Implementación Técnica de IoT</i>	79
Tabla 13 <i>Datos Diarios de la Producción de Cemento Cobre (Cu)</i>	82
Tabla 14 <i>Diferencias Mensuales Producción Cemento de Cobre (Cu)</i>	83
Tabla 15 <i>Diferencia entre Valores Meta y Reales Cemento de Cobre (Cu)</i>	84
Tabla 16 <i>Ahorros Proyectados</i>	86
Tabla 17 <i>Análisis Vertical y Horizontal de Estado de Resultados de Nexa Resources (Miles US\$)</i>	86
Tabla 18 <i>Inversiones Detalle (US\$)</i>	88
Tabla 19 <i>Flujo de Caja (US\$)</i>	88
Tabla 20 <i>Resultados</i>	88

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Índice de Productividad</i>	5
Figura 2 <i>Fuerzas de Porter</i>	10
Figura 3 <i>Análisis PESTE</i>	14
Figura 4 <i>Desempeño Financiero 2022</i>	17
Figura 5 <i>DAP para NEXA Resources Cajamarquilla (Mapa de Interacción de Procesos Según Alcance ISO 14001)</i>	24
Figura 6 <i>Entrevista a Trabajadores – Identificación del Inicio del Problema</i>	27
Figura 7 <i>Entrevista a Trabajadores – Identificación Puntos de Control</i>	27
Figura 8 <i>Entrevista a Trabajadores – Identificación de Puntos Críticos</i>	28
Figura 9 <i>Entrevista a Trabajadores – Mejora Puntos de Control</i>	29
Figura 10 <i>Entrevista a Trabajadores – Actividades Manuales / Automáticas</i>	29
Figura 11 <i>Mapa de Literatura</i>	33
Figura 12 <i>Espina de Pescado – Análisis Disgregado del Problema</i>	39
Figura 13 <i>Matriz Costo - Impacto</i>	48
Figura 14 <i>Esquema de Gemelo Digital IoT</i>	51
Figura 15 <i>Esquema de Control de Anomalías IoT</i>	51
Figura 16 <i>Diagrama General del Proceso Hidrometarlúrgico del Zinc</i>	53
Figura 17 <i>Diagrama Global del Proceso de Purificación</i>	56
Figura 18 <i>Diagrama del Proceso de Purificación Fría</i>	57
Figura 19 <i>Flujograma del Proceso de Producción de Cemento de Cobre</i>	61
Figura 20 <i>Diagrama del Proceso de Repulpado de Cobre Filtro de Prensa F-2000</i> ..	62
Figura 21 <i>Diagrama del Proceso para Corregir Fuera de Rango</i>	64
Figura 22 <i>Diagrama del Proceso para Corregir Fuera de Especificación</i>	66

Figura 23 <i>Sensor E2011</i>	68
Figura 24 <i>Sensor E2053</i>	69
Figura 25 <i>Sensor E3001</i>	69
Figura 26 <i>Esquema de Digitalización</i>	69
Figura 27 <i>Gemelo Digital de F-2000</i>	70
Figura 28 <i>Detección de Anomalías de Presión Sensores: E2011, E2053 y E3001</i>	71
Figura 29 <i>Predicciones de Presión en Filtros</i>	71
Figura 30 <i>Propuesta de Implementación de Internet de las Cosas en Nexa Resources (Monitoreo de Activos)</i>	73
Figura 31 <i>Propuesta de Implementación - Nube de Monitoreo de Activos</i>	74
Figura 32 <i>Propuesta de Implementación - Gestión de Anomalía</i>	74
Figura 33 <i>Propuesta de Implementación - Predicción de Anomalía</i>	75
Figura 34 <i>Propuesta de Implementación - Inversión de la Suscripción</i>	75
Figura 35 <i>Etapas</i>	76
Figura 36 <i>Roles del Proyecto</i>	78
Figura 37 <i>Gantt Técnico Propuesto</i>	80

Capítulo I: Situación General del Negocio

En el presente capítulo se muestra los antecedentes de la empresa Nexa Resources, ubicada en la ciudad de Lima, Perú, y se describe la industria a la cual pertenece la compañía.

1.1 Presentación del Negocio

La empresa minera y metalúrgica Nexa Resources produce zinc y cobre, y cuenta con operaciones y oficinas administrativas en los países de Brasil y Perú. Además, cuenta con tres fundiciones de zinc: una en Perú (Cajamarquilla) y dos en Brasil (Tres Marías y Juiz de Fora), que producen zinc metálico, óxido de zinc y subproductos. Cajamarquilla es la única operación de fundición de zinc en Perú y la séptima más grande del mundo por volumen producido, según un estudio realizado por Wood Mackenzie con datos de 2018. La matriz se encuentra en Luxemburgo y sus sedes administrativas se sitúan en las ciudades de São Paulo, Brasil, y en Lima, Perú (Nexa Resources Perú, 2022).

La unidad Cajamarquilla de Nexa Resources, inició sus operaciones el 16 de mayo de 1981 como una unidad de producción de Minero Perú, con una capacidad de diseño de 101,500 toneladas anuales de zinc refinado. En 1994 el consorcio Cominco-Marubeni la adquirió, haciéndose cargo de las operaciones a partir de febrero de 1995, habiéndose ampliado la capacidad de producción a 120,000 toneladas anuales en 1998. En el año 2001, Cominco-Marubeni pasó a formar parte de Teck, la cual es “una de las principales empresas mineras de Canadá... [y] está comprometida con el desarrollo responsable de la minería y los minerales, con importantes unidades de negocio centradas en cobre, zinc y carbón siderúrgico, así como inversiones en activos energéticos” (Tech, s.f., párr. 1), llamándose desde esa fecha la casa matriz Teck Cominco. En el año 2005 Votorantim Metais adquirió la Refinería Cajamarquilla, llamándose Votorantim Metais Cajamarquilla, haciéndose cargo desde enero de dicho año. En el 2007 se inició la expansión de producción anual, incrementando a 160 mil toneladas. Seguidamente, en el 2010 se inició la duplicidad de

producción a 320 mil toneladas. En noviembre del 2017 Votorantim Metais Cajamarquilla cambió su razón social a Nexa Resources Cajamarquilla, como resultado de la integración de Cajamarquilla y las tres unidades mineras de Milpo (Nexa Resources, s.f.-a).

1.2 Modelo de Negocio

El giro de negocio de la compañía es el procesamiento metalúrgico de concentrados de zinc y la comercialización de zinc refinado de alta pureza (de calidad *special high grade* [SHG] de 99.995%), aleaciones de zinc y subproductos como el ácido sulfúrico, cadmio refinado, concentrado de plata y cemento de cobre. El proceso para la obtención del zinc comprende las siguientes etapas (Nexa Resources, s.f.-b): Recepción, almacenamiento de concentrados y preparación de mezclas, tostación de concentrados de zinc, lixiviación de calcinas de zinc, precipitación del hierro como goethita, purificación de soluciones de sulfato de zinc, electrodeposición, y fusión y moldeo.

Las consecuencias de las operaciones de la refinería abarcan aspectos ambientales como las emisiones gaseosas (SO₂), la gestión de los residuos sólidos y el vertimiento de aguas (efluentes líquidos) tratadas. Primero, las emisiones gaseosas de SO₂ representan menos del 0.5% de azufre (S) alimentado al proceso. Segundo, la goethita que es el residuo sólido más importante es dispuesta en pozas impermeabilizadas y se generan 0.5 toneladas por cada tonelada de zinc producido. Tercero, los líquidos residuales del proceso son tratados con hidróxido de calcio para la precipitación de metales pesados. Antes de ser vertido a la poza artificial de regantes (uso de riego de césped), el efluente líquido es almacenado en dos pozas de retención para su control. Por otro lado, se debe indicar que Nexa Resources Cajamarquilla está comprometida con la excelencia en el servicio (énfasis en total orientación al cliente), con la sociedad y con el medioambiente (Nexa Resources, s.f.-b).

1.3 Visión, Misión, Valores y Políticas

La forma de operar de Nexa Resources Cajamarquilla se expresa en su visión, valores,

creencias, código de conducta y principios de sostenibilidad. Este conjunto de directrices soporta los objetivos y retos de la organización (Nexa Resources Perú, 2022).

Visión. La visión de la empresa es: garantizar el crecimiento y la sostenibilidad como un grupo familiar grande, respetada y reconocida en la comunidad en la que opera, centrándose en la creación de valor económico, ambiental y social, a través de los valores éticos que guían la conducta empresarial responsable, ser un negocio altamente competitivo, la búsqueda de soluciones creativas e innovadoras; y de mantener al personal motivado, compensándolo en función de su nivel de desempeño (Nexa Resources Perú, 2022).

Misión. La misión de la empresa es: Nuestro propósito es integrar la minería a un mundo en constante cambio como una oportunidad para el desarrollo sostenible con productos de calidad, producidos de forma que causen el menor impacto ambiental y dejen un legado social relevante.

Valores. Los valores se reflejan en todas las acciones, decisiones y relaciones de Nexa Resources Cajamarquilla con las partes interesadas y forman el acrónimo SEREU (Nexa Resources Perú, 2022):

- Solidez (S): se busca crecimiento sustentable con generación de valor.
- Ética (E): se actúa de forma responsable y transparente.
- Respeto (R): a las personas y disposición para aprender.
- Empresa emprendedora (E): crecer con coraje para hacer, innovar e invertir.
- Unión (U): el todo es más fuerte.

Política. En la política está descrito un conjunto de compromisos asumidos por Nexa Resources Cajamarquilla, que se despliegan, en la forma operativa y en objetivos y metas, sujetos a la revisión de acuerdo con el desempeño de la gestión ambiental y de la gestión de la calidad (Nexa Resources Perú, 2022).

1.4 Análisis de la Industria

En la presente sección se realiza el análisis de la industria minera, en la cual Nexa Resources Cajamarquilla se desenvuelve. Esta industria se encuentra dentro de los principales impulsores económicos del país; muestra de ello es que “al cierre del año 2021 la minería aportó el 12.6% del PBI en el país” (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2022, p. 7). Además, según el Banco Mundial (2021), Perú es el segundo país destino de las inversiones mineras de Latinoamérica, lo cual lo coloca como el “segundo productor mundial de cobre” (p. 11). Este escenario ubica a Perú en una posición de ventaja en el ámbito mundial, al ser muy atractivo para negocios del sector, lo cual conlleva a distintos retos que abordar para la optimización y aumento de excelencia en los negocios del sector.

Según el Ministerio de Energía y Minas (Minem, 2022), se puede evidenciar un crecimiento en dicho sector, aun cuando existen conflictos sociales que perjudican el desempeño de este. Se puede apreciar que el dinamismo del sector no ha dejado de mantener su tendencia de crecimiento, en ese sentido, en la Tabla 1 se resume algunos aspectos importantes considerados para el análisis del sector minero.

Tabla 1

Aspectos Relevantes del Sector Minero

Aspecto	Detalle
Inversión minera	Por un valor de US\$2,112 millones y US\$2,342 millones en 2021 y 2022, respectivamente, con una variación de +10.9%.
Proyectos mineros	43 proyectos de construcción y 63 de exploración con una inversión de US\$53,168 millones y US\$586 millones, respectivamente.
Empleo	244,241 personas por empleo directo con un 8% de tasa de empleo indirecto.
Transferencia por conceptos mineros	Canon de S/7,844 millones, regalías de S/2,109 millones y derechos de S/32.9 millones que ascienden a un total de S/9,986 millones

Nota. Adaptado de *Minería, Motor de la Economía: Canon Minero Para Regiones Alcanza*

Récord Histórico, por Ministerio de Energía y Minas, 2022

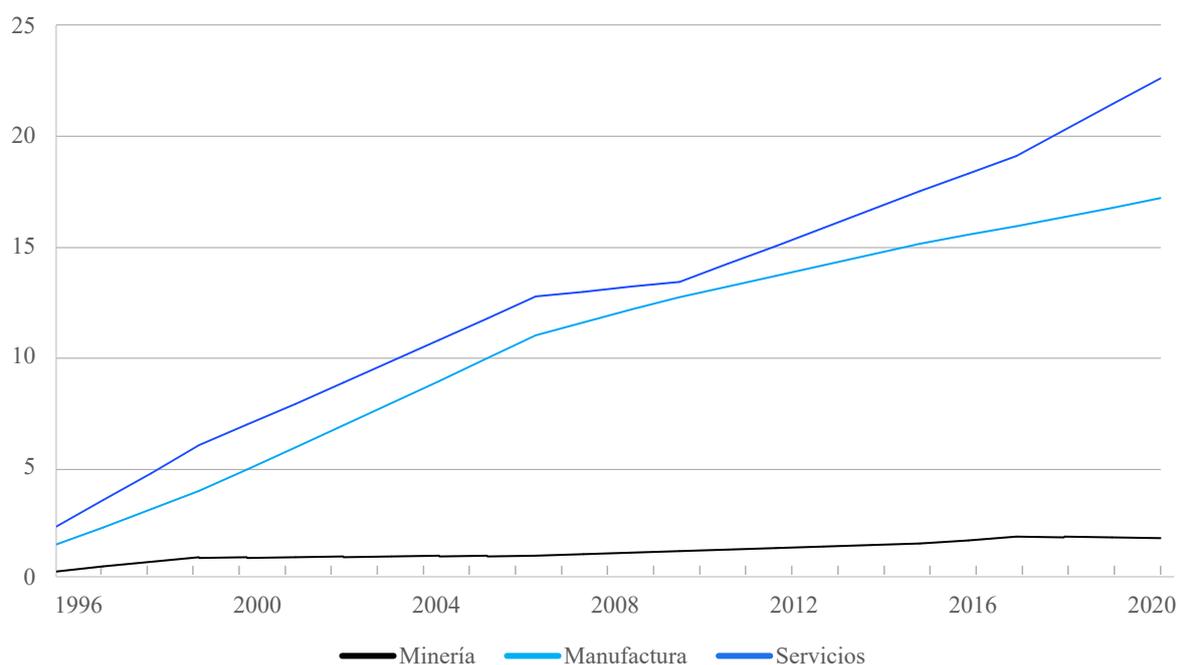
(<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/>)

2022/BEM06-2022.pdf).

Esta orientación de crecimiento se explica también por el marco legal, jurídico, como regulatorio estable del sector, lo cual contribuye a atraer mayores inversiones mineras al país. Por su parte, McKinsey (2022) resaltó que en la industria minera no se han desarrollado mejoras en la productividad, como sí se han hecho en otras industrias, como la de manufactura o de servicios. En ese sentido, en la Figura 1 se observa el crecimiento de productividad en minería el cual es casi nulo desde 1996 hasta 2020; escenario que a su vez conlleva a diversas oportunidades de mejora en los procesos operacionales; sobre todo, ahora que se cuentan con distintas tecnologías que pueden soportar dichas mejoras.

Figura 1

Índice de Productividad



Nota. Índice de productividad: datos calculados como contribución en puntos porcentuales a tasa anual, de 10 de las economías de los países más grandes en la industria de materiales.

Tomado de *How Mining Companies Reach the Operational Excellence Gold Standard* por X. Constantini, et al., 2022, (<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our->

insights/how-mining-companies-reach-the-operational-excellence-gold-standard#/).

Por otro parte, aun cuando se considera que el precio de materias primas lo determina el mercado internacional, las empresas del sector pueden recurrir a realizar mejoras en sus procesos, para alcanzar reducciones en sus costos, lo cual las lleva a ser más competitivas en el ámbito operativo, porque optimizan el aprovechamiento de sus activos y; como consecuencia, sus índices financieros mejoran. En la Tabla 2, se muestran las iniciativas de mejoras basadas en tecnologías emergentes, desarrolladas por distintos actores del rubro, de empresas conocidas que operan en el país como en el extranjero.

Tabla 2

Iniciativas de Mejoras Basadas en Tecnologías Emergentes Aplicadas por Empresas del Sector

Empresa	Iniciativa de mejora	Detalle
Newmont	Aprendizaje automático	Análisis de datos geológicos para predecir mineralización de oro.
Barrick	Análisis de macrodatos	Centralización de datos de análisis de agua para monitoreo.
Antamina	Aprendizaje automático	Análisis del proceso productivo de cobre para su optimización.
BHP	Monitoreo de equipos acústicos: análisis de macrodatos	Reduce accidentes por circulación de peatones; y reduce tiempos de reparación al predecir fallas.

Capítulo II: Análisis de Contexto

El presente capítulo tiene como fin analizar cómo se encuentra entorno de la compañía; de manera que se pueda contar con un panorama más amplio de las condiciones que se tienen para la ejecución de la solución del problema identificado. Además, ayudará a revisar las estrategias con la que se abordará la problemática, porque brindará información relevante para señalar los factores externos que podrían afectar al éxito de la solución.

2.1 Análisis de Contexto Externo del Negocio

Aun cuando este sector muestra cifras positivas, se debe considerar que Perú es un país exportador de materias primas, siendo uno de los principales socios comerciales China, el cual ha estado creciendo en PBI a ritmos de alrededor de 7% anual; sin embargo, distintos entes financieros han recortado sus estimados de crecimiento para el 2022 donde el escenario más optimista considera una tasa de 4.2%. Esta desaceleración del crecimiento de la economía del país asiático tiene un impacto negativo en las exportaciones peruanas, específicamente las exportaciones de materias primas, fuente de insumo para la producción de la industria china, al ser este un país altamente industrializado (Banco Mundial, 2021; BCRP, 2022; Comex Perú, 2022; Cruz, 2022). A partir de lo indicado, se evidencia que el sector tiene grandes oportunidades, pero también grandes retos, los cuales devienen de escenarios internacionales, que no son controlados por las empresas del sector. Pero también, se tienen retos internos en lo relacionado a la excelencia operativa, en donde, estos retos conllevan también a grandes oportunidades de mejora de los procesos productivos en el uso de recursos naturales, en la minimización del impacto en el medioambiente y en el aumento de controles de seguridad. Otro factor externo relevante para la industria, es el temor a una recesión en Estados Unidos. Frente a este escenario, el Banco Central de Reserva de este país (FED, por sus siglas en inglés) ha subido sus tasas de interés, lo cual tiene un impacto en el tipo de cambio al producir una apreciación del dólar. Dicha subida en el tipo de cambio, se ve reflejada en el encarecimiento de los productos que se exportan para aquellos compradores

que usan monedas distintas al dólar, como es el caso de China y otros países consumidores de las materias primas peruanas (Egan, 2022). Para poder realizar el análisis externo de la compañía, se realizó el análisis bajo las cinco fuerzas de PORTER, que permitieron evaluar la competitividad del sector en el cual se encuentra Nexa Resources y comprender mejor su dinámica competitiva. A continuación, se muestran los factores clave analizados del modelo de PORTER en relación con el sector minero del zinc:

Rivalidad entre Competidores Existentes. Existe una alta competencia debido a la presencia de diversos actores en el sector, Nexa Resources se enfrenta a competidores directos como Southern Copper Corporation y Buenaventura. Para hacer frente a esta rivalidad, Nexa Resources debe buscar estrategias diferenciadoras para destacar en la industria, como la innovación en procesos mineros y la mejora continua en la eficiencia operativa.

Amenaza de Nuevos Competidores. La aparición de nuevos competidores en el sector minero en Perú es moderada debido a las barreras de entrada que existen, tales como la inversión de capital requerida, la obtención de permisos y licencias, y la infraestructura necesaria. Nexa Resources se beneficia de una posición establecida en el sector y de activos mineros ya en funcionamiento, lo que dificulta la entrada de nuevos competidores.

Amenaza de Productos o Servicios Sustitutos. La amenaza de productos o servicios sustitutos en el sector minero es baja, ya que muchos sectores de la economía dependen de los minerales y metales que se extraen. No obstante, Nexa Resources debe estar atenta a posibles avances tecnológicos que podrían impulsar el desarrollo de productos o servicios sustitutos en el futuro. Para mitigar esta amenaza, la empresa debe buscar la diversificación de productos y la adaptación a nuevas necesidades del mercado.

Poder de Negociación de los Proveedores. El poder de negociación de los proveedores es moderado. La empresa depende de proveedores de equipos y maquinarias, así como también de insumos y servicios relacionados con la actividad minera. Para minimizar el

impacto de este factor, se establecen relaciones sólidas con ellos, diversificando nuevos distribuidores en búsqueda de acuerdos contractuales justos.

Poder de Negociación de los Clientes. El poder de negociación de los clientes es moderado. Nexa vende sus productos minerales en los mercados del exterior, y el poder de negociación de los clientes depende de factores como la oferta y la demanda, la calidad del producto y las condiciones de precios. Para mantener relaciones comerciales sólidas, Nexa Resources tiene claro que debe ofrecer un producto de calidad, brindar un servicio al cliente excepcional y adaptarse a las necesidades y exigencias del mercado.

En general, Nexa Resources en Perú se encuentra en un entorno competitivo pero estable. La empresa enfrenta desafíos y riesgos, pero también tiene la oportunidad de destacar en la industria minera a través de la innovación, la eficiencia operativa y la adaptabilidad. Un buen manejo de las cinco fuerzas del análisis de Porter puede permitir a Nexa Resources mantener y fortalecer su posición en el mercado minero peruano (ver Figura 2).

De igual forma, se aplicó el análisis PESTE para evaluar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ambientales que podrían afectar a Nexa Resources:

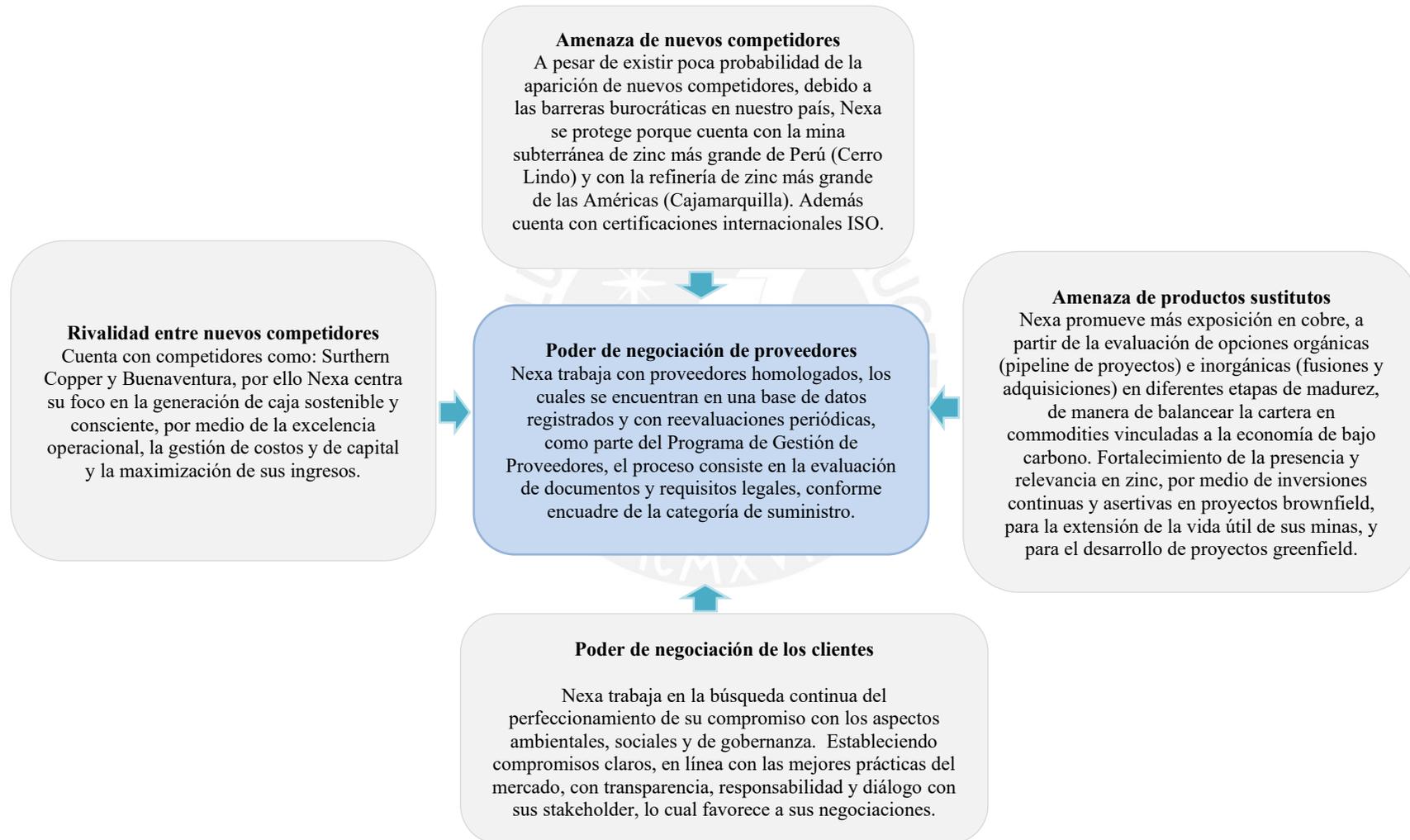
El análisis PESTE de Nexa Resources permitió reconocer los factores externos, los cuales pueden tener un impacto en el desarrollo de la compañía y con ello, poder tomar decisiones estratégicas y tomar medidas preventivas para hacer frente a los cambios en el entorno. Esto ayuda a la empresa a adaptarse y aprovechar las oportunidades, así como mitigar los riesgos asociados a los factores identificados en el análisis (ver Figura 3).

2.1.1 Factores Políticos

Las políticas adoptadas en Perú, en los últimos años, son percibidas satisfactoriamente por los inversionistas del sector minero. Es un reto importante mejorar la gestión de los conflictos sociales, por lo que se vienen elaborando propuestas e implementando iniciativas efectivas, según lo señalado en el Boletín Estadístico minero (Minem, 2017). Con este panorama, se puede indicar que, si en el país se cuenta con inestabilidad política y poca

Figura 2

Fuerzas de Porter



claridad en las políticas regulatorias relacionadas al sector minero, entonces el índice de inversiones será muy bajas, afectando directamente a las empresas mineras, como Nexa. En este caso, el gobierno peruano ha realizado un análisis de cómo afectan las decisiones políticas al sector minero y ha implementado acciones para que el impacto sea el menor posible, lo cual favorece a Nexa y todas las empresas de dicho sector.

2.1.2 Factores Económicos

Se realizó el análisis de las tasas de crecimiento económico, tasas de inflación y tipos de cambio.

Tasa de Crecimiento Económico. Los datos oficiales publicados por el INEI mostraron que el índice de la producción minera y de hidrocarburos anotó un crecimiento de 15.95% en el sexto mes de este 2023, manteniéndose por cuatro meses consecutivos al alza y, a su vez, mitigando la desaceleración de la economía nacional a la fecha. Mientras tanto, en el primer semestre de este 2023 dicho sector acumuló un crecimiento de 9.78% (Villar, 2023).

El crecimiento del sector es una ventaja para la compañía, ya que puede proyectarse en invertir a mayor escala, teniendo una menor probabilidad pérdidas (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú [IIMP], 2023).

Tasas de Inflación. La actividad económica nacional se contrajo 0.5 por ciento en el primer semestre de 2023, resultado que se caracterizó principalmente por la contracción de la inversión privada y una desaceleración pronunciada del consumo privado, en un contexto de conflictos sociales y baja confianza del consumidor y empresarial. La reducción del gasto privado afectó la actividad de los sectores manufactura, construcción y servicios, observándose al mismo tiempo un uso de inventarios, principalmente de empresas mineras y manufactureras (Banco Central de Reserva del Perú [BCRP], 2023). Esta problemática afecta en cierta manera a Nexa, ya que, en el mismo reporte se señala también que los sectores más golpeados son el agropecuario y pesquero, y que por el contrario el sector minero sigue siendo

uno de los más sólidos y que contribuye al crecimiento del país, por lo tanto, la afectación al sector será en menor grado.

Tipo de Cambio. La trayectoria del tipo de cambio en el tercer trimestre de 2023 fue influenciada por cambios en el sentimiento hacia activos de riesgo, el incremento de la demanda neta de dólares del sector no financiero y el fortalecimiento del dólar a nivel global (2.1 por ciento). Así, el tipo de cambio aumentó de S/ 3.626 por dólar el 30 de junio a S/ 3.716 por dólar el 8 de setiembre, acumulando una depreciación de 2.5 por ciento en el periodo (BCRP, 2023). En la región, durante el tercer trimestre, el sol presentó la menor volatilidad (6.2 por ciento), por debajo del promedio regional (11.4 por ciento), y el segundo mejor desempeño trimestral. La estabilidad del sol peruano se asocia a los sólidos fundamentos macroeconómicos de la economía peruana, así como a una moderación en las expectativas de depreciación de la moneda local respecto al dólar estadounidense por parte de los agentes económicos (BCRP, 2023). Para Nexa es importante que tanto la moneda local como el dólar se mantengan estables, considerando que realiza importaciones y exportaciones, por ello, todas las acciones que se tomen para poder mantener estable la moneda, favorecerán al sector.

2.1.3 Factores Sociales

La ocurrencia de nuevos episodios de inestabilidad política y conflictividad social podrían deteriorar las perspectivas de crecimiento del consumo y de la inversión privada, y retraer la ejecución del gasto público. El menor gasto de inversión tanto pública como privada conduciría a una menor acumulación de capital y, por tanto, a un menor crecimiento potencial (BCRP, 2023). Para liderar con los conflictos sociales que se puedan presentar, es importante que se trabaje de manera conjunta, tanto la empresa privada como la comunidad, creando alianzas estratégicas de crecimiento para la población donde se ubique la unidad minera, y que se puedan evitar en lo posible, los conflictos sociales, que alejarían a la inversión privada y por ende al crecimiento de la compañía.

2.1.4 Factores Tecnológicos

La industria minera en el mundo aplica lo último de los avances tecnológicos en sus operaciones y el Perú no es ajeno a este proceso y tiene claros ejemplos de innovación con un gran impacto, afirmó Daniel Serkovic, gerente regional para Perú, Colombia y Ecuador de GroundProbe. Durante su participación en el Encuentro Minero Estudiantil que organizó el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú [IIMP] el 24 de febrero, comentó que Minas Las Bambas tiene un plan de inversión de US\$ 90 millones para su transformación digital hacia el 2025 (IIMP, 2023). Por lo señalado, para Nexa es una obligación estar en la vanguardia, en cuanto a la tecnología, lo cual le ayudará en la mejora de sus procesos productivos, evitando reprocesos que generen gastos incensarios. El utilizar tecnología le dará una ventaja competitiva frente a su competencia y le abrirá nuevos mercados, revertiéndose ello en el incremento de ventas.

2.1.5 Factores Medioambientales

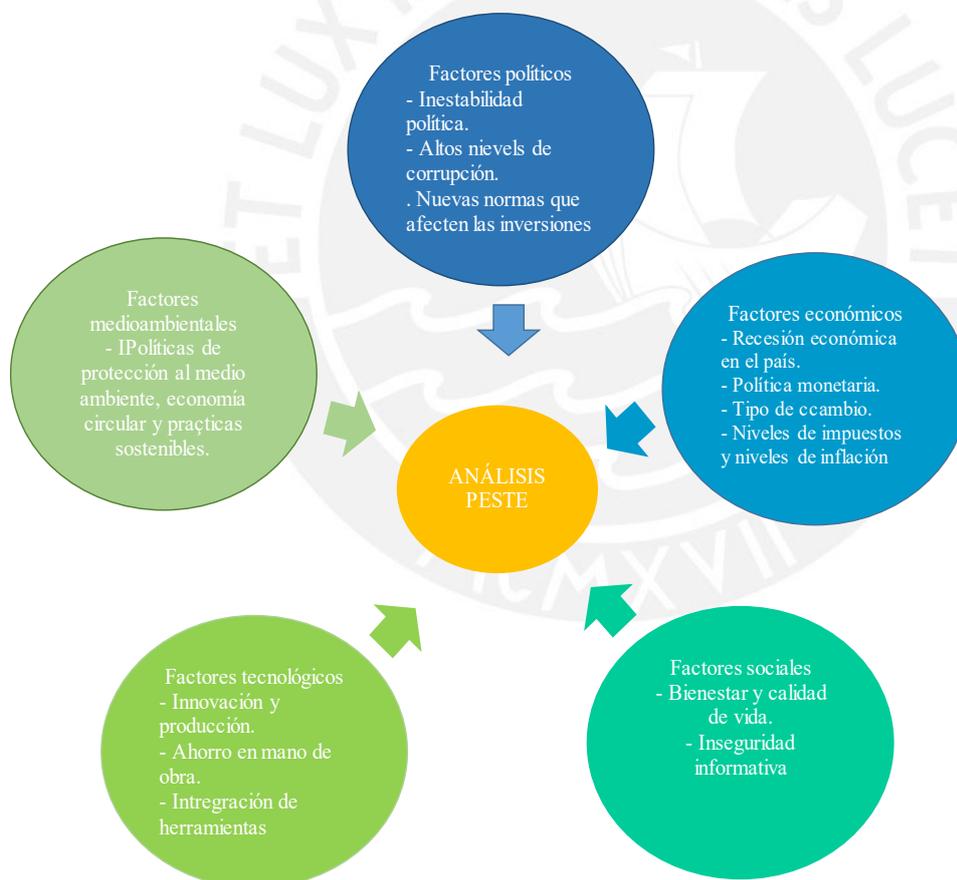
Los gobiernos regionales, a través de sus órganos establecidos, son competentes para conducir el proceso de categorización, revisión y aprobación de los estudios ambientales, en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, que sean presentados por titulares mineros calificados o no, como pequeños productores mineros o productores mineros artesanales, siempre que desarrollen su actividad dentro de dichas calificaciones y dentro de su circunscripción territorial y fiscalizan dichas actividades. Asimismo, fiscalizan y sancionan las actividades de minería informal e ilegal en el marco de sus competencias y conducen el proceso de formalización minera (Ministerio de Energía y Minas, 2023). En Perú existen diversas normativas aplicadas al sector minero, por ejemplo la ley general del ambiente (Ley 28611), ley del consejo nacional del ambiente (CONAM Ley 26410), Ley general de residuos sólidos (Ley 27314), entre muchas otras, la cuales ayudan a que la actividad sea sostenible y proteja los recursos donde se ejecuta la actividad, en el caso de Nexa, la compañía está muy comprometida por ello, cuenta con certificaciones medio

ambientales, tal como la ISO14001:2015, la cual la compromete a ser parte del cuidado del medio ambiente, por cumplir exigencias, no sólo nacionales sino también internacionales.

El análisis PESTE de Nexa Resources permitió reconocer los factores externos, los cuales pueden tener un impacto en el desarrollo de la compañía y con ello, poder tomar medidas preventivas para hacer frente a los cambios en el entorno. Además, ayudó a la empresa a identificar oportunidades, así como mitigar los riesgos asociados a los factores identificados en el análisis (ver Figura 3).

Figura 3

Análisis PESTE



2.2 Análisis de Contexto Interno del Negocio

A continuación, se procede a realizar el análisis interno de la empresa siguiendo la herramienta del AMOFITH, propuesta por D'Alessio (2015).

2.2.1 Administración

Nexa Resources Perú cuenta con una gobernanza corporativa muy sólida, conformada por: directorio y comités, equipo de liderazgo, estructura corporativa y junta de accionistas. El director, presidente del CEO, es quien administra los recursos de Nexa Resources Perú y se apoya en las siguientes áreas: finanzas, explotación mineral y desarrollo de negocios, minería, comercial y metalurgia, recursos humanos y asuntos corporativos y asuntos jurídicos y gobernanza. En cuanto a las operaciones mineras, el gerente de minería es quien es la mayor autoridad y está soportado por las áreas administrativas, operativas, legal, medio ambiente y salud ocupacional. Considerándose ello una ventaja y buena estrategia para la compañía ya que permite no perder el foco de las operaciones.

2.2.2 Marketing

Nexa trabaja sus publicaciones a través de sus redes sociales e informes anuales, no cuenta con una planificación en lo que a marketing refiere, pero si se encuentra en constante comunicación con la comunidad, a través de su comité de sostenibilidad y proyectos, los cuales se encuentran en constante difusión de las actividades que realiza Nexa tanto a nivel social como medio ambiental.

2.2.3 Operación

Para este propósito, en la Figura 4 se presenta el diagrama de actividades del proceso (DAP) que se utilizó. Entre los principales se tienen:

- **Estratégicos:** planeamiento estratégico, gestión de proyectos de gastos de capital (Capex), tecnología y procesos, gestión comercial, gestión de riesgos, gestión financiera y gestión de salud, seguridad y medioambiente (SSMA) y de calidad.
- **Operativos:** recepción y almacenamiento de concentrado de zinc, preparación de mezcla de concentrados de zinc, tostación de concentrado, lixiviación de calcina, purificación, electrólisis, obtención de zinc refinado y aleaciones en barras y jumbos, despacho y traslado.

- Soporte: gestión de recursos humanos, gestión de mantenimiento, gestión de compras, almacén, gestión de procesos, gestión legal, gestión de tecnologías de la información (TI), central de contratos, gestión de laboratorio, gestión y supervisión de contratos, planeamiento y control de la producción.
- Gestión Ambiental: El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) garantiza el cumplimiento de estándares y procedimientos corporativos, así como la gestión de socios estratégicos. Cuenta con certificaciones ISO 9001 y 14001 en 2023.

Nexa Resources Cajamarquilla S.A. está dedicada al procesamiento metalúrgico de concentrados de zinc y a la comercialización de zinc refinado de alta pureza (de calidad Special High Grade de 99.995% de pureza), aleaciones de zinc y subproductos como el ácido sulfúrico, cadmio refinado, concentrado de plata y cemento de cobre. El proceso para la obtención del Zinc comprende las siguientes etapas:

- Recepción, almacenamiento de concentrados y preparación de mezclas.
- Tostación de concentrados de zinc.
- Lixiviación de calcinas de zinc.
- Precipitación del hierro como goethita.
- Purificación de soluciones de sulfato de zinc
- Electrodeposición.
- Fusión y Moldeo.

Como resultado de las operaciones de la Refinería algunos de los aspectos ambientales son las emisiones gaseosas (SO_2), disposición de residuos sólidos y vertimiento de aguas (efluentes líquidos) tratados. Las emisiones gaseosas de SO_2 representan menos del 0.5 % de azufre (S) alimentado al proceso. La goethita que es el residuo sólido más importante es dispuesta en pozas impermeabilizadas y se generan 0.5 toneladas por cada tonelada de zinc producido. Los líquidos residuales del proceso son tratados con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para la precipitación de metales pesados. Antes de ser vertido a la poza artificial de Regantes

(uso de riego de grass), el efluente líquido es almacenado en dos pozas de retención para su control. Nexa Resources Cajamarquilla S.A., posee un compromiso con la excelencia en el servicio, que se origina en una total “Orientación al cliente”, con la sociedad y con el medio ambiente. Actualmente Nexa, cuenta con controles para el cuidado del medio ambiente y la sociedad, y cuenta con las certificaciones: ISO 9001, Oshas 18001, ISO 14001 e ISO 45001

2.2.4 Finanzas

Se revisó el informe de estados financieros de Nexa en el último año, el cual muestra que el impacto de la inestabilidad política peruana no ha impactado significativamente en las operaciones, situación financiera o flujos de efectivo del grupo. Sin embargo, la compañía no puede predecir cualquier impacto futuro que esta situación pudiera tener en sus negocios y operaciones, y se encuentra en constante monitoreo acerca del desarrollo de esta. En términos financieros y contables, se verificó que Nexa en el 2022 alcanzó US\$ 3034 millones de ingresos netos, lo que significa un aumento del 16% con respecto a 2021, dicho aumento fue impulsado principalmente por los precios más altos del zinc LME. De igual forma el EBITDA ajustado alcanzó un nuevo récord a fines del año 2022, de US\$ 760 millones. En la Figura 4 se muestra el resumen del desempeño financiero de Nexa para el 2022.

Figura 4

Desempeño Financiero 2022



EBITDA ajustado
(en millones de dólares)



Nota. Tomado de Informe Anual 2022 Nexa (nexaresources.com)

Activos. Los activos de Nexa son parte importante de la compañía porque ayudan a generar ingresos, como se puede observar existió una disminución del 10% aproximadamente en relación a los años 2021 y 2022, donde la cuenta “activos intangibles” es la que se reduce significativamente en un -30% en relación al año 2021, mientras que la cuenta “impuesto a las ganancias” se incrementó en 41% aproximadamente (ver Tabla 3).

Tabla 3

Activos de Nexa Resources (Expresado en Miles de US\$ Dólares)

Activos	2022	2021
Activos corrientes		
Efectivo y equivalentes de efectivo	243,504	272,086
Cuentas por cobrar comerciales	345,360	340,263
Inventarios	45,556	46,519
Impuesto a las ganancias	950	557
Otros activos	22,729	21,183
	658,099	680,608
Activos no corrientes		
Activo por impuesto diferido	14,630	12,539
Impuesto a las ganancias	-	559
Otros activos	9,719	12,812
Propiedades, planta y equipo	295,169	286,258
Activos intangibles	170,569	243,630
Activos por derecho de uso	3,643	3,781
	493,730	559,579
Total activos	1,151,829	1,240,187

Nota. Informe Anual 2022 Nexa (nexaresources.com)

Pasivos. En el caso de los pasivos, se aprecia que del año 2021 al 2022, el pasivo se redujo en un -27% aproximadamente 27%, esto a causa de que los “pasivos por arrendamiento”, “obligaciones contractuales” e “impuesto a las ganancias” se redujeron en 76%, -6% y - 60% respectivamente. Tal como se observa, los pasivos totales se redujeron en el año 2022 en comparación con el 2021 y esto básicamente se redujo en un -100% los “préstamos y financiamientos” (ver Tabla 4).

Tabla 4

Pasivos Nexa Resources (Expresado en Miles de US\$ Dólares)

	2022	2021
Pasivos y patrimonio		
Pasivos corrientes		
Préstamos y financiamientos	443	2,780
Pasivos por arrendamiento	1,493	6,278
Cuentas por pagar comerciales	155,165	146,508
Cuentas por pagar factoraje	3,368	5,942
Salarios y cargas laborales	30,984	34,679
Provisión para cierre de minas y obligaciones ambientales	13,167	9,911
Obligaciones contractuales	26,188	33,156
Impuesto a las ganancias	12,307	29,959
Otros pasivos	26,151	27,809
	269,266	297,022
Pasivos no corrientes		
Préstamos y financiamientos	-	128,865
Pasivos por arrendamiento	1,245	1,582
Cuentas por pagar comerciales	1,266	-
Provisión para cierre de minas y obligaciones ambientales	96,591	119,092
Pasivo por impuesto diferido	401	17
Provisiones	15,299	13,953
Obligaciones contractuales	105,972	114,076
Otros pasivos	72	43
	220,846	377,628
Total pasivos	490,112	674,650

Nota. Informe Anual 2022 Nexa (nexaresources.com)

Patrimonio. Al cierre del año 202, Nexa obtuvo un patrimonio de 1'151,829 (Expresado en miles de US\$ dólares) (ver Tabla 5), el cual es inferior al año 2021 y esto básicamente se debió a la inestabilidad presentada en la bolsa, ya que Nexa vende acciones en la misma.

Tabla 5*Patrimonio Nexa Resources (Expresado en Miles de US\$ Dólares)*

Patrimonio		
Atribuible a propietarios de la controladora	670,617	575,386
Atribuible a participaciones no controladoras	(8,900)	(9,849)
	661,717	565,537
Total pasivos y patrimonio	1,151,829	1,240,187

Del análisis financiero se podría señalar que el año 2022 para Nexa fue bastante bueno y estable ya que luego de haber superado el escenario de la pandemia logró finalizar el año con un EBITDA ajustado récord, de US\$ 760 millones, además de iniciar nuevos proyectos e inversiones en el país.

2.2.5 Recursos Humanos

En Nexa Resources, al cierre del año 2022 los colaboradores propios llegaron a ser 5,624 (sin contar pasantes ni aprendices), 8,596 prestadores de servicios permanentes y 3,795 temporarios, principalmente dedicados a la tecnología y a la automatización, a proyectos y explotación mineral. Además, hay que señalar que las mujeres representaron el 16.5% y las personas con más de 50 años respondieron por el 13.2% del total de colaboradores.

Finalizando el año con un equipo humano de colaborador 3.7% inferior que el del año 2021 (Nexa, 2022). De igual forma, para Nexa es importante la inclusión y no discriminación, por ello sus colaboradores, están comprendidos según siguiente detalle:

- Mujeres: 16,5 %
- PcD (Programa Talentos Plurales, enfocado en personas con discapacidad): 4,6%
- Colaboradores mayores de 50 años: 13.2 %
- LGBTQIA+: 5 %
- Indígenas: 1%
- Negros: 3%

2.2.6 Sistema de Información y Tecnología

En la actualidad Nexa, cuenta con Sistemas informatizados como Siclope (sistema integrado de control de ocurrencias) y Apollus (integración de datos y agilidad de los procesos). Además, tiene implementada la plataforma Mining Lab, que es una plataforma de innovación de Nexa y está compuesta por cinco programas: Beginnings, Challenge, Channel, Miningthon e University. En Perú se cuenta específicamente con el Hub de Innovación Minera, el cual es un programa que busca un mecanismo para facilitar la innovación y la colaboración en ese sector. Su objetivo de facilitar la conexión con el ecosistema, acelerar el desarrollo de iniciativas para la solución de desafíos y posicionar a la minería como un sector innovador (Nexa, 2022).

2.2.7 Fortalezas y Debilidades

Del análisis de los factores internos de la compañía se identificaron las siguientes fortalezas y debilidades, para poder realizar la matriz FODA (ver Tabla 6).

Las fortalezas identificadas son:

1. Estado económico y financiero sólido: Alta liquidez y bajo nivel de endeudamiento.
2. Posicionamiento del 5to lugar en la clasificación de productores mundiales de concentrados de zinc con significativa participación en plomo, plata y cobre.
3. Experiencia comprobada de la empresa, además de contar con la única operación de fundición de zinc en el Perú y la séptima más grande en el mundo.
4. Disponibilidad de áreas de soporte para realizar mejoras e innovar en los procesos que garanticen eficiencia.

Las debilidades identificadas son:

1. Bajo nivel de inversión para la exploración, desarrollo e identificación de nuevos proyectos mineros.
2. Gran responsabilidad por la concesión de procesos críticos (operativos y de soporte

por terceros (contratistas). Los procesos operativos tercerizados son: recepción y almacenamiento de concentrado Zn y CPT, preparación de mezcla de concentrados de Zn y CPT, despacho y traslado de Zn refinado y subproductos, producción de agua desmineralizada, generación de aire comprimido, osmosis inversa, tratamiento de efluentes, generación de vapor, producción de agua bruta y enfriamiento de agua de producción. Los procesos de soporte tercerizados son: gestión de mantenimiento y almacén. Los detalles de los procesos de Nexa se muestran en el Diagrama de Actividades de Proceso (DAP) (ver Figura 5).

3. Baja iniciativa para adoptar estrategias que busquen sinergia en los diversos procesos internos y para implementar programas que permitan un cambio cultural, un mejor clima laboral, etc.

Tabla 6

Nexa FODA

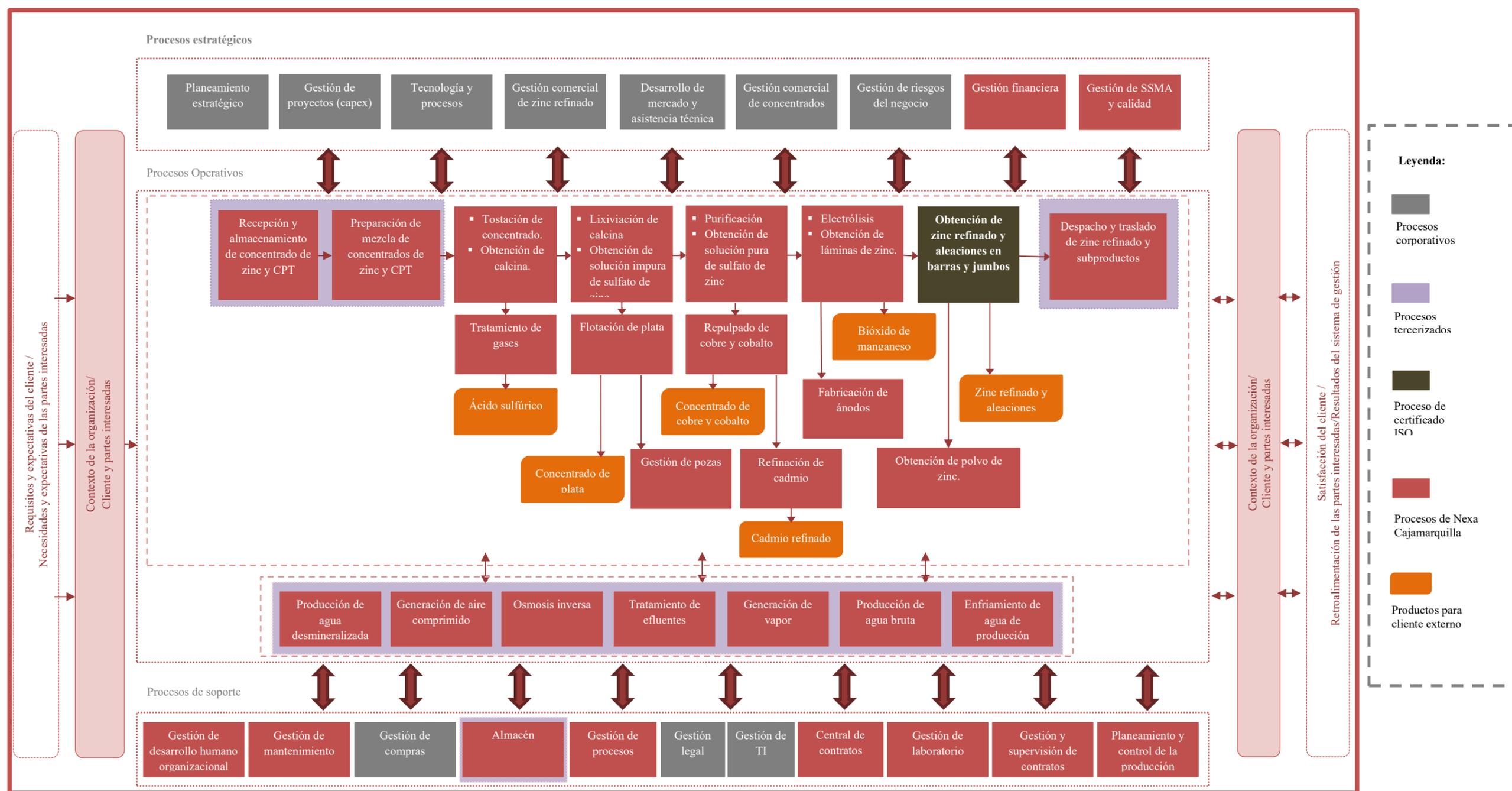
Fortalezas	Debilidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estado económico y financiero sólido: Alta liquidez y bajo nivel de endeudamiento. 2. Posicionamiento del 5to lugar en la clasificación de productores mundiales de concentrados de zinc con significativa participación en plomo, plata y cobre. 3. Experiencia comprobada de la empresa, además de contar con la única operación de fundición de zinc en el Perú y la séptima más grande en el mundo. 4. Disponibilidad de áreas de soporte para realizar mejoras e innovar en los procesos que garanticen eficiencia. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo nivel de inversión para la exploración, desarrollo e identificación de nuevos proyectos mineros. 2. Gran responsabilidad por la concesión de procesos críticos (operativos ^a y de soporte ^b) por terceros (contratistas). 3. Baja iniciativa para adoptar estrategias que busquen sinergia en los diversos procesos internos y para implementar programas que permitan un cambio cultural, un mejor clima laboral, etc.
Oportunidades	Amenazas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Creciente demanda a corto plazo de materias primas en el mundo 2. Al ser un sector altamente regulado impide la proliferación de competidores 3. Interés Permanente del estado peruano para el desarrollo minero 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Conflictos sociales latentes alrededor de los proyectos mineros 5. Inestabilidad política del país. 6. Variación de los precios de los minerales en el mercado mundial

Nota. ^a Los procesos operativos tercerizados son: recepción y almacenamiento de concentrado Zn y CPT, preparación de mezcla de concentrados de Zn y CPT, despacho y traslado de Zn refinado y subproductos, producción de agua desmineralizada, generación de aire comprimido, osmosis inversa, tratamiento de efluentes, generación de vapor, producción de agua bruta y enfriamiento de agua de producción. ^b Los procesos de soporte tercerizados son: gestión de mantenimiento y almacén.



Figura 5

DAP para NEXA Resources Cajamarquilla (Mapa de Interacción de Procesos Según Alcance ISO 14001)



Nota. SSMA = Seguridad, salud y medioambiente. CPT = Concentrado para tostación. TI = Tecnología de información. Capex = *Capital expenditures* [Inversión de capital]. ISO = International Organization for Standardization [Organización Internacional de Normalización].

Capítulo III: Problema Clave

Nexa Resources Cajamarquilla cuenta con distintas líneas productivas que conforman su operación, las cuales se resumen en la producción de: (a) ácido sulfúrico, (b) concentrado de plata, (c) cemento de cobre y cobalto, (d) cadmio refinado, (e) bióxido de manganeso, y (f) zinc refinado y aleaciones. Toda la producción indicada es comercializada por la empresa hacia sus clientes finales. El proceso de la comercialización, con uno de los subproductos, se ve impactado debido a que no se cumplen con las especificaciones requeridas para los productos finales, generando constantes reclamos de los clientes e incumpliendo acuerdos comerciales. Luego de conocer la necesidad que está afectando la comercialización de productos finales, se ha podido identificar dos posibles problemas que deben abordarse, siendo: el primer problema, los reprocesos de productos terminados al no obtener la calidad deseada en la producción y; el segundo es el incumplimiento de entrega de productos terminados en la fecha pactada, lo que genera reclamos registrados por los clientes.

Reprocesos de Productos Terminados. Para poder resolver esta problemática se enfocó en uno de los subproductos que ofrece Nexa Resources Cajamarquilla, que es el cemento de cobre, teniendo como principal dificultad la comercialización, siendo muy difícil debido a la alta humedad con el que se obtiene, bajo contenido de Cu y con alto contenido de Cd, siendo este último un elemento contaminante, por el cual se aplican penalizaciones, lo que hace que se convierta en un producto de mala calidad debido a que se encuentra fuera del rango permitido por la especificación. En ese sentido, producir productos terminados incumpliendo su especificación está generando altos costos operativos, reprocesos innecesarios, reacondicionamiento y altos costos por transporte (embarque no permitido).

Incumplimiento de Entrega de Productos Terminados en la Fecha Pactada. El obtener productos fuera del rango comercial obliga a reprocesar, acondicionar hasta conseguir las especificaciones requeridas, esto incrementa el tiempo de entrega de los

productos para su comercialización, generando reclamos de los diversos clientes por incumplimiento de contrato lo cual afecta directamente a los procesos de gestión comercial y de operación (reducción de volumen de ventas, incumplimiento de entregas y penalizaciones, pérdida de clientes).

3.1 Elección del Problema Principal

Para identificar y seleccionar el problema principal a resolver se utilizaron las entrevistas realizadas a los trabajadores, obteniendo de ella datos que permitan orientar, conocer y entender al público primario, sus puntos de dolor y necesidades; que sirvieron como base para entender el problema principal y con ello poder proponer una solución efectiva a sus necesidades y satisfacerlas. De las entrevistas realizadas, se pudo conocer que: (a) el 65% logran identificar dónde se inician los posibles problemas que están afectando en la obtención de productos de buena calidad, y la gran mayoría coincide en que estos se encuentran dentro del control de parámetros operacionales (ver Figura 6); y (b) el 60% refieren que desarrolla actividades relacionadas a controles operativos y que muchas de estas actividades tienen la característica de ser muy complejos, debido a que emplean alta manualidad y es propenso al error (ver Figura 7).

De la data, extraída como resultado de las entrevistas realizadas, se puede concluir que, existe un mayor porcentaje de personal operativo que logra identificar las actividades críticas que influyen en la obtención de productos finales y que muchas de estas reciben la calificación de actividades complejas, dado que no pueden ser controladas, porque se depende mucho del trabajo manual con alta probabilidad de cometer errores, impactando significativamente en los productos finales. Estos resultados también han permitido, relacionar con los dos posibles problemas identificados, llegando a la conclusión de que el segundo problema es consecuencia del primero, dado que, si no se obtiene un producto final con buena calidad, será imposible su venta o estaría sujeta a diversas penalizaciones, con

consecuencias económicas negativas. Por lo tanto, el problema principal a abordar será: la pérdida de rentabilidad, debido al incumplimiento de los requerimientos de calidad de los clientes.

Figura 6

Entrevista a Trabajadores – Identificación del Inicio del Problema

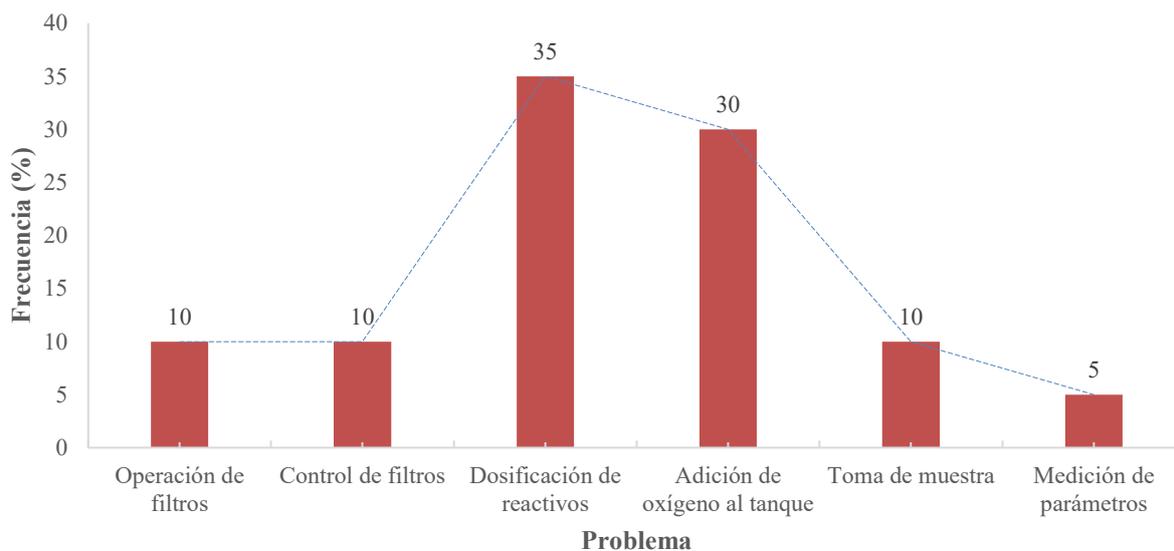
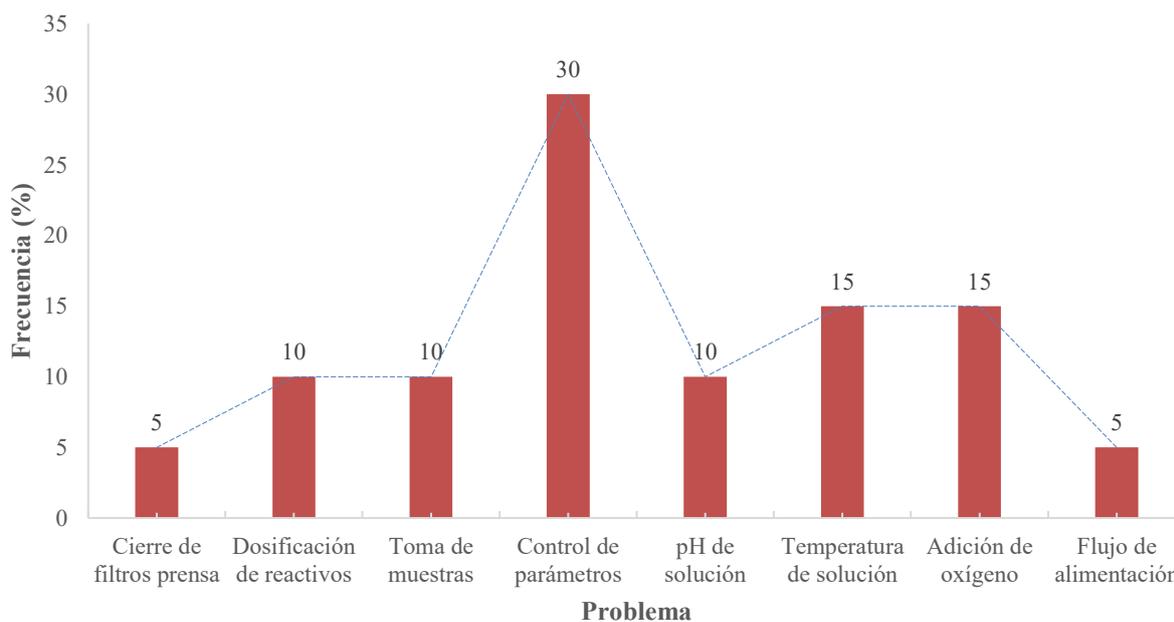


Figura 7

Entrevista a Trabajadores – Identificación Puntos de Control

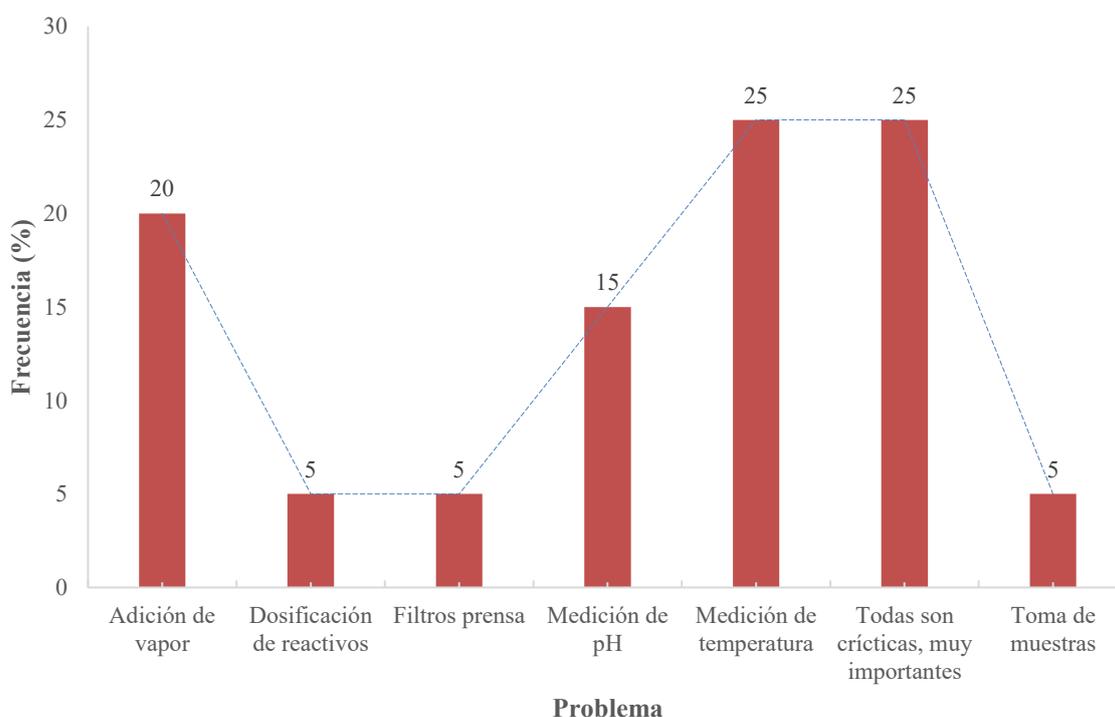


3.2 Problema Clave

Para describir el problema clave identificado, que es la pérdida de ventas debido al incumplimiento de los requerimientos de calidad de los clientes, fue necesario conocer el porcentaje de personal operativo que logra identificar con claridad sus parámetros operacionales (ver Figura 8), y cuántos de ellos influyen directamente en los resultados finales, encontrando que el 70% del personal entrevistado, conoce las actividades que desarrolla de forma manual y su influencia sobre los resultados.

Figura 8

Entrevista a Trabajadores – Identificación de Puntos Críticos



También se encontró que el 55% del personal entrevistado considera que muchas de las actividades de control operacional, que bien son realizados de forma manual son catalogados como complejos, dado que están expuestos a cometer errores ante una falta de concentración de estos y que bien, puedan realizarse de una forma más simple si se incorporara una mayor automatización (ver Figura 9). De igual manera, se pudo constatar

que el 80% de los entrevistados consideran que, al ser actividades críticas para la operación, no son automatizadas, dependiendo mucho del control manual que realizan, exponiéndose a errores con impactos en la obtención resultados finales (ver Figura 10).

Figura 9

Entrevista a Trabajadores – Mejora Puntos de Control

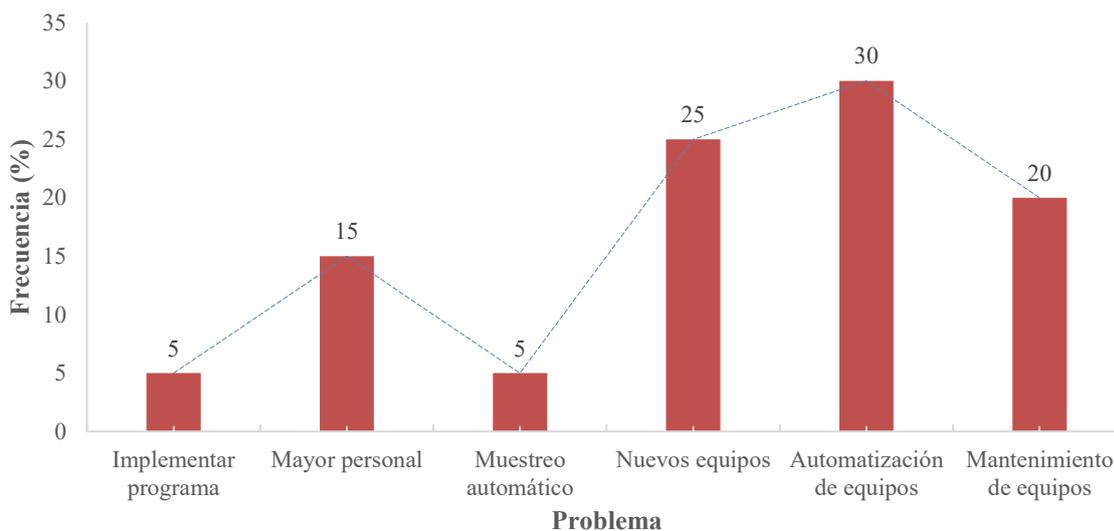
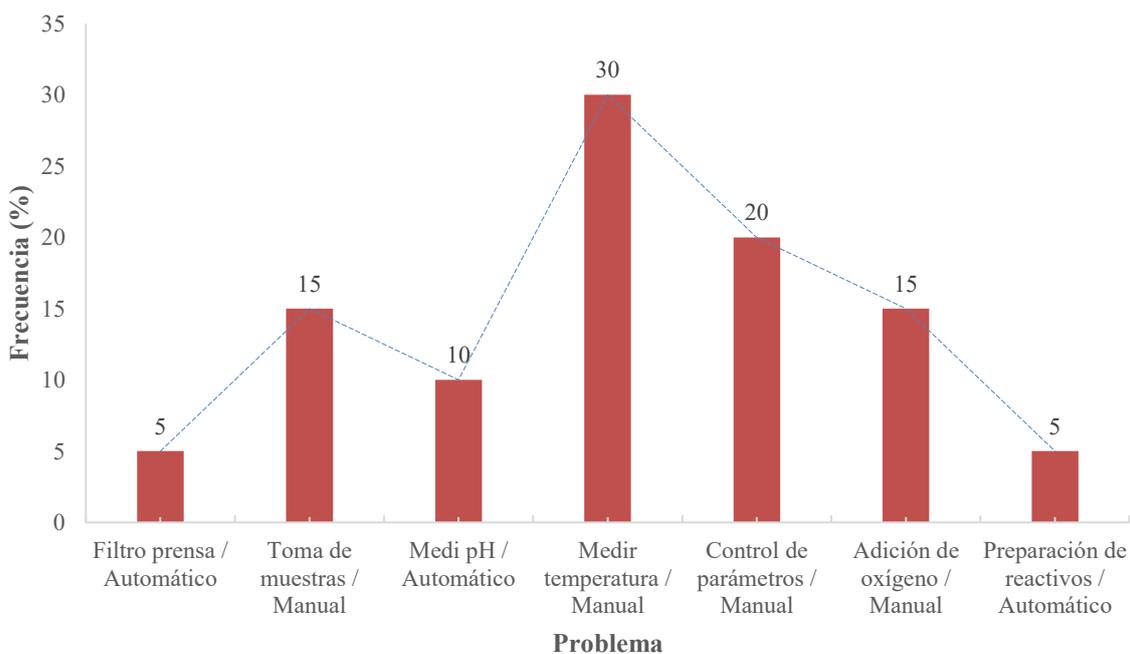


Figura 10

Entrevista a Trabajadores – Actividades Manuales / Automáticas



Con toda información recogida en las entrevistas, se concluye que los problemas a abordar en la presente investigación son de conocimiento del personal operativo, pero se desconoce los impactos sobre los procesos y consecuencias que llega afectar a las ventas y clientes, debido a fallas operacionales, las cuales pueden reducirse si se aplican alternativas como la que se plantearán y describirán en los capítulos posteriores.



Capítulo IV: Revisión de Literatura

A continuación, se exponen las referencias literarias usadas para el desarrollo de la investigación, compuesta por memorias descriptivas, investigaciones y análisis del sector minero. Para la revisión, se tuvo como fuente principal a la biblioteca virtual de CENTRUM, memorias descriptivas y modelo de tesis de diferentes universidades. La información utilizada se encuentra relacionada específicamente a la aplicación de la presente consultoría. La data e información que se ha tomado está relacionada, al impacto negativo que se generan al no trabajar con procesos automatizados, la poca capacitación de los colaboradores del sector productivo minero y la pérdida de dinero a causa de reprocesos en el proceso productivo minero. Con ello se contaría con un abanico amplio de alternativas que se puedan aplicar para solucionar el problema principal de la compañía. Por ello, como parte de la consultoría se optó por realizar mayores controles al proceso productivo, utilizando el internet de las cosas. Además, lo que se propone es empoderar a los trabajadores, explicando la importancia de su trabajo en cada parte del proceso de Nexa.

4.1 Mapa de Literatura

Se desarrolló el mapa de literatura con el fin de presentar las ideas de una forma más ordenada y sustentar los conceptos relacionados con el problema principal identificado, así como los problemas ligados a este y su estructura (ver Figura 11). Como paso previo a la revisión de la literatura, se identificaron las causas que originan el problema que se presenta en Nexa (ver Tabla 7).

4.2 Revisión de Literatura

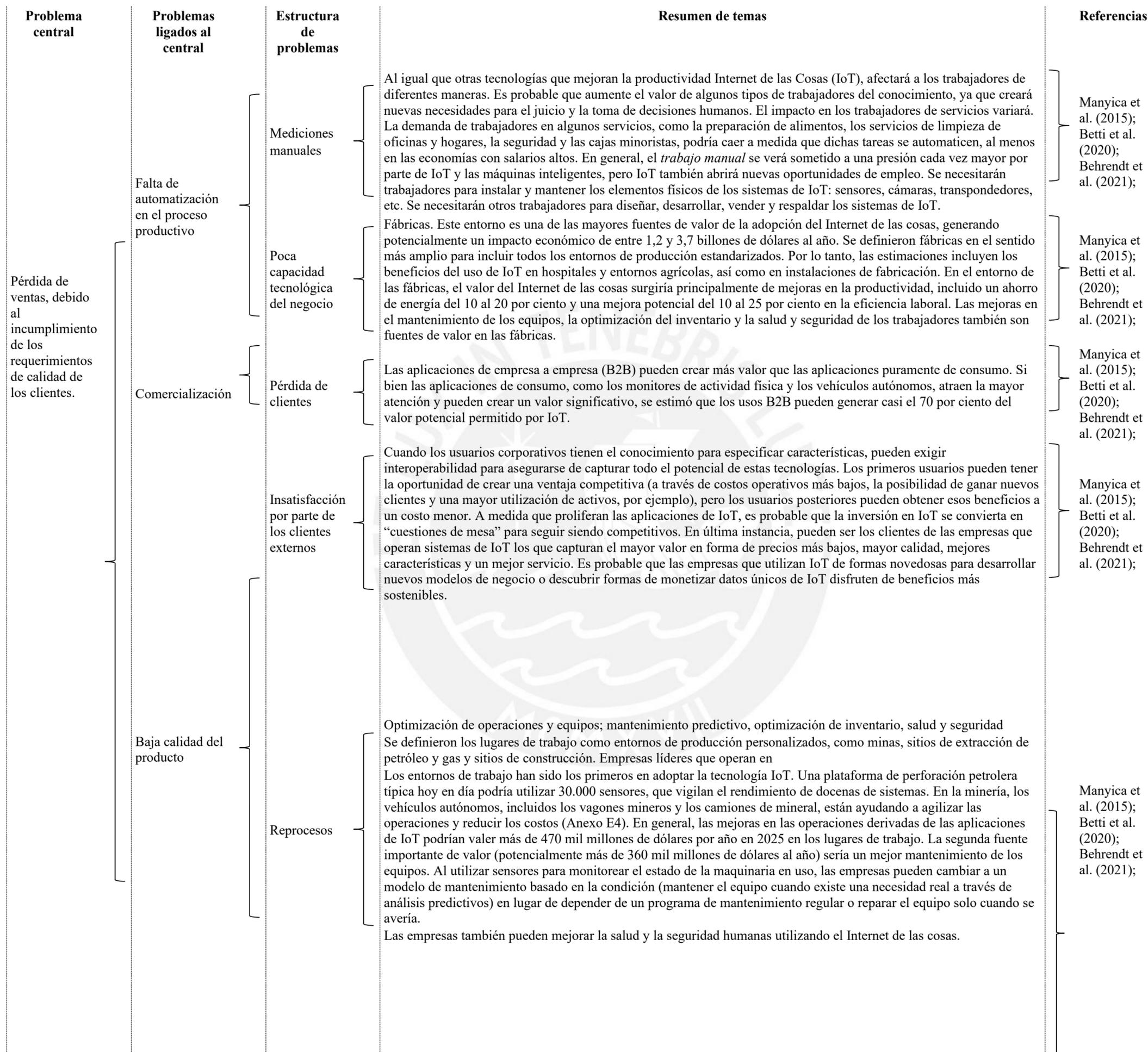
A continuación, se describe los hallazgos centrales identificados, con la finalidad de explicar de la mejor manera el problema central, el cual es la pérdida de ventas debido al incumplimiento de los requerimientos de calidad de los clientes.

Tabla 7*Análisis de las Causas*

Causa	Análisis
1. Empoderamiento del personal en procesos críticos de calidad	En Nexa, si bien los colaboradores reciben capacitaciones e inducciones, les falta tomar conciencia de la importancia de manejar y registrar data sensible, por lo que ayudaría el incluir en su plan de capacitaciones anules, talleres de sensibilización constantes.
2 Existencia de mediciones manuales, considerando que estas son muy sensibles a errores humanos en registro de data.	Se identificaron, gran cantidad de data errada, para ello se tomó una muestra y se pudo determinar que los errores en los registros provienen de los colaboradores.
3 Desconocimiento del porqué el producto final del cemento de cobre Cu, cuenta con fallas de calidad a pesar de existir controles en las mediciones manuales.	Al realizar entrevistas a los colaboradores, quienes trabajan directamente en el proceso de esta consultoría, se pudo determinar que los colaboradores se encuentran seguros de los registros que toman, y que no identifican en que parte del proceso se distorsiona la información, lo cual se ve revertido en que el producto no se puede vender en el mercado.
4 Documentación de procesos sin ser registrada y analizada correctamente, reflejándose en un producto de baja calidad	Nexa cuenta con formatos establecidos para el registro de la data, sin embargo, existen picos altos de carga laboral que muchas veces juegan en contra para el registro de los mismos. Obteniendo data irreal y de baja calidad, lo cual se ve reflejado en un producto de baja calidad.
5 Alta rotación de personal	Si bien Nexa, cuenta con políticas de retención de los colaboradores y a pesar que en el año 2002 la tasa de rotación representó el 28% de los colaboradores varones mayores a 30 años y el 10 % en mujeres (según el reporte de sostenibilidad de Nexa), se busca que en los procesos críticos dicho porcentaje llegue a ser (0).

Figura 11

Mapa de Literatura



4.3 Problemas Secundarios Ligados al Problema Central

Existencia de diversas líneas de producción con mediciones manuales, considerando que estas son muy sensibles a errores humanos, en cuanto a registro de data. Se considera:

Procesos Manuales. Al igual que otras tecnologías que mejoran la productividad, internet de las cosas (IoT) afectará a los trabajadores de diferentes maneras. Es probable que aumente el valor de algunos tipos de trabajadores del conocimiento, ya que Internet de las cosas creará nuevas necesidades para el juicio y la toma de decisiones humanos. El impacto en los trabajadores de servicios variará. La demanda de trabajadores en algunos servicios, como la preparación de alimentos, los servicios de limpieza de oficinas y hogares, la seguridad y las cajas minoristas, podría caer a medida que dichas tareas se automaticen, al menos en las economías con salarios altos. En general, el trabajo manual se verá sometido a una presión cada vez mayor por parte de IoT y las máquinas inteligentes, pero IoT también abrirá nuevas oportunidades de empleo. Se necesitarán trabajadores para instalar y mantener los elementos físicos de los sistemas de IoT: sensores, cámaras, transpondedores, etc. Se necesitarán otros trabajadores para diseñar, desarrollar, vender y respaldar los sistemas de IoT (Manyica et al., 2015; Betti et al., 2020; Behrendt et al., 2021).

Poca capacidad tecnológica del negocio. La industria 4.0 está impulsada por una transformación digital masiva en la industria manufacturera impulsada por IoT. Los fabricantes están aumentando las fábricas y las máquinas con una red de sensores y dispositivos inteligentes que recopilan datos para impulsar los conocimientos, la visibilidad y el análisis predictivo-habilitados para la inteligencia artificial (IA). El estudio global, Tecnologías Emergentes: La ventaja competitiva para Finanzas y Operaciones, encuestó a 700 expertos en finanzas y líderes de operaciones en 13 países y descubrió que las

tecnologías emergentes (IA, IoT, blockchain, asistentes digitales y más) han pasado el punto de inflexión de la adopción.

Estas tecnologías están superando las expectativas y creando importantes ventajas competitivas para los adoptantes. La encuesta encontró que los encuestados que incorporaron datos de IoT en sus sistemas de cadena de suministro y flujos de trabajo acortaron su tiempo para producir y cumplir pedidos en un promedio de más de seis días hábiles. También redujeron el tiempo de inactividad en un 26% y aumentó la productividad en un 76% (Oracle, 2020).

Desconocimiento del porqué el producto final del cemento de cobre Cu, cuenta con fallas de calidad a pesar de existir controles en las mediciones manuales. Se considera:

Pérdida de ventas. Las aplicaciones de empresa a empresa (B2B) pueden crear más valor que las aplicaciones puramente de consumo. Si bien las aplicaciones de consumo, como los monitores de actividad física y los vehículos autónomos, atraen la mayor atención y pueden crear un valor significativo, se estima que los usos B2B pueden generar casi el 70 por ciento del valor potencial permitido por IoT. Existe un gran potencial para IoT en las economías en desarrollo. Durante los próximos 10 años, se estima un mayor valor potencial para IoT en las economías avanzadas debido al mayor valor por uso. Sin embargo, casi el 40 por ciento del valor podría generarse en las economías en desarrollo. Los clientes obtendrán la mayoría de los beneficios. Se estimó que los usuarios de IoT (empresas, otras organizaciones y consumidores) podrían capturar el 90 por ciento del valor que generan las aplicaciones de IoT. Por ejemplo, el valor de mejorar la salud de los pacientes con enfermedades crónicas mediante la monitorización remota podría ascender a 1,1 billones de dólares al año en 2025. Está evolucionando una industria dinámica en torno a la tecnología IoT. Al igual que otras olas tecnológicas, existen oportunidades tanto para los actuales como

para los nuevos actores. La digitalización desdibuja las líneas entre las empresas de tecnología y otro tipo de empresas; Los fabricantes de maquinaria industrial, por ejemplo, están creando nuevos modelos de negocio utilizando enlaces y datos de IoT para ofrecer sus productos como servicio. Para aprovechar todo el potencial de las aplicaciones de IoT, la tecnología deberá seguir evolucionando, proporcionando costos más bajos y análisis de datos más sólidos. En casi todos los entornos, los sistemas de IoT plantean dudas sobre la seguridad y la privacidad de los datos. Y en la mayoría de las organizaciones, aprovechar la oportunidad de IoT requerirá que los líderes adopten verdaderamente la toma de decisiones basada en datos (Manyica et al., 2015; Betti et al., 2020; Behrendt et al., 2021).

Documentación de procesos sin ser registrada y analizada correctamente, reflejándose en un producto de baja calidad. Se considera:

Insatisfacción por parte de los clientes externos. Es vital importancia contar con un monitoreo de la percepción y experiencia que los usuarios finales de un bien o servicio tienen sobre este. Conocer sus puntos de dolor es imperativo para proponer alternativas de mejora, por ello se hace necesario recopilar esta información no sólo para el desarrollo de nuevas mejoras en productos actuales sino también para nuevos productos que requiera tu mercado actual o futuro (Manyica et al., 2015; Betti et al., 2020; Behrendt et al., 2021).

Reprocesos. Los datos son la fuerza impulsora detrás del futuro tecnológico de la minería. Ofrece la posibilidad de hacer que las operaciones sean más seguras, más sostenibles y productivas y ayuda a navegar mejor en el complejo entorno en el que se trabajó.

Desde su creación hace dos años, el Centro de Innovación de BHP en Eastern Ridge en Australia Occidental es una de las iniciativas de transformación emblemáticas de BHP que se centra en capturar, crear, monitorear y comprender datos para ayudar a trabajar de manera más inteligente. El objetivo es integrar mejor las operaciones bajo plataformas simplificadas que utilizan datos en tiempo real para mejorar la seguridad, la cultura y la productividad. Esto

es parte de un programa de trabajo más amplio para probar, desarrollar e implementar tecnologías innovadoras en las operaciones que mejoren las formas de trabajo y fortalezcan la seguridad. Los controles de proceso en tiempo real tienen el potencial de mejorar la calidad del mineral y la ley entregada a las plantas de procesamiento. El objetivo es gestionar las operaciones bajo un único sistema, mejorar su previsibilidad, fiabilidad y estabilidad, y reducir la capacidad ociosa y la inversión en equipos.

Por ejemplo, el análisis de datos ayuda a predecir con mayor precisión cuándo es necesario reemplazar los rodillos de las cintas transportadoras. Los sensores que monitorean los camiones analizan las condiciones de la carretera y determinan si necesitan ser reparados. La industria de los recursos ha sido durante mucho tiempo un motor de innovación. La combinación de información de datos, pensamiento crítico y resolución creativa de problemas ayuda a encontrar soluciones que antes no se consideraban posibles. Esto forjará el camino hacia un futuro más seguro y sostenible (Manyica et al., 2015; Betti et al., 2020; Behrendt et al., 2021).

Capítulo V: Análisis de Causa Raíz del Problema Clave

A continuación, se detalla el análisis relacionado al problema clave, para ello fue necesario disgregar el problema y encontrar alguna relación que permita conocer las posibles causas que lo origina. También se detalla una descripción y análisis de las posibles causas detectadas y una matriz de priorización de estas. Para ello se ha desarrollado un diagrama de espina de pescado (Ishikawa), para revisar las posibles causas que originan los reprocesos, cuales impactan en el producto terminado (ver Figura 12). De dicha información encontrada es relevante destacar que, Nexa Resources Cajamarquilla S.A. planifica, implementa y controla los procesos necesarios para cumplir los requisitos para la provisión de productos y servicios, y para implementar las acciones que permitan asegurar con los resultados deseados, a la vez prevengan o reduzcan efectos no deseados y permita la mejora continua.

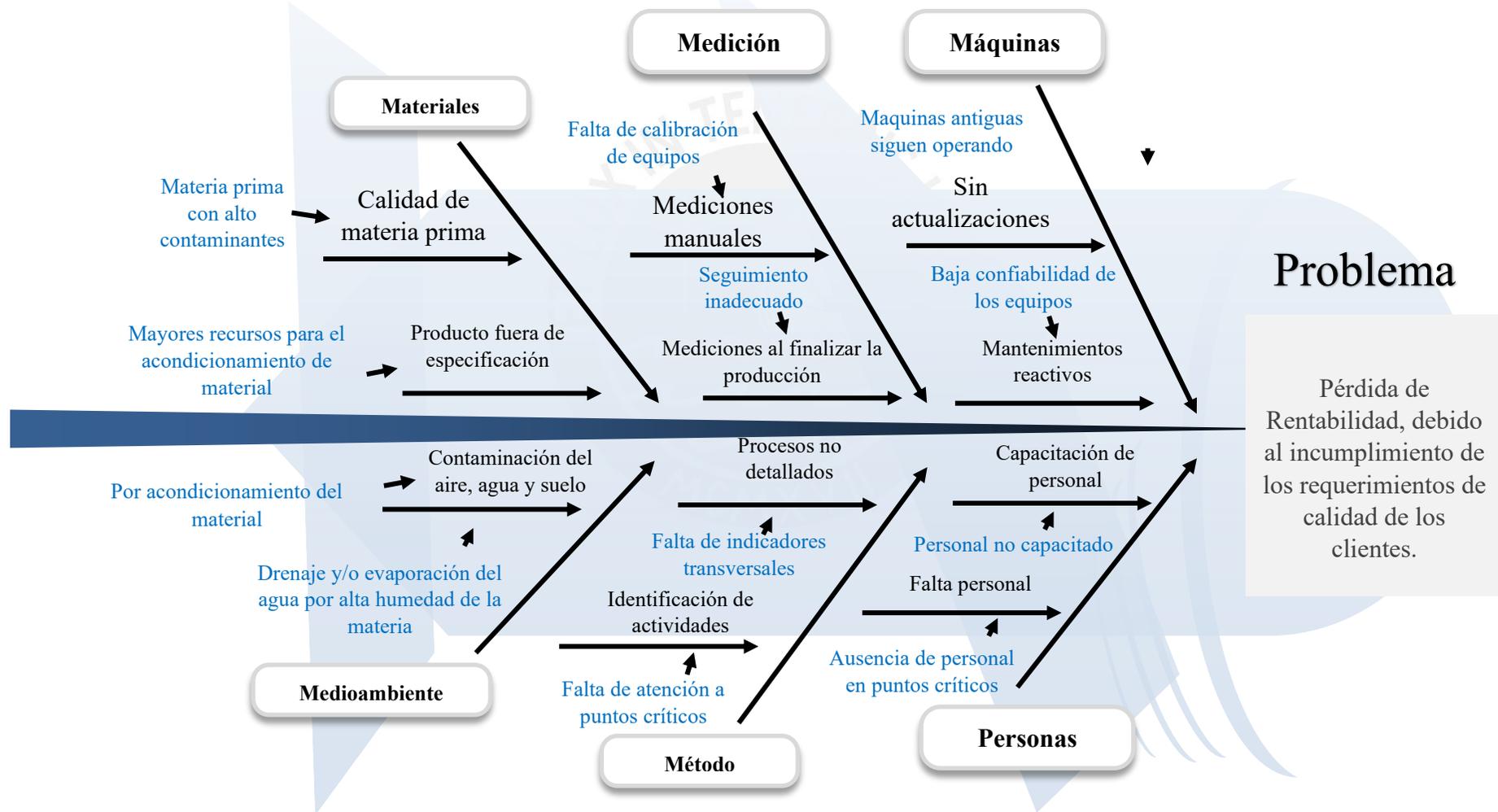
5.1 Medición

De las entrevistas realizadas al personal de producción, se recogió información vital que ha permitido constituir el origen de la existencia del problema. De acuerdo con los datos mostrados en la Figura 10, se tiene que un gran porcentaje de entrevistados concuerdan, en que, unas de las posibles causas que están afectando la obtención de productos de buena calidad es el control de parámetros operacionales. Para poder hacer un buen control, se necesitan buenas herramientas, instrumentos calibrados que permiten y aseguren obtener datos confiables que están interactuando dentro del proceso, conociendo con exactitud las dosificaciones de reactivos, así como también agentes que intervienen dentro del proceso productivo con impacto en el producto final.

Si se toma como ejemplo el caso del cemento cobre (Cu), uno de los subproductos de Nexa Resources (Cajamarquilla), de acuerdo con los entrevistados, estos refieren de que muchas de las actividades que realizan están relacionados a controles operativos y muchas de estos tiene la característica de ser muy complejos dado que se realizan de forma manual y requieren mucha concentración para no cometer errores.

Figura 12

Espina de Pescado – Análisis Disgregado del Problema



Describir como actividades complejas las medición de parámetros, dentro del proceso de obtención de cemento de Cu, puede entenderse debido a que el personal está expuesto a la toma de datos a altas temperaturas, en soluciones ácidas y dosificaciones de reactivos y flujos de oxígeno sobre una solución y todas estas actividades de control operativo se hacen de forma manual, y por lo extenso que es el proceso, muchas veces no hay un seguimiento a dichos parámetros, dejando abierta la posibilidad de que se presente alguna anomalía y no se pueda corregir durante el proceso.

5.2 Método

Las entrevistas han permitido conocer que existe una relación entre el control operativo y la obtención de productos finales, a la vez ha mostrado que se puede reducir los reprocesos si se da la atención respectiva a estas actividades a las cuales se les denomina complejas. Al tener un proceso constantemente interrumpido, por fallas ya sea mecánicas, eléctricas u operativas, no permite establecer indicadores de control que ayuden al monitoreo operativo, existe mayor preocupación por atender una falla del equipo que prevenir esto. También las entrevistas mostraron que existe un gran porcentaje de personal que conoce e identifica las actividades complejas que influyen directamente en el producto final, pero muchas de estas no son atendidas porque no se encuentran detallados, sin embargo, si se tiene claro por parte del negocio los aspectos a considerar para el control de producción, dichos aspectos son:

- Disponibilidad de información que describa las características del producto a través de las especificaciones técnicas, normas, manuales técnicos, entre otros.
- Disponibilidad de procedimientos e instrucciones de trabajo.
- Uso de equipos apropiados.
- Disponibilidad y utilización de equipos de medición y seguimiento.
- Implantación de actividades de seguimiento y medición, establecidas en los

procedimientos de proceso de operaciones.

5.3 Máquinas

De acuerdo con las entrevistas realizadas al personal operativo, se pudo observar que el 85% del personal entrevistado, muestra preferencia por trabajar con equipos automáticos, convirtiéndose en una gran necesidad por cubrir y que muchos de estos pueden contribuir en la obtención de productos de buena calidad. De los puntos revisados a nivel de máquinas, se puede observar una brecha tecnológica de las mismas, esto también es una causa de las lecturas manuales de las variables de calidad, si bien se encontraron algunas máquinas con sistemas SCADA, en los puntos críticos que las personas de producción identifican como posibles responsables de la falta de calidad se encontró que los muestreos son realizados sin ayuda tecnológica esto en cadena con lo mencionado con relación a mediciones. Otro punto resaltar es el poco desarrollo de mantenimientos preventivos, debido a que no existe tiempos destinados a prevención de fallas, porque muchos de estos son postergados debido a los constantes reprocesos de productos terminados, hasta conseguir obtenerlos dentro del rango comercial. La operación de las máquinas se mantiene a nivel convencional, a esto se suma la falta de mantenimientos que han sido postergados, reduce el nivel de confiabilidad de estos, y al no existir información que permita anticiparse a las posibles fallas, también impactan en la obtención de productos finales. Si existiese información en línea de estos equipos, ya sea para control operativo y/o de mantenimiento permitiría anticiparse a eventos y programar atención para cambiar mantenimientos reactivos en preventivos.

5.4 Personas

Las entrevistas realizadas, han permitido conocer, que existe un gran porcentaje del personal entrevistado que logra identificar como actividad crítica al control operativo, siendo este último un gran influyente para en la obtención de productos finales de buena calidad. Conociendo el impacto que tiene el control operativo y sumado a la falta de automatización

de equipos de control es necesario tener capacitado al personal de forma constante. Las entrevistas realizadas también permitieron conocer que existe un gran porcentaje de personal entrevistado que espera una mayor capacitación y actualización de nuevos equipos que permitan contribuir en reducir errores operativos y evitar reprocesos. Esta necesidad mostrada durante las entrevista permite adelantarse en las conclusiones llegando a coincidir de que no existe un proceso de capacitación formal en el área sobre lo relacionados a los puntos de control y medición de variables de calidad, se ha podido identificar que no todos los operadores coinciden en obtener lecturas correctas, a la hora del monitoreo operativo de parámetros y esto sólo obedece a una razón: el personal no se encuentra capacitado al 100% y al no estarlo, la probabilidad de que puedan cometer errores, siendo tan sólo de lectura sean por interpretación y no por toma de datos. Además, se denota una alta rotación de personal de planta, lo cual sumado a procesos poco claros y la falta de capacitación formal también influye de manera directa en el proceso productivo lo cual lleva a distintos reprocesos para llegar los niveles deseados de calidad.

5.5 Materiales

Los productos finales dependen mucho del tipo de la calidad de materia prima, siendo los procesos mineros catalogados como complejos, es necesario caracterizar una materia prima antes de que ingrese al proceso, en el caso que se está analizando, se encontró que para producir cemento de cobre(Cu) dentro de las especificaciones requeridas es necesario que dicha materia prima cuente con ciertos requerimientos, dado que el proceso para producir cemento de Cu es necesario recurrir a un proceso físico químico, de reacción exotérmica en medio ácido, que sumado a la alta agitación se espera una precipitación del ión Cu, dejando en solución a los elementos contaminantes. Si esta materia prima trae consigo altos contaminantes, se producirán cemento de Cu de baja calidad, con alta humedad dejando un

producto fuera de especificación comercial, requiriendo mayores recursos para adecuar y/o reprocesar el material hasta que se puedan cumplir con todas las especificaciones comerciales.

5.6 Medioambiente

El obtener un producto final fuera del rango comercial, obliga a buscar medios que permitan adecuar hasta estar dentro de lo requerido, destinando mayores recursos hasta conseguir el objetivo. El caso presentado, como es el cemento de Cu, se ve impactado dado que se obtiene con altos valores de humedad que hacen difícil su comercialización, es por ello que se busca eliminar el agua contenida, usando métodos manuales como es extender el cemento en zonas libres donde pueda llegar los rayos del sol y que estos a la vez ayuden a evaporar el agua. Si se analiza cada una de estas acciones que se realizan, se puede encontrar que, al extender el material, se está generando que el contenido del agua drene hacia el suelo generando un impacto ambiental ya que no se cuenta con suelos impermeabilizados. Esta acción también genera que el agua debido al calentamiento de los rayos del sol sobre el producto evapora el agua impactada en la calidad del aire, todo esto por buscar un acondicionamiento del producto final para su comercialización.

5.7 Matriz Causa Raíz

De lo analizado anteriormente se procede a realizar una priorización de las causas que contribuyen al problema identificado y poder identificar cuales tienen un mayor impacto. Para este fin se usa la matriz de priorización de causa raíz (ver Tabla 8), donde se tomaron dos criterios: (a) factibilidad, donde se pondera con 3 si es urgente de resolver, con 2 si se requiere un proceso a mediano plazo de resolución y con 1 si no es urgente de resolver; y (b) beneficio, donde 3 indica que es altamente beneficioso para el negocio, 2 que es medianamente beneficioso y 1 que no es prioritario.

Tabla 8*Matriz Priorización*

	Causa	Factibilidad	Beneficio	Total
1	Poco entrenamiento del personal en procesos críticos de calidad	2	3	5
2	Existencia mediciones manuales en el proceso productivo	3	3	6
3	Desconocimiento de las razones de falla en la calidad del producto	3	3	6
4	Documentación de procesos sin ser registrada y analizada correctamente	3	3	2
5	Alta rotación de personal	3	3	2

De lo anterior se desprende que las causas principales de los reprocesos en los productos terminados de la empresa son debido a las mediciones manuales asociadas al desconocimiento de las razones de falla en la calidad del producto.

Capítulo VI: Alternativas de Solución

Una vez realizado el análisis y compilación de la data en los capítulos anteriores, se procede a mostrar las alternativas de solución que ayudarían al negocio a mitigar los reprocesos, además de obtener mejores beneficios en los procesos productivos. Las soluciones propuestas se están alineadas a las razones principales que causan el problema, es decir, a mejorar las alternativas tecnológicas con las que cuenta el negocio para el proceso productivo, capacitar al personal y finalmente obtener los grados de calidad necesarios que requieren los productos terminados para obtener el mayor beneficio de la venta de estos.

6.1 Alternativas de Solución Identificadas

Se busca estar alineados con la gestión estratégica del negocio, según se pudo validar con los responsables, es una prioridad para NEXA la mejora de los procesos productivos. Estas mejoras implican la reducción de reprocesos que afectan a las ventas, que es el problema principal por solucionar. Esto se demuestra en las partidas presupuestales codificadas proporcionadas por la empresa las cuales están destinadas para el desarrollo de mejoras en los procesos de producción, en estas partidas donde se inserta la inversión de la consultoría (ver Tabla 9).

Tabla 9

Partidas Presupuestales 2023

Codificación	Proyectos (\$ MM) - Expansión/Modernización
DMND0006152	Análise Preditiva para Manutenção - CJM
DMND0006157	Melhorias do sistema do gestao por proceso (GPP) CJM
TECOP2	Innovación CAPEX CJM

Es importante notar que se tiene una partida para innovación: TECOP2 y una de mejoras de mantenimiento predictivo de la producción: DMND0006152, por eso la solución debe estar alineada con la innovación y la predicción que busca el negocio. Con base a ello se determinaron las siguientes alternativas de solución: (a) entrenar al personal en métricas de

calidad de procesos, (b) automatizar líneas productivas e (c) implementar monitoreo de alertas en línea de desviaciones en el proceso productivo.

6.2 Evaluación de las Alternativas de Solución

Para evaluar las alternativas de solución se usa el lienzo costo–impacto, en la cual se consideraron los siguientes criterios y mecanismos que ayudaron a plantearlos de forma objetiva:

- Criterio I-Costo: Para ponderar en este criterio, se ha tomado en cuenta el valor económico de implementar cada idea y su puesta en marcha.
- Criterio II-Complejidad: Se evaluó cuan factible es desarrollar la idea, tanto a nivel de la organización, como de permisos, disposición y requisitos legales, es decir, si cada idea tiene que cumplir con las normas que exige el sector.
- Criterio III-Tiempo: Este criterio es la variable con mayor complejidad de ponderar ya que la implementación de la idea está sujeta a la disponibilidad que tenga la compañía y la complejidad de la solución que se escoja tanto en términos tecnológicos como de alcance

Se considera un puntaje de 1 a 3 para poder establecer los valores, los resultados se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10

Determinación de Valores

Ítem	Idea	Criterio			Costo
		Costo de implementar cada idea	Complejidad de implementar cada idea	Tiempo para implementar cada idea	
V01	Entrenar al personal en métricas de calidad de procesos.	1	1	1	1.00
V02	Automatizar líneas productivas.	3	2	2	2.33
V03	Implementar monitoreo de alertas en línea sobre desviaciones en el proceso productivo.	2	3	3	2.67

6.2.1 *Valuación de Matriz Costo Versus Impacto*

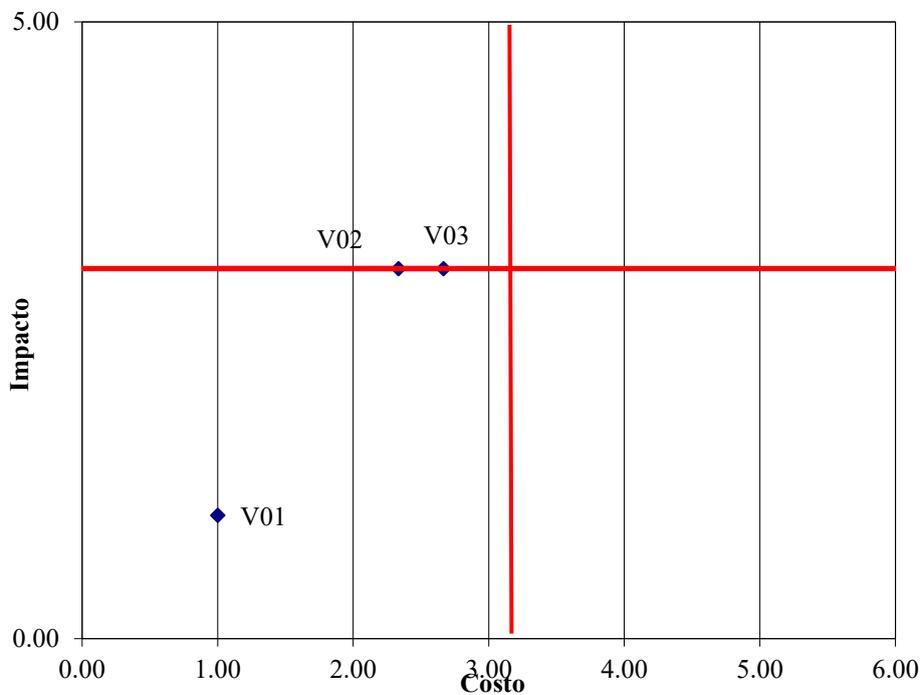
Para valorar las ideas y contrastarlas con el impacto al negocio que pueden generar, se consideran las variables: (a) costo de implementación (bajo o alto), donde los valores se obtuvieron de la matriz de costos ponderados; e (b) impacto de implementar la idea (bajo o alto), donde se evaluó el impacto de cada idea en una base de 1 a 3, donde se identifica que las ideas V02 y V03 (ver Tabla 11), tienen un impacto alto al tratarse de ideas que están intrínsecamente relacionadas con el objetivo que se busca de cara al usuario final el cual necesita identificar las etapas críticas del proceso que puedan ser automatizadas y tener valores en tiempo de real de ejecución de las mismas con ello se generan alertas predictivas y evitar pérdida de calidad en la producción y así solucionar el problema principal de pérdidas de ventas por problemas de calidad en el producto final. Paso seguido, se genera la Figura 11), en la cual se muestra la ubicación de cada idea y se identifican las soluciones a implementar.

Tabla 11

Impacto

Acción / Variable	Costo	Impacto
V01. Entrenar al personal en métricas de calidad de procesos.	1.00	1.00
V02. Automatizar líneas productivas	2.33	3.00
V03. Implementar monitoreo de alertas en línea sobre desviaciones en el proceso productivo.	2.67	3.00

En la Figura 13 se observa que las ideas a implementar serían V02 y V03, las cuales son candidatas para fusionarse ya que se encuentran relacionadas al uso de tecnologías e impactan de forma directa sobre los puntos de dolor de los usuarios del negocio. De igual forma V01, formaría parte de la solución a implementar, porque la capacitación debe ser intrínseca a un proyecto de automatización.

Figura 13*Matriz Costo - Impacto*

6.3 Solución Propuesta

En base al análisis realizado se buscaron distintas soluciones de tecnológicas que no sólo aplique a colocar sensores en los equipos, porque no es un problema técnico si no que permita encontrar justamente relaciones de causa efecto para tomar acciones inmediatas y el análisis preventivo y predictivo para evitar estos problemas y no sólo resolverlos luego que estos han ocurrido.

Entre las soluciones revisadas se encuentra:

- Actualizar el sistema de Control de supervisión y Adquisición de Datos, SCADA por sus siglas en inglés: sistema con el que cuenta la planta para el monitoreo de la producción el cual se encuentra operativo y sin actualizar por más de diez años; pero según comentaron los colaboradores que no estaba en su portafolio de proyectos emprender este tipo de actualización.
- Actualizar el sistema de mantenimiento de la operación: dentro del sistema de gestión empresarial del negocio, ERP por sus siglas en inglés, se cuenta con un

sistema de gestión de mantenimiento, que si bien puede ser actualizado esto implica actualizar también el ERP, por lo tanto, no era viable a corto o mediano plazo, además implicaba costos mayores.

Además de que estas alternativas tecnológicas implicaban mayores esfuerzos de implementación, no solucionaban el problema en sí, dado que tanto SCADA como el ERP son soluciones excelentes para la toma de datos, la primera, y para la ejecución de los mantenimientos la segunda, mas no son soluciones de análisis de información y no ayudan a prevenir los reprocesos. Sin embargo, SCADA es la fuente de información principal de la producción y el ERP es el gestor de mantenimiento que se integra con la logística y la parte financiera del negocio, así que se buscó tener una solución que pueda interactuar también con estos sistemas.

De todas las posibles ideas desarrolladas se seleccionó en base al problema planteado: la implementación de sistemas IoT (Internet de las Cosas) el cual describe objetos físicos integrados con sensores y actuadores que se comunican con sistemas informáticos a través de redes cableadas o inalámbricas, lo que permite monitorear o incluso controlar digitalmente el mundo físico (Manyica, et al., 2015).

Esta solución se aloja en un modelo de *cloud computing* donde las organizaciones esencialmente compran una gama de servicios ofrecidos por proveedores de servicios en la nube (CSP). Los servidores del CSP alojan todas las aplicaciones del cliente. Las organizaciones pueden mejorar su potencia informática de forma más rápida y económica a través de la nube que comprando, instalando y manteniendo sus propios servidores (Manyica, et al., 2015).

Si bien la solución de IoT por sí misma no soluciona al problema, la implementación de soluciones de este tipo implica dos aspectos importantes que si contribuyen de forma directa a solucionar el problema:

- Identificar los procesos productivos que agregan valor al producto.

- Identificar de estos procesos cuales son los procesos críticos cuales son aquellos que deben ser monitoreados en tiempo real para asegurar la calidad del producto.

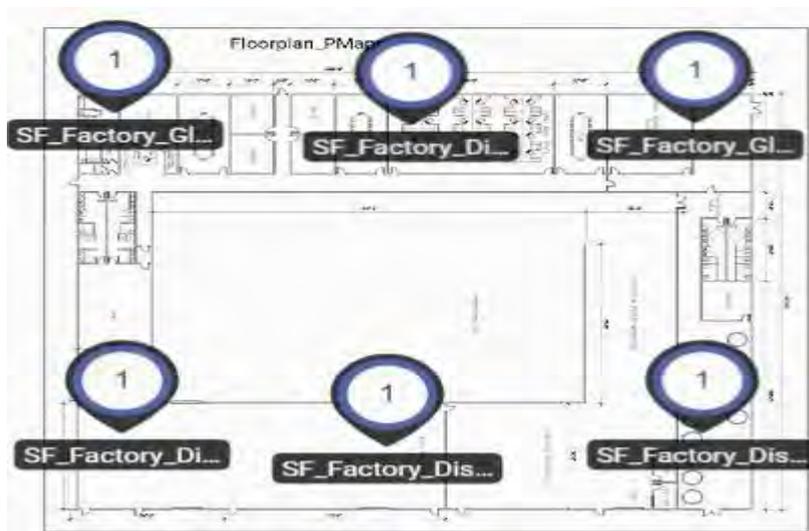
Público Primario Beneficiado. El público primario beneficiado será el área de producción donde podrá controlar cada uno de los procesos en tiempo real; con ello podrá identificar incluso anticipar fallas de máquinas y producción. Un beneficio secundario es la seguridad, porque en la situación actual todas las inspecciones de máquinas y fallas de producción se realizan por operarios y entrar a una planta o producción a revisar un sensor por fallas siempre conlleva riesgos a la integridad de los trabajadores.

Capacidades de la solución. La solución se alinea con las actividades de la empresa dado que se enfoca básicamente con el proceso productivo donde se esquematizan tanto la planta como los equipos que se desean rastrear para detectar anomalías que afecten a la calidad del producto (ver Figuras 14 y 15). Además, se busca que los sistemas de IoT usen la toma de datos en tiempo real y puedan proporcionar entre otras las siguientes características:

- Visibilidad en tiempo real de los indicadores de producción que son los indicadores clave de desempeño (KPI, por sus siglas en inglés), no sólo a nivel operativo sino también a nivel gerencial.
- Las aplicaciones habilitadas para IoT se deben conectar a los sistemas existentes en la planta como son: supervisión, control y adquisición de datos (SCADA, por sus siglas en inglés) y sistema de control de producción (MES, por sus siglas en inglés) para seguimiento en tiempo real. Se busca complementar con los sistemas existentes.
- Buscar un modelo de mantenimiento predictivo para reducir el tiempo de inactividad no planificado.
- Integrarse a la cadena de suministro: planes de producción, mantenimiento, gestión de inventario, calidad, etc.

Figura 14

Esquema de Gemelo Digital IoT



Nota. Se muestra un plano de planta de una fábrica con tres íconos de máquinas dispuestos en una fila del plano de planta y luego otros tres íconos de máquinas dispuestos en otra fila del plano de planta. Tomado de *Configure an Oracle IoT Production Monitoring Cloud Service Application*, por Oracle, s.f.-a, 2023, de (<https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/iot-production-cloud/tutorial-configuring-production-monitoring/>).

Figura 15

Esquema de Control de Anomalías IoT



Nota. Tomado de *Using Oracle Internet of Things Production Monitoring Cloud Service: Use Anomalies to Track Deviations in Machines and Factories*, por Oracle, s.f.-b, 2023 (<https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/iot-production-cloud/iotpp/use-anomalies-track-deviations-machines-and-factories.html#GUID-21951708-B095-4463-992E-8AF9B05A6965>).

Para lograr el objetivo de reducir las pérdidas de valor de venta se utilizó la línea de producción de cemento de cobre (Cu); sobre esta línea se recabó información de los procesos de lo conforman además de los puntos críticos de producción donde se reflejan los reprocesos los cuales se buscó idealmente anular o en su defecto reducir a su mínima expresión. Es importante conocer el proceso no sólo a nivel de operación si no también reconocer los elementos tecnológicos que lo conforman. Esto porque la solución tecnológica de IoT que se está proponiendo requiere conocer los equipos que son parte del ciclo productivo para poder recopilar información sobre los mismos y los parámetros que hacen sentido controlar con el fin de evitar o mejor aún anticipar estas anomalías que impiden que el producto final llegue a las especificaciones requeridas para su venta, lo cual conlleva a los reprocesos que además de generar sobrecostos hacen que el precio del producto no sea el esperado.

Proceso Productivo. La hidrometalurgia es la rama de la metalurgia que comprende la recuperación de metales valiosos desde los minerales que los contiene, usando soluciones líquidas acuosas a temperaturas relativamente bajas. Se basa en lograr lixiviar y concentrar las soluciones en uno a varios de los elementos de interés presentes como iones y finalmente separarlos y aislarlos en forma de metales aprovechando sus propiedades fisicoquímicas (electroquímicas). El proceso implica una separación selectiva de un elemento metálico o grupo de estos generalmente desde los concentrados de flotación hasta su forma final comercializable (metales, aleaciones o compuestos), a este proceso de separación también se le conoce como lixiviación, siendo la principal actividad dentro de la refinería Nexa Resources Cajamarquilla (ver Figura 16).

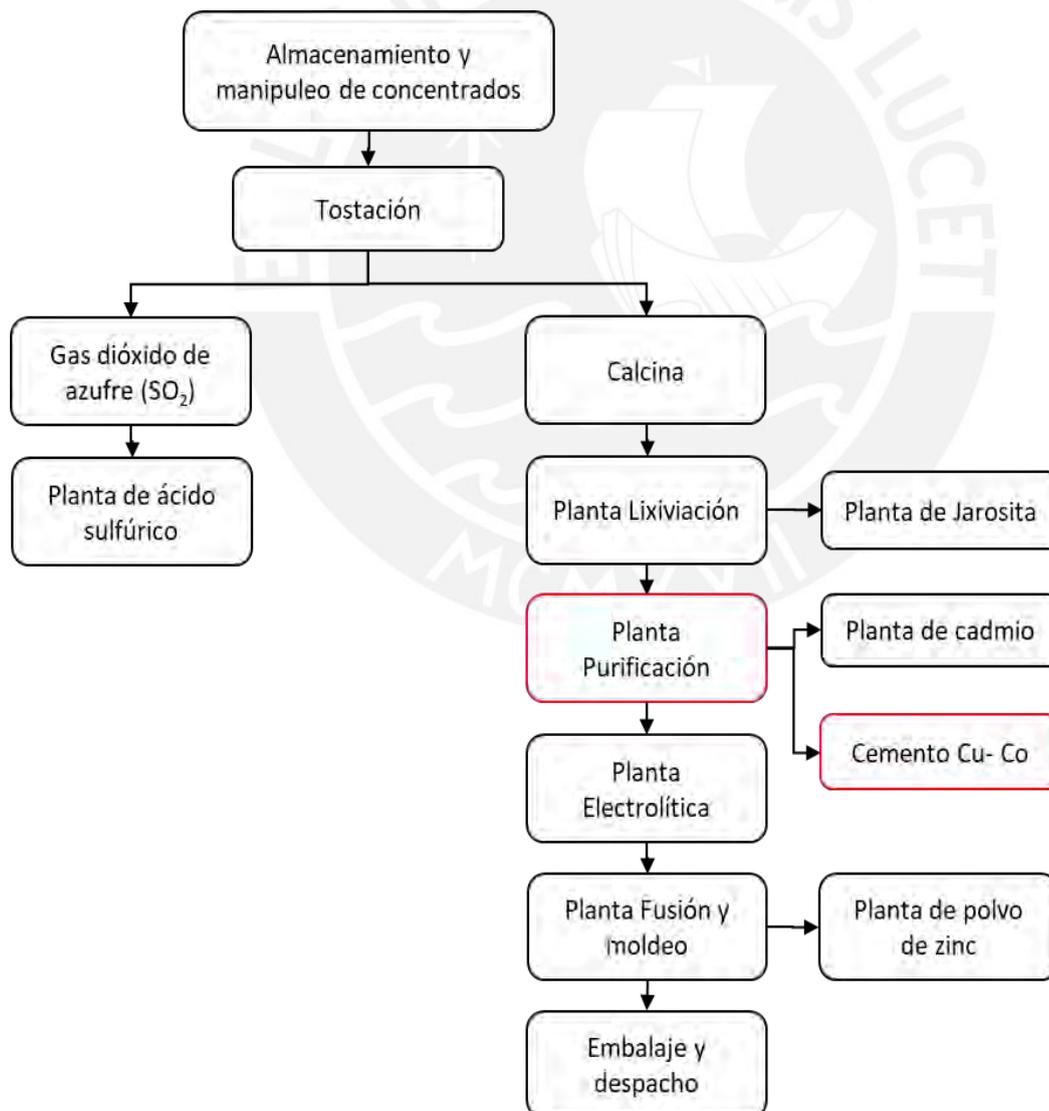
La lixiviación hace referencia a la disolución del zinc desde la calcina donde se encuentra como óxido de zinc o ferrita de zinc (en fase sólida) para pasarla a la fase líquida convertida en sulfato de zinc. Técnicamente es el proceso donde un metal se extrae desde el material que lo contiene disolviéndolo en un solvente acuoso. Los objetivos principales del

proceso de lixiviación incluyen:

- Disolver sustancialmente todo el zinc contenido en las calcinas de zinc (producto de la tostación), en una solución de ácido sulfúrico (electrolito gastado) reciclada de la etapa de electrodeposición de zinc.
- Separar el hierro desde la solución de lixiviación como un residuo sólido (goethita), y obtener una solución factible de someterse a una mayor purificación como etapa previa a la electrodeposición.

Figura 16

Diagrama General del Proceso Hidrometalúrgico del Zinc



Ciertas impurezas que acompañan al zinc en los concentrados y que no han podido separarse en etapas anteriores necesitan hacerlo a fin de evitar que afecten la electrolisis y la calidad del zinc refinado. Es así que las soluciones neutras de sulfato de zinc que se producen en la etapa de lixiviación necesitan purificarse principalmente por cobre, cadmio y cobalto (níquel). La purificación se basa en el hecho que los elementos que acompañan al zinc en solución y deben eliminarse previamente a la electrólisis, tienen un potencial electroquímico más electropositivo que el Zn. Esto significa, teóricamente que, mediante la adición de Zn metálico a la solución, las impurezas precipitaran (cementaran) por la reducción de sus iones según siguiente fórmula química:



Donde:

- (Me[°]), puede ser el elemento cobre (Cu) o cadmio (Cd).
- (SO₄)⁻², ion sulfato.
- (Zn[°]), Zinc metálico.
- (ZnSO₄), sulfato de zinc en modo acuoso.

Las concentraciones típicas, de las principales impurezas en la solución de sulfato de zinc, que se alimenta a la planta de purificación son:

Sólidos	: <0.5 g/L (Solución clara)
Cobre (Cu)	: 1.000 a 1.500 g/L
Cadmio (Cd)	: 0.400 a 0.600 g/L
Cobalto (Co)	: 10 a 12 mg/L
Níquel (Ni)	: <10 mg/L
Fierro (Fe)	: <5 mg/L
Antimonio (Sb)	: <1 mg/L
Arsénico (As)	: <1 mg/L

Cantidad de hidrógeno (pH) : 4.5 +/- 0.1

Donde: las unidades de medida están expresada en (g/L), gramos por litro o (mg/L), miligramos por litro. Sin embargo, el Ni (Níquel) y As (Arsénico) no se monitorean habitualmente dentro de la rutina, dado que el proceso de análisis requiere mayor tiempo. Del mismo modo los contenidos máximos de impurezas especificados en las soluciones purificadas de sulfato de zinc producto de la etapa de purificación son:

Cobalto (Co) : <0.25 mg/L

Cobre (Cu) : <0.20 mg/L

Cadmio (Cd) : <1.00 mg/L

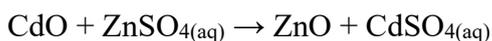
Antimonio (Sb) : <0.03 mg/L

Pb (Pb) : <7 mg/L

Fierro (Fe) : <5 mg/L

Para el níquel (Ni), Germanio (Ge), Arsénico (As) y Selenio (Se) son <0.01 mg/L y para el Titanio (Ti) <0.001 mg/L. La etapa de purificación está relacionada con la eliminación de elementos diferentes al Zinc (Zn), aprovechando su potencial electroquímico. Esto significa, teóricamente, que mediante la adición de zinc metálico a la solución (en polvo), las impurezas como el cobre (Cu) y cadmio (Cd), se cementaran por reducción en una primera etapa de purificación denominada fría.

Sin embargo, la cementación de (Cobalto/Níquel) Co/Ni requiere una segunda purificación denominada caliente por que se lleva la temperatura a 90 °C y se añaden Tartrato de Antimonio y Potasio ($C_8H_4K_2O_{12}Sb_2 \cdot 3H_2O$) como catalizador, además de Sulfato de Plomo ($PbSO_4$) para disminuir el riesgo de redisolución de Co. En particular, si el pH de la solución es alto, la superficie del zinc puede oxidarse y bloquear la cementación. El Cd (Cadmio) precipitado es más propenso que el zinc, a tal oxidación disolviéndose más fácilmente en la solución neutra de sulfato de zinc según:



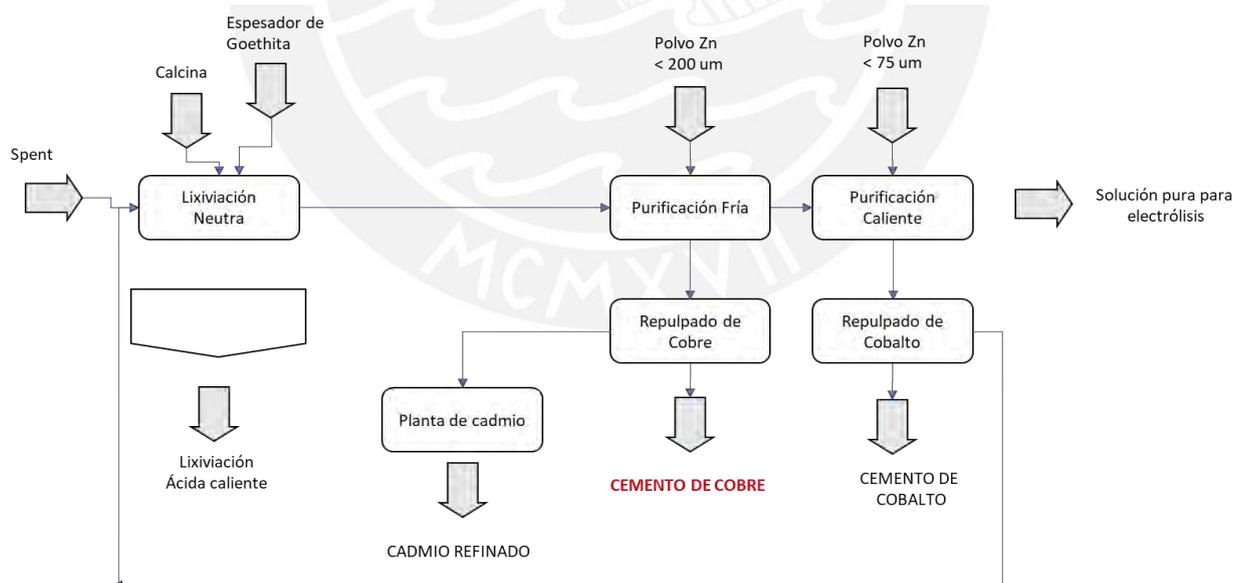
Donde:

- (CdO), óxido de cadmio.
- (ZnSO₄), sulfato de zinc en modo acuoso.
- (ZnO), Óxido de Zinc.
- (CdSO₄), sulfato de cadmio en modo acuoso.

Por esta razón es conveniente minimizar la presencia de oxígeno durante las operaciones de cementación, lo que permitirá reducir los excesos de polvo de zinc empleado. Los lodos de purificación en frío y en caliente se lixivian (ver Figura 17), juntamente con electrolito gastado, llamado “spent” (ácido sulfúrico gastado), para solubilizar el Cd (Cadmio) y el Zn (Zinc).

Figura 17

Diagrama Global del Proceso de Purificación

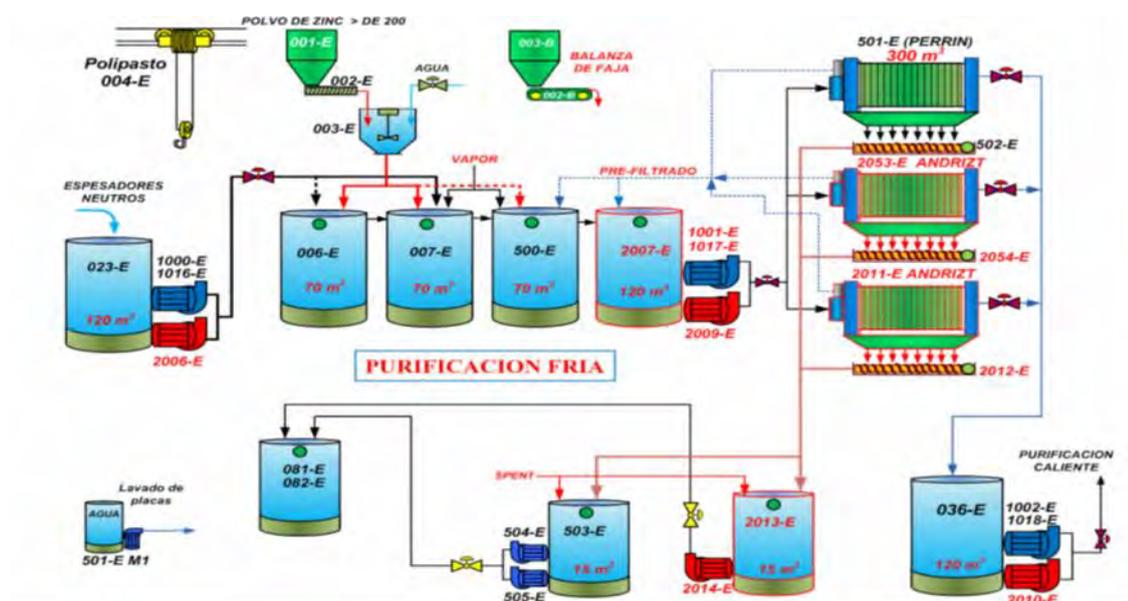


En relación con el diagrama presentado, se profundiza en la formación del cemento cobre, a partir de la purificación fría (ver Figura 18), que servirá para analizar su impacto económico dentro de la refinería Nexa Resources Cajamarquilla.

Purificación Fría. Los elementos precipitados por cementación en esta primera etapa son el Cu (Cobre) y el Cd (Cadmio) al mismo tiempo que el arsénico (As), antimonio (Sb), germanio (Ge), cobalto (Co) y níquel (Ni) (en parte). El tiempo de reacción se ha establecido en 30 minutos donde prácticamente todo el Cu y aproximadamente el 90% de Cd precipitan por cementación.

Figura 18

Diagrama del Proceso de Purificación Fría



El tiempo de reacción es importante, ya que el Cd (Cadmio) se disuelve transcurridas las 1.5 horas. El pH es de 4.5 a 4.7 y la temperatura varía de 60° a 70 °C. El polvo de zinc que se usa en esta etapa está a malla < 200 μ . Es útil prever la posibilidad de adicionar polvo de Zn (Zinc) en el segundo reactor para eliminar eficientemente el Cd (Cadmio) que podría pasar. La presencia de As (Arsénico) y de Sb (Antimonio) favorece la precipitación anticipada del Co (Cobalto) y principalmente del Ni (Níquel). Consecuentemente, contenidos de As y Sb en la solución neutra suficientemente altos hacen que el cobalto (Co) y el níquel (Ni) se precipiten parcialmente durante la purificación fría y acompañan los lodos Cu-Cd al repulpado produciendo así un alto contenido indeseable de cobalto (Co) y de níquel (Ni) en la solución de sulfato de cadmio (CdSO_4) que va a la planta de Cadmio. En algunos casos se

recomienda calentar de la solución con una ligera inyección de vapor a fin de evitar la formación de sulfatos básicos de zinc y la precipitación de yeso por enfriamiento ya que estos precipitados afectan negativamente la velocidad de filtración del cemento. La solución filtrada de la purificación fría se envía hacia la segunda etapa de purificación denominada caliente y las tortas de filtración se envían al tratamiento del residuo cobre – cadmio (Cu-Cd), para la recuperación del exceso de zinc (Zn) y disolución de cadmio (Cd). Las reacciones químicas que se llevan a cabo en la etapa de Purificación Fría se dividen en:

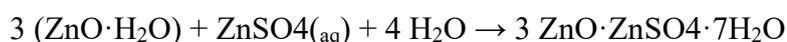
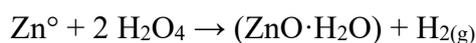
Precipitación de Impurezas por cementación:



Donde:

- (CuSO_4) , sulfato de cobre.
- (Zn°) , Zinc metálico.
- (ZnSO_4) , sulfato de zinc en modo acuoso.
- (Cu°) , cobre metálico.
- (CdSO_4) , sulfato de cadmio.
- (Zn°) , Zinc metálico.
- (ZnSO_4) , sulfato de zinc en modo acuoso.
- (Cd°) , cobre metálico.

Formación de sulfatos básicos de zinc (este precipitado disminuye la velocidad de filtración del cemento) con generación de Hidrógeno por descomposición del agua dada la reactividad del polvo de zinc.



Donde:

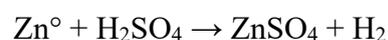
- (H₂O₄), agua de mayor peso molar.
- (Zn^o), Zinc metálico.
- (ZnO·H₂O), oxido de zinc, monohidratado.
- (H_{2(g)}), hidrógeno
- (CdSO₄), sulfato de cadmio.
- (ZnSO₄), sulfato de zinc en modo acuoso.
- (H₂O), agua.
- (ZnSO₄·7H₂O), sulfato de zinc, heptahidratado.

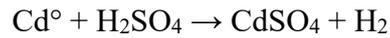
Es esencial aplicar una buena ventilación, no sólo para eliminar la posible exposición del personal a estos gases peligrosos, sino también para mantener la concentración de hidrógeno por debajo de los límites de explosión dentro de los tanques de cementación.

Repulpado (lixiviación) de los Cementos de Cobre y de Cobalto. En el caso del cemento de la purificación fría luego de la filtración, se tiene por objeto la extracción máxima de zinc (Zn) y de cadmio (Cd) con el uso de la solución ácida del retorno de celdas o spent (ácido sulfúrico desgastado), dejando del cobre (Cu) en el residuo. Las condiciones para esta operación son:

- Temperatura = 90° (+/- 5 °C).
- Tiempo de reacción = 2 - 4 horas.
- Acidez Final = 9 g/L +/- 1 g/L en el primer tanque E-081 y 7g/L, +/- 3 g/L en el segundo tanque E-2050).
- Cu en el filtrado = < 10 mg/L.

Se acepta que una parte del cobre (Cu) sea disuelta para estar seguro de que todo el cadmio (Cd) ha sido disuelto, esto es posible por inyección de un poco de aire comprimido en el tanque E-083 (oxidación del Cu). Las reacciones de esta etapa son las siguientes:





Donde:

- (H_2SO_4) , ácido sulfúrico.
- (Zn°) , Zinc metálico.
- (ZnSO_4) , sulfato de zinc.
- $(\text{H}_{2(\text{g})})$, hidrógeno
- (Cd) , cadmio.
- (CdSO_4) , sulfato de cadmio.

En las Figura 19 se muestra el flujo del proceso, los reprocesos por parámetros fuera de rango se identifican en los círculos de color verde y rojo de la figura los cuales se explican a detalle más adelante. De igual forma se muestra el técnico del proceso de repulpado donde se realiza el gemelo digital, el cual se realizará sobre el Filtro de Prensa F-2000 (ver Figura 20). Dado que es en este proceso donde se identifican los principales inconvenientes de medición que buscamos eliminar recopilando la información de los sensores.

En el caso del cemento de la purificación caliente luego de la filtración el objetivo del repulpado (lixiviación) es la extracción más alta posible de Zn (Zinc) por su disolución en el electrolito agotado (spent). El Co (Cobalto) y el Ni (Níquel) subsisten en forma metálica y se evacuan con la torta. Después de la filtración, la solución de Zn (Zinc) se recicla a la lixiviación. El Co (Cobalto) permanece insoluble a 90% bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura = 85 ± 5 °C.
- pH = 2.5 ± 0.5 (el punto de consigna en función del Co re-disuelto).
- Tiempo de reacción = aproximadamente 3 - 4 horas.

También se acepta el reciclado al primer tanque de la lixiviación neutra de una solución conteniendo tres veces el contenido de Co (Cobalto) del over-flow de lixiviación neutra. La inyección de aire comprimido es útil para la redisolución del Cd (Cadmio), cuya

Figura 19

Flujograma del Proceso de Producción de Cemento de Cobre

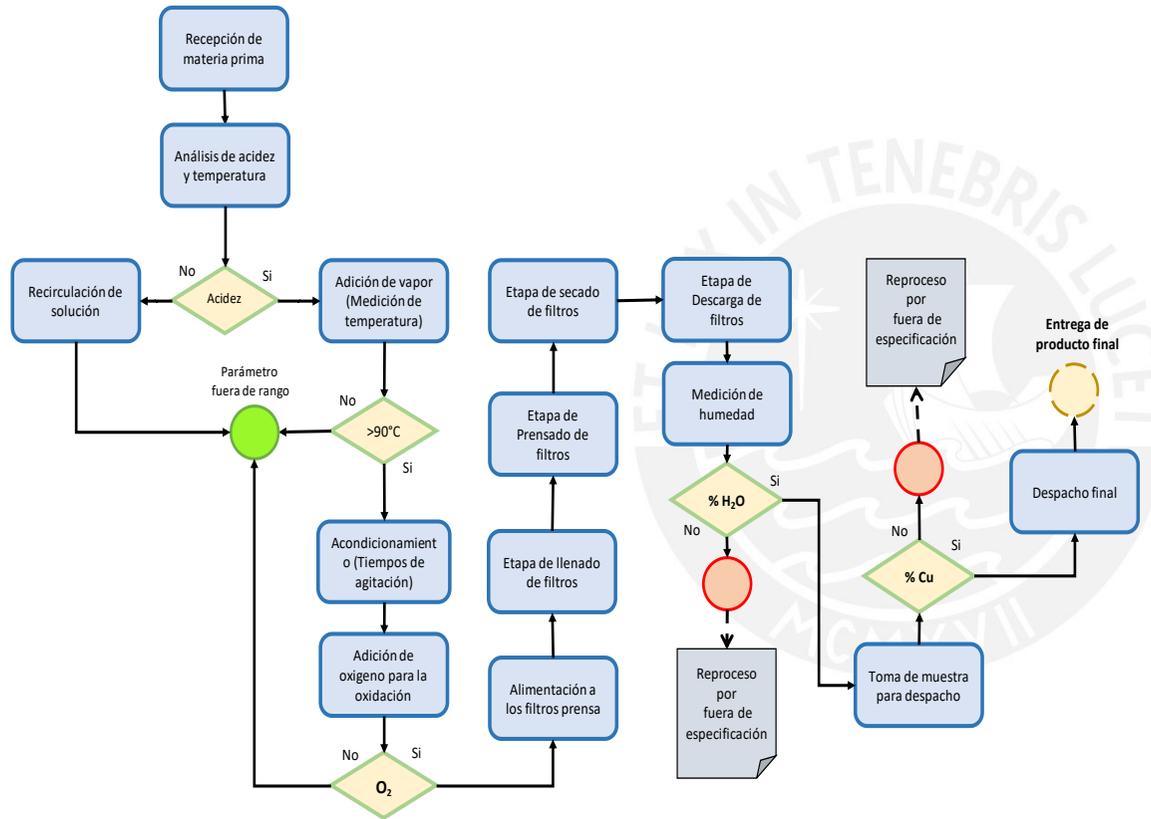
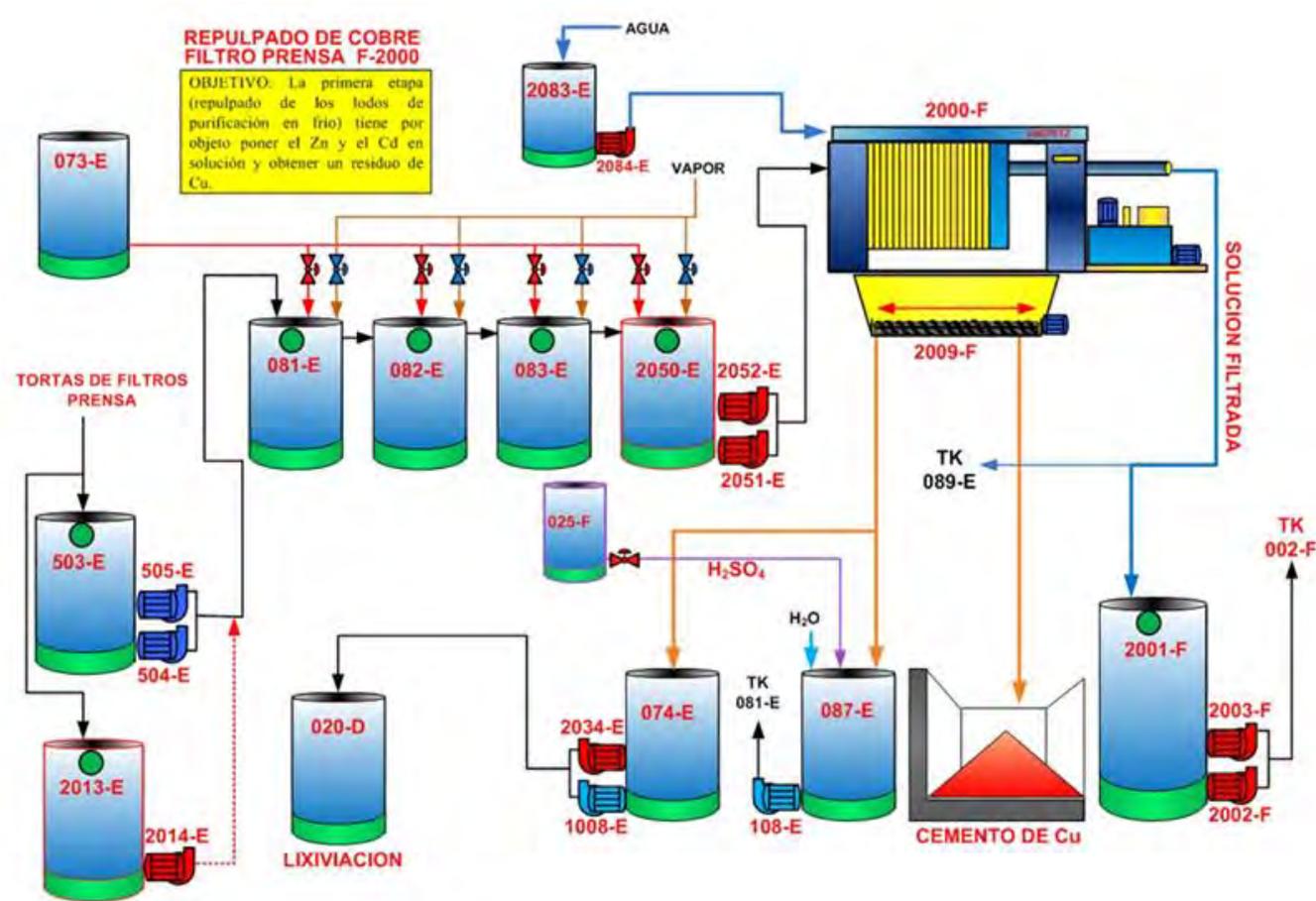


Figura 20

Diagrama del Proceso de Repulpado de Cobre Filtro de Prensa F-2000



presencia es posible en esta etapa. También se acepta el reciclado al primer tanque de la lixiviación neutra de una solución conteniendo tres veces el contenido de Co (Cobalto) del over-flow de lixiviación neutra. Señalemos que la inyección de aire comprimido es útil para la redisolución del Cd (Cadmio), cuya presencia es posible en esta etapa. La torta final del filtro se evacua y constituye en el primer caso el cemento de cobre y en el segundo caso el cemento de cobalto, ambos se despachan al mercado. Es importante señalar que estas dos etapas es imprescindible contar con un sistema eficiente de ventilación por la alta generación de gas hidrógeno, que puede ser un peligro debido al riesgo de explosiones, y mantener la concentración de gas hidrógeno por debajo de los límites de explosión dentro de los tanques de repulpado.

Principales consideraciones:

Reprocesos por parámetros fuera de rango, se refiera a aquellos valores que se encuentran fuera del rango de referencia, pudiendo ser de forma ascendente o descendente, constituyendo un indicador obvio de la necesidad de realizar pruebas y/o controles adicionales. Existen tres posibles casos de ocurrencia que, al no ser controlados impactarían en el proceso, ocasionando una recirculación de solución hasta obtener valores dentro del rango referencial, estos son:

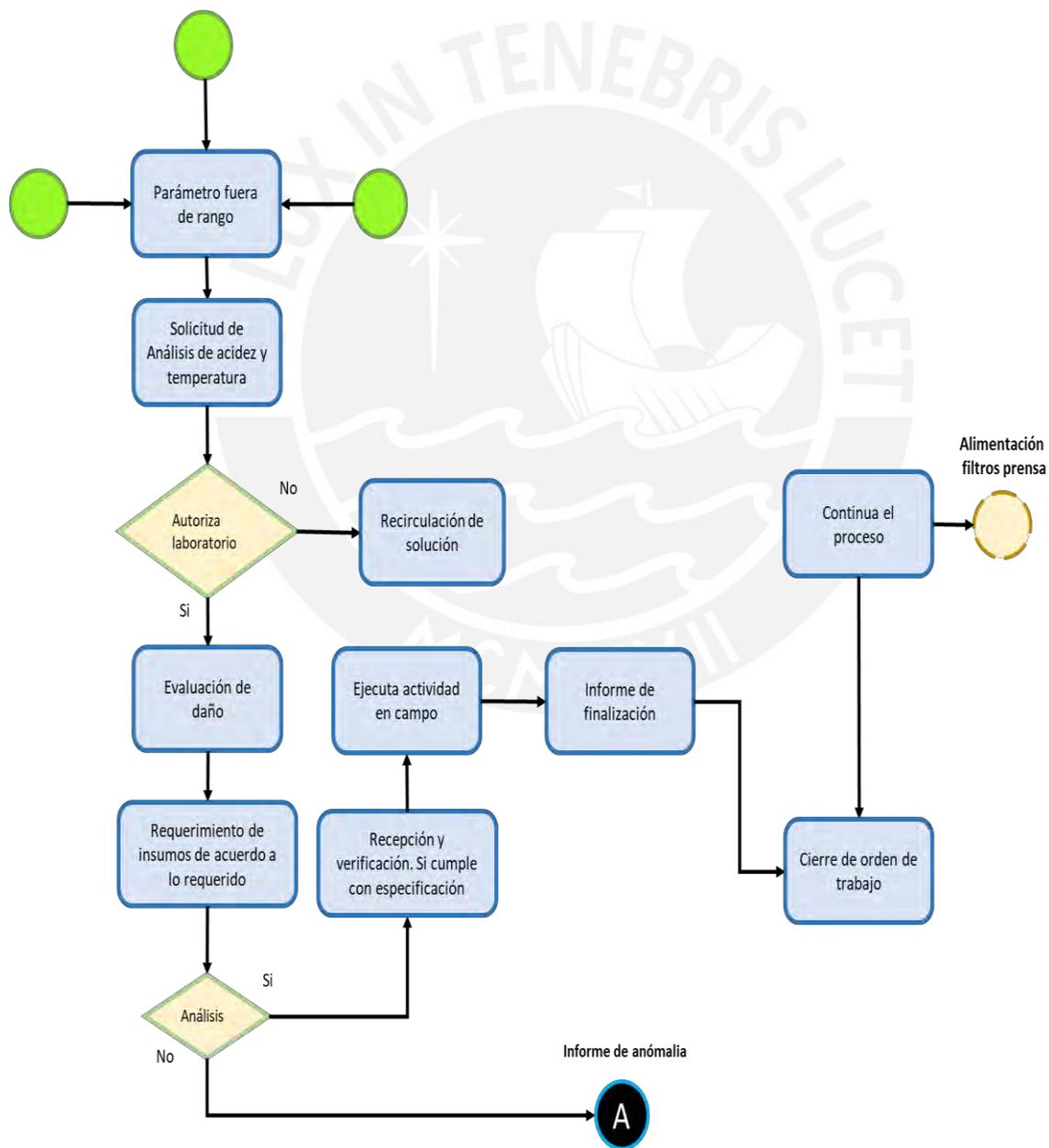
- Acidez de solución lixivante:
(Rango permitido: 9 g/L, variación del +/- 1 g/L. en el primer tanque E-081 y 7g/L, +/- 3 g/L en el segundo tanque E-2050).
- Temperatura de reacción: 90°
(Rango permitido +/- 5 °C).
- Inyección de O₂, para evitar la redisolución de Cd.

Identificada la razón de que la solución esté fuera de rango, de forma inmediata se genera una solicitud de toma de muestras adicionales, previa autorización de la jefatura de

laboratorio, si el valor obtenido en el segundo análisis se confirma, se procede con la evaluación del daño y su corrección con el objetivo de adecuarlo al rango permitido para que dicha solución continúe el ciclo productivo. De lo contrario, dicha solución se procede a recircular, generando una solicitud de informe de anomalía. En la Figura 21 se muestra el flujo de procesos a seguir cuando se encuentran parámetros fuera de rango.

Figura 21

Diagrama del Proceso para Corregir Fuera de Rango



Reprocesos por fuera de especificación. Se entiende por este término a los resultados que se encuentran fuera o no cumplen con los criterios de aceptación establecidos. Dentro del proceso de obtención del cemento de cobre, existen 2 casos posibles de ocurrencia, generando pérdidas en el proceso con impactos negativos, siendo:

- Alta humedad (Mayor contenido de % H₂O; > a 35%).
- Bajo contenido de cobre (Menor % Cu; < a 60%)

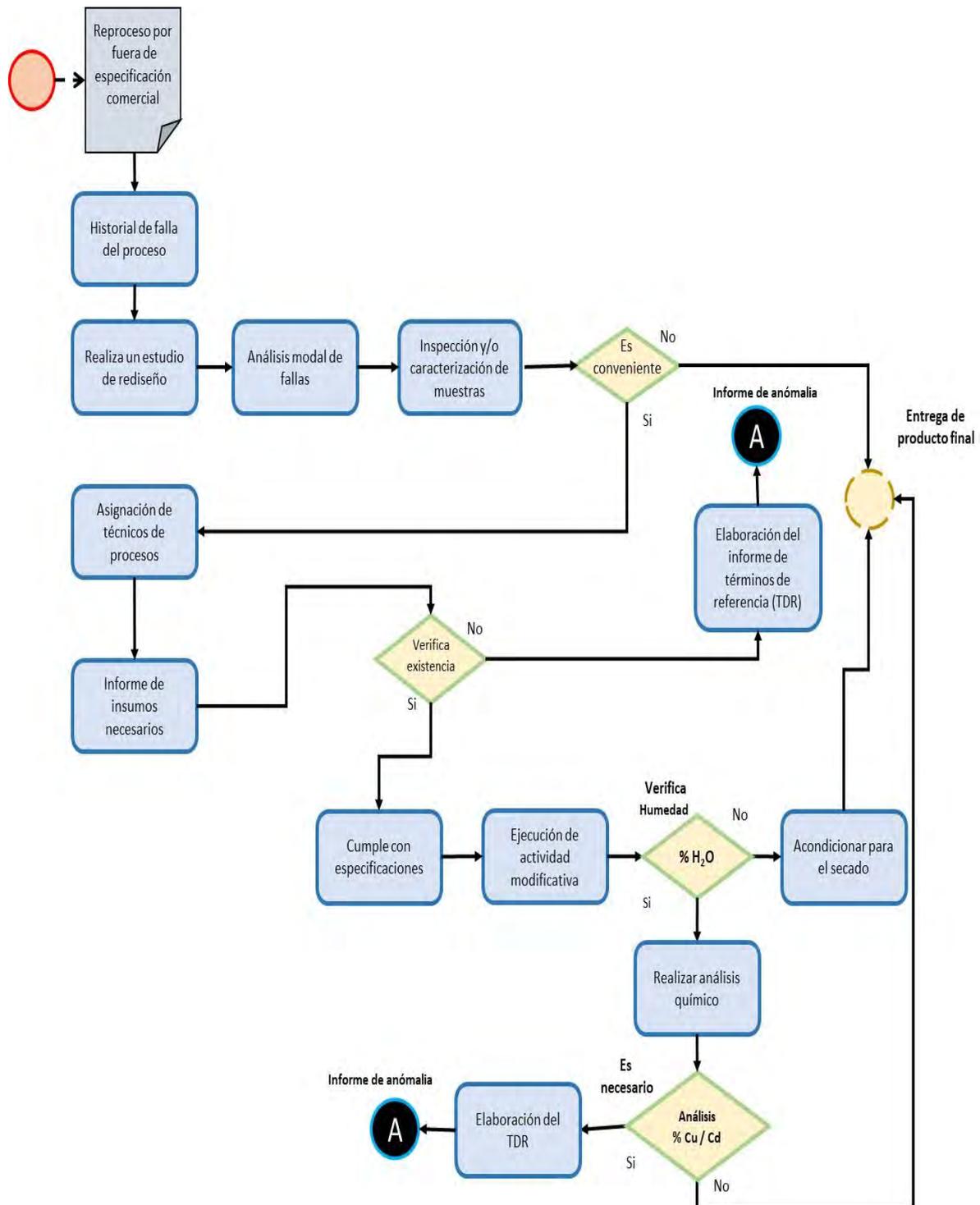
Identificado el motivo de la ocurrencia de este reproceso, se procede a revisar el historial de fallas que se ha presentado durante el proceso, buscando evento (s), que hayan ocurrido y que guarde relación con el producto, posterior a ello se procede con el análisis de fallas y caracterización de la muestra a análisis. De encontrarse una posible solución (reproceso), se asigna personal especializado que supervise las etapas a seguir hasta su corrección, previo a los análisis de contenido de humedad y valores contaminantes como es el caso del cadmio. Después de haber realizado las actividades de corrección y si los valores siguen fuera de especificación, se procede a generar la solicitud de análisis de anomalía. En caso de que la muestra no requiera mayores etapas, se procede a entregarse al patio de despacho. Otra razón para que el producto final, no se encuentre dentro del rango de especificación, es el alto contenido de agua. Corregir esta desviación es mucho más factible ya que sólo implica acondicionar el cemento de cobre a los valores permitidos, ayudados con equipos de secado que reduzcan el contenido de agua, incrementando mayores espacios para adecuar el material y demanda mayor tiempo de entrega del producto final. En la Figura 22 se muestra el flujo de procesos a seguir cuando se encuentran parámetros fuera de especificación.

Digitalización de Repulpado de Cobre: conocer el proceso productivo, permite poder construir un diagrama digital, donde se plasme e identifique con facilidad todos los procesos críticos e inconvenientes que se tienen identificados los cuales generan un gran impacto en la obtención de un producto final de calidad acorde a los términos comerciales

establecidos.

Figura 22

Diagrama del Proceso para Corregir Fuera de Especificación



Es importante mencionar que la construcción del diagrama digital será un complemento al programa de automatización instalado actualmente (SCADA), ya que éste último por su estructura de diseño no permite emitir alertas que ayude a predecir los eventos de anomalías, sólo dan a conocer lo sucedido a través de la información que captan los sensores instalados en los equipos. Dentro del proceso de repulpado del cemento de cobre, se ha identificado las principales etapas que intervienen en la obtención del producto final, y dentro de ello también se definieron los sensores que interactúan con mayor relevancia (ver Figura 26). La información que se logra recabar de estos sensores va a permitir conocer cómo se desarrolla el proceso, a la vez va a permitir el monitoreo de los principales parámetros operativos como son: temperatura de solución lixivante y presión de filtrado desde las etapas anteriores (purificación fría), hasta el filtrado del cemento de cobre que se está produciendo. Es necesario hacer énfasis en estos los parámetros de operación porque la principal razón de la existencia de los reprocesos es la falta de monitoreo de estos y que muchos de los eventos que conducen a la anomalía es básicamente por falla a pesar de que los sensores están recopilando la información de lo que está ocurriendo en el proceso. Para ello es importante detallar el rol que cumplen estos sensores dentro del proceso productivo del cemento de cobre, siendo:

Los sensores de temperatura ayudan a monitorear la eficiencia de reacción de la solución lixivante y a la vez aseguran la correcta separación del ión cobre (Cu), de la solución electrolítica, que a la larga nos definirán el porcentaje o grado de calidad del cemento a obtener.

- Los sensores de presión de filtrado, que básicamente van asegurar la correcta separación de sólido - líquido y la eliminación de la mayor cantidad de líquido presente en la formación de la torta de filtrado, desde la etapa de formación de la materia prima (purificación fría), hasta la obtención del cemento de cobre con

menos humedad posible., siendo esta etapa la que define el contenido de agua que contiene el cemento y que muchas veces en esta etapa es la que se presenta los reprocesos que afectan la entrega del producto terminado.

- Los sensores de pH, las que indican el grado de acidez de la solución lixivante, siendo muy determinante en la separación de los elementos metálicos.
- Los sensores de dosificación de O₂, son los que definen y aseguran la correcta oxidación del ion cadmio (Cd), que deben disolverse durante la etapa de repulpado de Cu y no interferir en la calidad del cemento de cobre (Cu).

Los sensores presión encontrados tienen los siguientes códigos: E2011, E2053 y E30001 (ver Figuras 23, 24 y 25), además su valor máximo no debe exceder los cinco bares: Estos sensores se encuentran sobre el Filtro de Prensa F-2000 (ver Figura 27), el cual se procederá a digitalizar.

Figura 23

Sensor E2011



Figura 24*Sensor E2053***Figura 25***Sensor E3001***Figura 26***Esquema de Digitalización*

El esquema de digitalización mostrado en el gráfico anterior describe:

- Fuentes de datos: los sensores de los equipos ya se encuentran conectados al SCADA de la operación, es desde ahí donde recopilaremos la información vía IoT para generar las mejoras en el proceso.
- Tratamiento de la información, se procede a modelar en la nube de IoT las acciones que se busca realizar.
- Esquema digital del equipo: con los sensores involucrados, dicha información se puede consultar desde cualquier dispositivo móvil como laptop, tablet o celular (ver Figura 27).
- Anomalías en la presión: la presión no debe exceder de 5 bares, cada vez que se exceda este valor, se muestran las anomalías, lo que se considera como sobre presión (ver Figura 28).

Figura 27

Gemelo Digital de F-2000

F-2000



**Anomalía
Detectada**



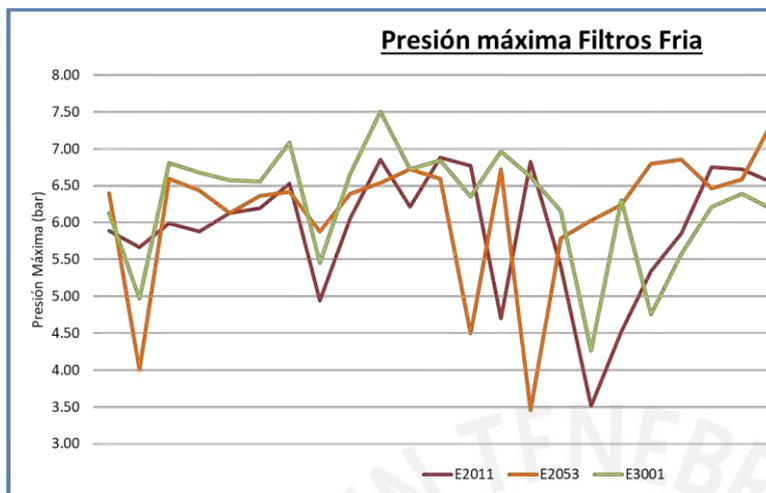
**Anomalía
Detectada**



**Anomalía
Detectada**

Figura 28

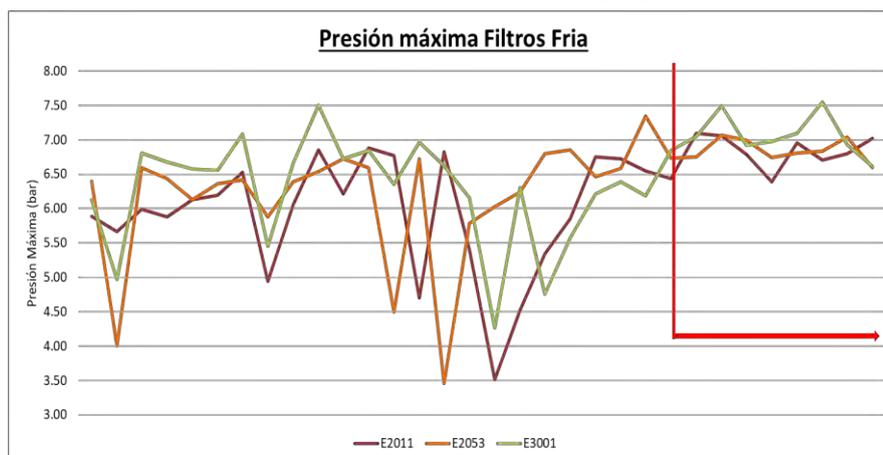
Detección de Anomalías de Presión Sensores: E2011, E2053 y E3001



- **Predicciones:** la solución no busca sólo medir eventos y mostrar información en tiempo real, sino también predecir fallas según el comportamiento de las mediciones, es decir, anticiparse a los eventos para ejecutar acciones preventivas. Como se muestra en el gráfico siguiente, se puede predecir el comportamiento de la presión en el filtro, en base a las lecturas acumuladas se predicen altas presiones, esto es lo mostrado en el lateral L de color rojo de la Figura 29.

Figura 29

Predicciones de Presión en Filtros



- Acciones Recomendadas: basadas en las predicciones se recomiendan acciones, en la consultoría se determinó que antes tanto las anomalías registradas como las predicciones se deriven al sistema de mantenimiento con el que cuenta la empresa, para emitir una orden de trabajo de inspección.

Con toda esta información se procedió a realizar una cotización al proveedor Conectsen, para poder valorizar la solución, la cual consiste en llevar la información de estos procesos a una nube de IoT y poder generar modelos de análisis predictivos con esta información; con ello anticiparse y reducir al máximo estas anomalías que generan los reprocesos



Capítulo VII: Plan de Despliegue de la Solución

Al momento de plantear las posibles soluciones, para los diferentes problemas que se presentan en la compañía Nexa, se ha tenido en consideración que la implementación de las mismas cuenta con diferentes fases o etapas. Por ello, en este capítulo se detalla y explica las diferentes etapas que se desarrollarán durante la implementación y cómo se abordará cada una de ellas.

7.1 Etapas de Implementación

Se considera aplicar una gestión de proyectos ágiles para la implementación de proyectos de tecnología, en este caso se considera implementar un sistema de monitoreo en nube, lo cual implica adquirir las suscripciones de dicha solución, es decir, no desarrollar desde cero la solución de software sino más bien adquirir una solución en nube. En las Figuras 30, 31, 32, 33 y 34 se muestran los detalles de la cotización del proveedor Conectsen, los cuales fueron tomados como base para el caso de negocio.

Figura 30

Propuesta de Implementación de monitoreo en línea en Nexa Resources (Monitoreo de Activos)



Figura 31

Propuesta de Implementación - Nube de Monitoreo de Activos

**Figura 32**

Propuesta de Implementación - Gestión de Anomalía



Figura 33

Propuesta de Implementación - Predicción de Anomalía

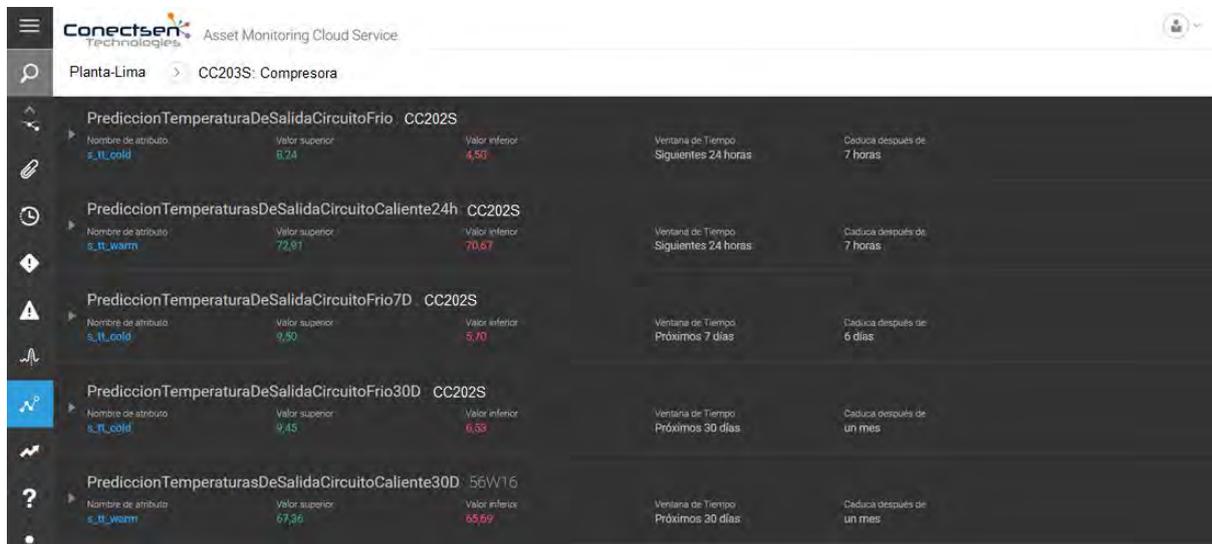


Figura 34

Propuesta de Implementación - Inversión de la Suscripción

Cotización para monitoreo de planta



El proveedor de la cotización señala que el proceso puede desarrollarse en una nube Oracle, Amazon o Microsoft, dado que el proveedor gestiona los precios de la suscripción con el dueño de la nube, la cotización incluye el precio promedio de una nube con capacidad de 2087 MB diarios. Con ello, se plantea que la implementación se realizará según las etapas, mostradas en la Figura 35.

Figura 35*Etapas*

Etapa 1. Planeamiento. En esta primera etapa se realizó el levantamiento de información, en las cuales se revisaron documentos como: procedimientos, planes, programas, fichas de procesos y data histórica. De igual forma se presentaron las principales consideraciones del proyecto, tales como: riesgos, factores claves de éxito, estructura organizacional, roles/responsabilidades, procedimientos y estándares de documentación que gobiernan la ejecución del proyecto.

De igual forma, se realizó una reunión inicial, con el fin de orientar al equipo completo hacia los objetivos del proyecto, además de coordinar y programar talleres de trabajo, y también es consensuado el plan de actividades detallado del proyecto (Gantt). En esta primera etapa, se consideran como entregables, los siguientes:

- Informe de diagnóstico del levantamiento de información.
- Se definen los roles que participan en el proyecto (ver Figura 36)
- Actas de reunión de cada sesión.
- Plan de Actividades (Gantt del proyecto).

Etapa 2. Diseño. Esta actividad consistió en evaluar los procesos que serán administrados por la solución además de definir las reglas de negocio. A su vez, se evaluó

toda la información o datos necesarios que requiere el sistema (interfaces con los equipos de producción) con el propósito de controlar, validar y medir cada uno de los procesos. El entregable de esta etapa es un documento de diseño que contiene:

- Reglas de negocio acordadas en sesiones de diseño.
- Detalle de los procesos (diagramas de flujo), incluyendo listado de actividades y responsables de cada una.
- Definición de las integraciones a realizar en todo el proceso (diagrama de integración).

Etapa 3. Configuración. Actividad donde ejecutaron talleres de trabajo con el equipo del cliente (usuarios clave), con el objetivo de transmitir todo el conocimiento necesario para administrar la herramienta de forma autónoma. Luego, junto con el cliente se parametrizó el sistema, de acuerdo con el diseño funcional consensuado en la fase anterior. La fase culmina con una certificación modular de la herramienta para verificar si los objetivos de la fase fueron alcanzados y obtener las aprobaciones correspondientes. El entregable de esta etapa lo conforman las actas de reunión sobre acuerdos que impacten el desarrollo del proyecto. La propuesta organizacional del proyecto se muestra a continuación en la Figura 37 indicando funciones y roles.

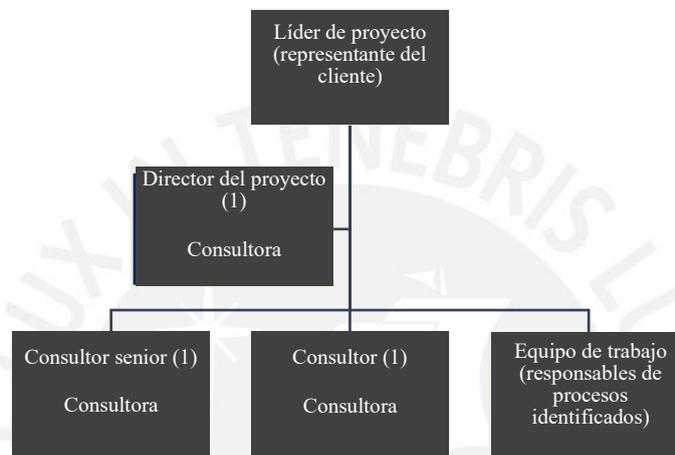
Etapa 4. Transición. El foco de esta actividad fue preparar, realizar y certificar todos los flujos diseñados de extremo a extremo entre la nueva herramienta y la arquitectura técnica del cliente. La fase finaliza con la preparación del material de entrenamiento para el personal administrativo y operativo del centro de distribución. En cuanto a los entregables para esta etapa, se detalla:

- Certificados digitales de aprobación y/o participación de cada capacitación brindada.

- Material en formato digital de todas las exposiciones.
- Materiales digitales para los talleres a realizar en el curso.
- Flujos de diseño del proyecto.

Figura 36

Roles del Proyecto



Etapa 5. Seguimiento. En esta fase, el nuevo sistema implementado es administrado y monitoreado de cerca hasta que la operación del negocio se haya estabilizado, aquí se realizan pruebas y se revisa y analiza data que ayude a comprobar que el sistema se encuentra en óptimas condiciones. Esta fase concluye, con la ejecución de apoyo post producción definido, obteniendo la aceptación final del servicio de consultoría y otros procesos relacionados.

7.2 Plan de Implementación y Presupuesto

Aunque se busca aplicar una metodología de implementación ágil del proyecto, no obstante, se debe considerar el detalle de las etapas antes mencionadas, en base a ello se identifican las siguientes tareas dentro del proyecto con su estimación en meses (ver Tabla 12). En la Figura 37 se muestra el diagrama Gantt tentativo, el cual fue validado por Nexa y oficializado hacia todos los involucrados en la implementación.

Tabla 12*Implementación de monitoreo en línea*

Etapa	Tarea	Duración (meses)
1. Planeamiento	1.1 Reunión de inicio	0.5
	1.2 Acta de inicio	
	1.3 Definición de roles y responsabilidades de la implementación	
	1.4 Presentación del Gantt del proyecto	
2. Diseño	2.1 Plan y ejecución de diagnóstico	1.0
	2.2 Evaluación de riesgos de la implementación	
	2.3 Revisión de los procesos operativos del cemento de cobre	
	2.4 Preparación y aceptación del documento de procesos a automatizar.	
3. Construcción	3.1 Configuración de sensores para el de monitoreo en línea – prueba 1	4.0
	3.2. Pruebas internas de monitoreo en línea – prueba 1	
	3.3. Registro de pruebas – prueba 1	
	3.4 Correcciones y ajustes a la prueba de monitoreo en línea – prueba 1	
	3.5 Preparación, ejecución, correcciones y ajustes de la prueba 2	
	3.6 Preparación de taller de prueba final	
	3.7 Ejecución prueba final	
	3.8 Correcciones y ajustes finales	
	3.9 Capacitación a usuarios finales: Toma de conciencia y formación	
	3.10 Despliegue del sistema implementado	
	3.1 Configuración de sensores para el de monitoreo en línea – prueba 1	
	3.2. Pruebas internas de monitoreo en línea – prueba 1	
	3.3. Registro de pruebas – prueba 1	
	3.4 Correcciones y ajustes a la prueba de monitoreo en línea – prueba 1	
3.5 Preparación, ejecución, correcciones y ajustes de la prueba 2		
3.6 Preparación de taller de prueba final		
3.7 Ejecución prueba final		
3.8 Correcciones y ajustes finales		
4. Transición	4.1 Configuración final monitoreo en línea	0.5
	4.2 Revisión y aprobación por la dirección	
5. Producción	5.1 Soporte post producción	1.0
	5.2 Cierre del proyecto	

Por otro lado, para cumplir con el presente proyecto de implementación de IoT, se necesitó de la siguiente inversión disgregada en los siguientes conceptos:

- Automatización de equipos a monitorear: Considera una inversión de alrededor de US\$49 mil anuales, el cual da acceso al uso de los servicios de nube, el pago anualizado, será por el plazo que se determine el contrato con el proveedor de nube. Este incluye, la conexión de los sensores de los equipos a la nube mediante software de conexión y el gestor de los modelos analíticos de las variables a monitorear.

Figura 37

Gantt Técnico Propuesto

Fase	Mes						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Planeamiento	■						
2. Diseño		■					
3. Construcción			■	■	■		
4. Transición						■	
5. Producción							■

- Consultoría de implementación y desarrollo de indicadores de control de producción: este servicio es un pago único anual de la implementación por concepto de los servicios de consultoría de implementación de monitoreo en línea, alrededor de US\$90,000, los cuales incluyen capacitación y soporte a usuarios finales de la solución.

7.3 Factores Clave de Éxito

Para lograr el éxito de la implementación consideramos el trabajar con métodos probados y eficaces, los cuales nos ayudaron a ahorrar tiempo en las pruebas realizadas y sobre todo a realizar una implementación con calidad, además de aprovechar los beneficios de la sinergia que genera el trabajo en equipo. De igual forma, se considera el control y monitoreo del proyecto, según se detalla a continuación:

Controles de proyecto. Se contemplan las siguientes actividades:

- Seguimiento del grado de avance del proyecto sobre la base de un plan y un cronograma de este.
- Presentación formal y periódica de informes.
- Comunicación clara y periódica con el equipo de proyecto.
- Procedimientos formales de resolución y generación de informes.
- Procedimientos formales de control de cambios.
- Procedimiento formal para la presentación, revisión y aprobación de los servicios a brindar.
- Planificación y administración de un control y una calidad eficaces.

Monitoreo y presentación de informes. Se presentará a los gerentes y jefes involucrados en el proyecto, informes periódicos de avance del proyecto. Los informes mostrarán información concisa y estarán orientados a cada tema y su solución.

Además, se indica a la gerencia general y el coordinador del proyecto que deberán reforzar con los colaboradores involucrados en la implementación, la urgencia del cumplimiento de tareas y pendientes, para que el sistema implementado pueda funcionar. Además de continuar con las reuniones de orientación, sensibilización y capacitación a los responsables de proceso, para que estén acorde a los lineamientos de la implementación.

Capítulo VIII: Resultados Esperados

Al término de la etapa de implementación, considerando que esta se realizaría en el tiempo señalado y siguiendo todas las pautas propuestas, se espera que los resultados sean favorables tanto a nivel financiero como operativo. Por ello, en el presente capítulo se mostrarán dichos resultados esperados.

8.1 Recuperación de la Inversión

Para el análisis financiero era necesario conocer las desviaciones en el proceso productivo que afectan a la valorización del producto final; para este fin se analiza la línea de cemento de cobre (Cu). En la Tabla 13 se muestra los resultados de las mediciones diarias de cada una de las variables principales que impactan en las ventas.

Tabla 13

Datos Diarios de la Producción de Cemento Cobre (Cu)

Fecha	REAL					META			
	TMH	H ₂ O (%)	TMS	Cu (%)	As (%)	TMS	H ₂ O (%)	Cu (%)	As (%)
1-May	37.1	39.5%	22.5	59%	3.3%	25.1	35.0%	60%	2.5%
2-May	35.2	38.6%	21.6	59%	2.4%	25.1	35.0%	60%	2.5%
3-May	33.3	43.3%	18.9	63%	3.1%	25.1	35.0%	60%	2.5%
4-May	39.2	49.2%	19.9	69%	2.0%	25.1	35.0%	60%	2.5%
5-May	39.2	49.2%	19.9	69%	3.0%	25.1	35.0%	60%	2.5%
6-May	35.7	45.7%	19.4	66%	2.5%	25.1	35.0%	60%	2.5%
7-May	33.1	43.1%	18.8	63%	1.9%	25.1	35.0%	60%	2.5%
8-May	7.3	22.7%	5.7	43%	2.5%	25.1	35.0%	60%	2.5%
9-May	31.7	41.7%	18.5	62%	2.5%	25.1	35.0%	60%	2.5%
10-May	36.4	39.2%	22.2	59%	3.0%	25.1	35.0%	60%	2.5%
11-May	31.9	41.9%	18.5	62%	2.7%	25.1	35.0%	60%	2.5%
12-May	34.5	44.5%	19.2	65%	2.3%	25.1	35.0%	60%	2.5%
13-May	33.2	43.3%	18.9	63%	2.0%	25.1	35.0%	60%	2.5%
14-May	35.7	45.7%	19.4	66%	2.5%	25.1	35.00%	60%	2.5%
15-May	33.8	43.8%	19.0	64%	2.6%	25.1	35.00%	60%	2.5%
16-May	36.2	39.1%	22.1	59%	2.9%	25.1	35.00%	60%	2.5%
17-May	31.1	41.1%	18.3	61%	2.9%	25.1	35.00%	60%	2.5%
18-May	17.1	29.1%	12.1	49%	2.9%	25.1	35.00%	60%	2.5%
19-May	27.3	34.8%	17.8	55%	2.6%	25.1	35.00%	60%	2.5%
20-May	21.8	31.9%	14.8	52%	2.6%	25.1	35.00%	60%	2.5%
21-May	27.7	35.0%	18.0	55%	2.8%	25.1	35.00%	60%	2.5%
22-May	38.3	40.0%	23.0	60%	3.8%	25.1	35.00%	60%	2.5%
23-May	26.7	34.5%	17.5	54%	3.3%	25.1	35.00%	60%	2.5%
24-May	15.3	28.0%	11.0	48%	2.8%	25.1	35.00%	60%	2.5%
25-May	34.1	38.1%	21.1	58%	2.9%	25.1	35.00%	60%	2.5%
26-May	5.1	21.0%	4.0	41%	2.8%	25.1	35.00%	60%	2.5%
27-May	25.1	33.6%	16.6	54%	2.4%	25.1	35.00%	60%	2.5%
28-May	13.5	26.9%	9.9	47%	2.7%	25.1	35.00%	60%	2.5%
Total	787.9	38.0%	488.5	58.0%	2.70%	703.0			

(*) Nota. Tomado de “Reporte diario de operaciones, PCP,” por Nexa Resources Cajamarquilla

Donde:

- Toneladas métricas húmedas (TMH)
- Humedad (% H₂O)
- Toneladas métricas secas (TMS)
- Contenido de cobre (% Cu)
- Contenido de arsénico (% As).

De estas variables y sus respectivos valores meta los cuales de ser alcanzados significaría que el producto se puede vender al precio real de mercado

- Humedad (% H₂O) => valor meta 35%
- Contenido de cobre (% Cu) => valor meta 60%
- Contenido de arsénico (% As). => valor meta 2.5%
- Toneladas métricas secas (TMS) => valor meta 25.1 diario, 703 mensual

Si se contrasta esto con los valores reales mensualizados, se observa en Tabla 14 las diferencias entre lo real y meta:

Tabla 14

Diferencias Mensuales Producción Cemento de Cobre (Cu)

Parámetro	Valor Real	Valor Meta	Diferencia
Humedad (% H ₂ O)	38.00%	35.00%	3.00%
Toneladas métricas secas (TMS)	488.50	703.00	-214.50
Contenido de cobre (% Cu)	58.00%	60.00%	-2.00%
Contenido de arsénico (% As).	2.70%	2.50%	0.20%

Con este análisis es posible entender del por qué se pierden ventas del producto cemento de cobre (Cu); en el cual se muestra que el producto final contiene valores fuera de especificación al contener mayor humedad (% H₂O) y un mayor del contaminante arsénico (%As). Esto influye directamente en el valor final de venta de producto, dado que reduce las

toneladas métricas pagables. Como se muestran en los cálculos realizados en la Tabla 15, se tenía una meta de toneladas métricas pagables de 355.7 sin embargo se obtuvo un valor final de 239. Esto reduce drásticamente el valor final de venta al tener una diferencia de un millón de dólares americanos entre el valor real y el valor meta de ventas.

Tabla 15

Diferencia entre Valores Meta y Reales Cemento de Cobre (Cu)

Concepto	Valorización	
	Meta	Real
Contenido de cobre (% Cu)	60	58
Contenido de arsénico (% As)	2.50	2.70
Humedad (% H ₂ O)	35	38
Merma	0.8	0.8
Factor de recuperación	85	85
Valor por tonelada (US\$) (a)	8,900	8,900
Costo de maquila de producir (fundir y/o refinar) una tonelada métrica seca (US\$)	170	170
Toneladas métricas húmedas	1,081.5	787.9
Toneladas métricas secas	703.0	488.5
Toneladas métricas netas secas	697.5	484.7
Toneladas métricas finas	418.5	281.1
Toneladas métricas finas pagables (b)	355.7	239.0
Valor del concentrado de cobre (US\$) (c) = (axb)	3'166,031	2'126,714
Costo total de maquila (US\$) (d)	118,578	82,399
Escaladores (costo de la maquila con respecto a la cotización internacional (US\$) (e)	13,252.83	9,209
Penalidad (elementos que ocasionan dificultades en los procesos mineros) (f)	0	1,454
Nuevo valor del concentrado de cobre (US\$)(c-d-e-f)	3'034,200	2'033,652
Diferencia (US\$)		1'000,548

En resumen, si se valoriza el cemento de cobre (Cu) que se produce en la refinería en un mes de producción, que incluye rechazos por calidad de producto (reprocesos) se obtienen: 787.9 toneladas métricas húmedas (TMH) de cemento de cobre (Cu), cuyo contenido es del 58% en cobre (Cu), 2.7% de arsénico (As) y con una humedad del 38% en promedio. Su valor económico de acuerdo con los términos comerciales al que está afecto por: contenido fino, porcentaje de contaminantes (penalizaciones), contenido de agua que

influye en el transporte y que son materia estipulada dentro de los términos comerciales, se obtiene un valor económico de \$ 2'033,652 dólares. Pero si este producto es bien contralado desde un inicio, sin reprocesos, con valores dentro del rango comercial, es decir en contenido de cobre (Cu), menor porcentaje de contaminantes (Arsénico (As) < 2.5%) y menor porcentaje de humedad, ello permite tener una producción diaria de manera uniforme. Al cierre del mes se obtendría un mayor volumen y por ende un mejor valor económico llegando a valores de \$ 3'166,031 dólares. Esta diferencia de un millón de dólares mensuales que se pierde debido a no tener un control de parámetros bien establecidos y monitoreados, ocasionando pérdidas con impactos económicos negativos, son el principal sustento y razón de la consultoría.

Para el análisis económico de los beneficios de la consultoría se tuvo como base los estudios de la consultora McKinsey, que indica que el uso de este tipo de tecnologías (Internet de las Cosas) reduce a un 50% las paradas de máquina, aumenta la productividad y calidad en un 90%, reduce los tiempos de entrega entre 10 a 80%, mejora la precisión de configuración de máquinas en 15 a 20% además incrementa hasta un 50% la eficiencia en el uso de energía. Para ello, según lo indicado, existe una pérdida de ventas de un millón de dólares mensuales debido a producción fuera de especificaciones comerciales, si se toma como base este valor el monto que deja de percibir Nexa sería de doce millones de dólares anuales. Sin embargo, sólo se considera que se puede recuperar diez millones de dólares anuales, y no los doce, al considerar que los valores venta podrían cambiar por efectos de mercado de minerales y con un beneficio conservador del 4% que es lo que se estima que podría mejorar la productividad de la línea de cemento de cobre(Cu). Es decir, se buscó penalizar al máximo el modelo para demostrar que la inversión es rentable, con ello se puede estimar un beneficio anual de US\$400 mil anuales, esta será la base para el flujo de caja anual (ver Tabla 16). Además, en la Tabla 17, se muestra como resumen el análisis vertical y

horizontal de los estados financieros expresados en miles de dólares se debe precisar que el costo de producción esta embebido en el costo de ventas.

Tabla 16

Ahorros Proyectados

Concepto	Valor
Costo de producción a recuperar anual (US\$)(a)	10'000,000
Beneficio pragmático (%) (b)	5.0
Beneficio conservador (%) (c)	4.0
Beneficio escenario conservador (USD)(axc)	400,000

Tabla 17

Análisis Vertical y Horizontal de Estado de Resultados de Nexa Resources (Miles US\$)

Concepto	Análisis (%)					
			Vertical		Horizontal	
	2022	2021	2022	2021	2021	2022
Ventas netas	892,389	828,571	100.0	100.0		7.2
Costo de ventas	-557,849	-507,801	-62.5	-61.3		9.0
Utilidad bruta	334,540	320,770	37.5	38.7		4.1
Gastos de administración y ventas	-33,247	-30,166	-3.7	-3.6		9.3
Total gastos operativos	-33,247	-30,166	-3.7	-3.6		9.3
EBITDA	301,293	290,604	33.8	35.1		3.5
Depreciación y amortización	-80,879	-77,788	-9.1	-9.4		3.8
Utilidad operativa	220,414	212,816	24.7	25.7		3.4
Gastos financieros	-27,103	-21,247	-3.0	-2.6		21.6
Utilidad antes de impuestos	193,311	191,569	21.7	23.1		0.9
Impuesto a la renta	57,993	57,471	6.5	6.9		0.9
Utilidad (pérdida) neta	135,318	134,098	15.2	16.2		0.9

Nota. EBITDA = *Earnings before interest taxes depreciation and amortization* [Beneficio bruto de explotación calculado antes de deducir los gastos financieros].

Como se puede apreciar el costo de ventas es alrededor de 62% de la utilidad, con ello sí se logra optimizar los costos productivos usando las tecnologías de IoT como base, se puede lograr optimizar estos costos en un 4% (se mantiene el mismo esperado de la línea de cemento de cobre), y si se logra ello, se puede obtener lograr un ahorro significativo de 22 millones de dólares anuales. Esto considerando que no exista un crecimiento significativo en

los próximos años en el rubro minero, además si se considera el ahorro potencial que se puede lograr sólo en base al cemento de cobre donde se puede lograr hasta 10 millones adicionales en valor de venta de lograr los grados de calidad deseados, se puede considerar que se puede mejorar el beneficio bruto de explotación calculado antes de deducir los gastos financieros (EBITDA, por sus siglas en inglés) en 3%.

Como se puede apreciar los resultados son considerables para el negocio además el uso de los datos recopilados representa múltiples oportunidades de mejora para el negocio que, si bien no son parte de esta consultoría de negocios, se pueden mencionar como, por ejemplo: obtención de métricas del estado de las máquinas como disponibilidad, rendimiento, efectividad total de los equipos (ETE), tiempos de inactividad, tiempo medio entre fallas.

Lo cual conlleva a oportunidades para el negocio como:

- Modelos de mantenimiento predictivo;
- Reducción de tiempo de inactividad o paradas no planificadas hasta un 50%;
- Mejoras en la eficiencia productiva;
- Extrapolación de uso no solo a los equipos de producción sino también a los equipos pesados de extracción minero;
- Extrapolación al uso de trabajadores conectados para evitar accidentes; y
- Además de algunos beneficios más difíciles de monetizar pero que pueden ser percibidos como mejores condiciones laborales por capacitación tecnológica y capacitación continua.

8.2 Resultados Esperados del Despliegue

Para obtener los costos de implementar la solución, se tomó como base una cotización de la empresa Conectsen, para este fin se tuvo una reunión con su director Dino Sifuentes, quien brindó los montos que requeriría Nexa Resources para este proyecto (ver Tabla 18), aunque estos montos son aproximados, para el caso de este negocio son representativos.

Además, en el monto de consultoría e implementación se incluye la capacitación sobre el uso de la solución de monitoreo de activos de IoT.

Tabla 18

Inversiones Detalle (US\$)

Año	Inversión	
	Automatización de equipos a monitorear en línea de producción	Consultoría de implementación y desarrollo de indicadores de control de producción
0	49,000	90,000
1	49,000	0
2	49,000	0
3	49,000	0
4	49,000	0
5	49,000	0

Con ello se tiene el flujo de caja (ver Tabla 19), se considera para el año uno un beneficio del 50% por la curva de aprendizaje y se tomó un crecimiento anual de 4%. El Valor Presente Neto (VPN) y Retorno de la Inversión (ROI) se detallan en la Tabla 20.

Tabla 19

Flujo de Caja (US\$)

Año						
0	1	2	3	4	5	
-139,000	-49,000	-49,000	-49,000	-49,000	-49,000	
0	200,000	416,000	432,640	449,946	467,943	

Tabla 20

Resultados

Indicador	Valor
Período de recuperación (meses)	11
VPN (US\$)	1'327,204
ROI (%)	412

Nota. VPN = Valor presente neto. ROI = *Return on investment* [Retorno de la inversión].

En síntesis, se recupera la inversión en un plazo de 11 meses, con un valor presente neto a cinco años mayor a 1.3 millones de dólares americanos con 4.12 veces el retorno de la

inversión; con ello se demuestra que el proyecto es además de viable altamente beneficioso para el negocio.

Capítulo IX: Conclusiones y Recomendaciones

Luego de haber realizado el análisis interno y externo de la compañía Nexa, haber revisado los procesos por donde pasa y es sometido el cemento de cobre (Cu) y detallar como se realizaría la implementación de la posible solución, se obtuvo las siguientes conclusiones, las cuales se considera que serán de gran utilidad para la compañía Nexa.

9.1 Conclusiones

- 1 En la presente investigación se pudo identificar que, realizando un estudio a profundidad e identificando el dolor real de los usuarios, es posible plantear soluciones que ayuden a reducir los riesgos e incrementar las oportunidades, que pueden ayudar a las empresas a tomar decisiones positivas, tanto a nivel corporativo, ambiental y de clima laboral.
- 2 Se comprueba el impacto positivo de la tecnología no solo en la optimización de procesos, sino también como un impacto positivo social para el medio ambiente al mejorar el uso de recursos naturales sin desmedro del beneficio de todos los grupos de interés del negocio.
- 3 Si bien es importante conocer el mercado y su comportamiento es importante conocer el flujo operativo principal de la empresa porque es en este dónde se pueden obtener eficiencias y reducción de costos directas que vuelven más competitivos en el mercado.
- 4 Contar con un mapa de procesos bien estructurado es importante para poder identificar con mayor facilidad los problemas futuros y tomar las medidas correctivas, en el caso de Nexa Resources (Cajamarquilla), se cuenta con el área de gestión de calidad que, a través de indicadores de gestión, ayudan en la identificación de estos.

- 5 El presente trabajo muestra cómo a través de diversas herramientas se pueden proponer alternativas de solución, para ayudar a los usuarios con su dolor y de esta manera cubrir sus expectativas y sobre todo atender y mitigar el dolor que presenten.

9.2 Recomendaciones

- 1 El poder valerse de empresas consultoras especializadas en temas de tecnología, tema muy en auge en estos tiempos, ayudaría a las empresas a optimizar sus procesos y por ende su rentabilidad. Por ello, sería de gran ayuda el que las empresas puedan considerar dentro de sus presupuestos anuales, el trabajar con empresas como Nexa, de manera que sus procesos productivos y mantenimiento de maquinarias puedan cumplir con los estándares que exige el mercado actualmente.
- 2 El uso de tecnologías como la que se está proponiendo dentro de un proceso productivo, permite poder tener un reporte en tiempo real y con ello se puede predecir y/o anticiparse a posibles fallas que podrían afectar la obtención de los productos finales.
- 3 Si bien se muestra un beneficio monetario para el negocio, se recomienda también considerar los beneficios en el ámbito de capacitaciones, medio ambiente, seguridad entre otros que se generan del uso de las tecnologías, dado que si bien el beneficio principal es evitar los reprocesos también es cierto que esto conlleva al mejor uso de los recursos como por ejemplo el agua lo cual genera un impacto positivo en el medio ambiente, además desde un punto de vista de seguridad implica la eliminación o reducción a casi cero de inspecciones manuales siendo que este tipo de inspecciones representan riesgo en la seguridad de las personas involucradas en el proceso productivo.

Referencias

Banco Central de Reserva del Perú. [BCRP] (2022). *Actividad económica: Diciembre 2021: Resumen*. (Notas de estudios del BCRP No 12).

<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2022/nota-de-estudios-12-2022.pdf>

Banco Central de Reserva del Perú. [BCRP] (2023). *Reporte de inflación 2023*.

<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2023/setiembre/reporte-de-inflacion-setiembre-2023.pdf>

Banco Mundial (2021). *Diagnóstico del sector minero: Perú*.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/463211632474174919/pdf/Peru-Mining-Sector-Diagnostic.pdf>

Betti, F., De Boer, E., & Giraud, Y. (2020). *Industry's fast-mover advantage: Enterprise value from digital factories*. McKinsey & Company.

<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/industrys-fast-mover-advantage-enterprise-value-from-digital-factories>

Behrendt, A., De Boer, E., Kasah, T. & Koerber, B. (2021). *Niko Mohr, and Gérard Richter A manufacturer's guide to scaling Industrial IoT*. McKinsey & Company.

<https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/a-manufacturers-guide-to-generating-value-at-scale-with-industrial-iot>

ComexPerú. (2022, 1 de julio). *¿Qué impacto tendría la desaceleración china sobre la economía peruana?* <https://www.comexperu.org.pe/articulo/que-impacto-tendria-la-desaceleracion-china-sobre-la-economia-peruana>

Constantini, X., Fookes, W., Neise, P., Pujol, F., Rubinstein, B., & Sivecas, G. (2022). *How mining companies reach the operational excellence gold standard* [Cómo las empresas mineras alcanzan el estándar de excelencia operativa]. McKinsey & Company.

<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/how-mining-companies-reach-the-operational-excellence-gold-standard#/>

Cruz, E. (2022, 11 de octubre). El cobre cae por el temor a una recesión y el fortalecimiento del dólar. *Rumbo Minero*. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/cobre-temor-a-recesion-y-fortalecimiento-dolar/>

Egan, M. (2022, 15 de agosto). *El miedo a la recesión estadounidense choca con la realidad*. CNN. <https://cnnespanol.cnn.com/2022/08/15/analisis-recesion-estadounidense-choca-realidad-trax/>

Instituto de Ingenieros de Minas del Perú [IIMP] (2023). *Avances en tecnología aplicada a la minería peruana*. iimp.org.pe

Manyica, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). *The internet of things: Mapping the value beyond the hype: Executive summary* [Internet de las cosas: Mapeando del valor más allá de las exageraciones: resumen ejecutivo]. McKinsey & Company.

https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/high%20tech/our%20insights/the%20internet%20of%20things%20the%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/unlocking_the_potential_of_the_internet_of_things_executive_summary.pdf

Ministerio de Energía y Minas. [MINEM] (2023). *Reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero*.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3442726/REXPLOT%202023.pdf?v=1682099039>

Ministerio de Energía y Minas. [MINEM] (2022). *Minería, motor de la economía: Canon minero para regiones alcanza récord histórico (Boletín estadístico minero No 06-2022)*.
<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/2022/BEM06-2022.pdf>

Nexa Resources. (s.f.-a). *Sobre nosotros*. Recuperado el 24 d diciembre de 2022, de
<https://www.nexaresources.com/es/sobre-nosotros/>

Nexa Resources. (s.f.-b). *Cajamarquilla*. Recuperado el 24 de diciembre de 2022, de
https://ri.nexaresources.com/operations_smelting/cajamarquilla/

Nexa Resources Perú. (2022). *Memoria anual: Nexa Resources Perú S.A.A. 2021*.
<https://www.smv.gob.pe/ConsultasP8/temp/Memoria%20de%20Nexa%20Peru%20VF.pdf>

Oracle. (s.f.-a). *Configure an Oracle IoT production monitoring cloud service application* [Configurar una aplicación de servicio en la nube de monitoreo de producción de Oracle IoT]. Recuperado el 15 de setiembre de 2023, de
<https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/iot-production-cloud/tutorial-configuring-production-monitoring/>

Oracle. (s.f.-b). *Using Oracle internet of things production monitoring cloud service: Use anomalies to track deviations in machines and factories* [Uso del servicio en la nube de monitoreo de producción de Internet de las cosas de Oracle: use anomalías para rastrear desviaciones en máquinas y fábricas]. Recuperado el 15 de setiembre de 2023, de
<https://docs.oracle.com/en/cloud/saas/iot-production-cloud/iotpp/use-anomalies-track-deviations-machines-and-factories.html#GUID-21951708-B095-4463-992E-8AF9B05A6965>

Oracle. (2020). *Titan International: Case study* [Titan Internacional: Estudio de caso].

<https://www.oracle.com/a/ocom/docs/applications/scm/iot-case-study-titan-international.pdf>

Teck. (s.f.). *Operaciones*. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de

<https://www.teck.com/operations-es/>

Villar, P. (2023). *Crecimiento de la minería fue clave para Perú en la primera mitad de este 2023*. bloomberglinea.com.



Apéndice A: Objeto y Modelo de Entrevista

Objeto de la Entrevista: ¿Para Qué?

Para conocer el proceso productivo, sus puntos de control relevantes y los dolores que pueden tener en la ejecución de la producción; además de recoger el sentir de los usuarios y los aportes para poder resolver el problema, considerando que ellos lo viven día a día.

Tabla A1

Modelo de Entrevista

Pregunta	Descripción	Sustento
1	¿Cuál es su nombre completo y su edad?	Conocer su identidad
2	¿Es casado? ¿Tiene hijos? De responder Sí, preguntar: ¿Vive con ellos?	Conocer su composición familiar
3	¿Dónde vive y como se traslada hacia su centro de trabajo?	Conocer su lugar de residencia y la forma como se moviliza a diario a sus centro laboral
4	¿Qué le gusta hacer en sus tiempos libres?	Conocer sus pasatiempos
5	Con la llegada con la pandemia ¿Cómo cambio su rutina?	Conocer el impacto generado
6	Los fines de semana ¿A qué lugares suele ir con su familia, amigos, etc? (Por ejemplo; restaurantes, playa, jugar futbol, etc.?)	Conocer sus distracciones favoritas
7	¿Qué lo motiva día a día?	Conocer sus motivaciones que le llevan a seguir adelante
8	¿A qué persona admira?	Identificar el modelo de persona a seguir
9	¿Cuántos años llevan trabajando en la empresa?	Conocer su experiencia laboral
10	¿Qué proyecciones y/o oportunidades cree que tenga en la empresa, en referencia a línea de carrera?	Conocer sus aspiraciones
11	¿Por favor, cuénteme como es un día de trabajo común en su área y cuáles son sus tareas?	Conocer el proceso de su trabajo.
12	¿De las tareas que realiza cuales son las más y menos complejas?	Empezar a identificar donde puede iniciar el problema.
13	¿De las tareas complejas cuales son los puntos de control más relevantes?	Identificar si tienen claro dichos puntos de control y cómo actúan ante ellos.
14	¿Qué es lo que más le gusta de las tareas complejas? ¿Qué le gustaría cambiar?	Conocer si son conscientes que tienen que estar atentos en todos los puntos del proceso de producción.
15	¿Me puede indicar como hace la supervisión de los puntos de control relevantes?	Revisar si sigue los lineamientos establecidos para dicho punto.
16	¿De todas sus actividades de supervisión cuales son manuales y cuáles automáticos?	Identificar si tiene claro la diferencia entre los procesos de supervisión.
17	Si tuviera la posibilidad de escoger en realizar actividades manuales o automáticas, ¿Cuál escogería?	Conocer sus gustos en cuanto a formas de trabajo.
18	¿Qué actividad de supervisión realizó la última vez que le impresionó más?	Evaluar si tal vez puede ser transferido a otra parte del proceso, de manera que contribuya al mejor funcionamiento, evitando errores.
19	¿De los puntos de control manuales cuales cree u que son los más críticos para el resultado final?	Conocer el proceso
20	¿Cuál de estos puntos de control críticos cree u que le demandan más tiempo de supervisión?	Conocer el tiempo empleado en el desarrollo de las actividades
21	¿Como cree Ud. que se podría ayudar a mejorar estos puntos de control críticos?	Identificar oportunidades de mejora que permitan conocer el proceso
22	¿Cree Ud. que es un punto de dolor los reprocesos en el producto final o la existencia de mermas?	Conocer la perspectiva del usuario desde el punto de vista como potencial cliente.

Apéndice B: Encuesta de Satisfacción: Actitudes Hacia trabajar con Sistemas

Interconectados en Línea

I. Datos generales

1. Cuantos años tiene: _____ 2. Sexo: _____
 () Masculino () Femenino
3. Rol dentro de la actividad laboral: _____ 4. Nivel educativo _____
 () Supervisor () Superior
 () Operario () Secundaria

II. Opinión sobre realizar actividades operativas con sistemas interconectados en línea

A continuación, se presenta una escala de valoración del 1 al 5, donde el 1 significa una tarea muy difícil y 5 una tarea muy fácil de realizar

5. Reportar los tiempos de agitación, le resultó:

Muy difícil	1	2	3	4	5	Muy fácil
-------------	---	---	---	---	---	-----------

6. Graficar la tendencia de humedad, le resultó

Muy difícil	1	2	3	4	5	Muy fácil
-------------	---	---	---	---	---	-----------

7. Conocer las horas de operación de los equipos, le resultó:

Muy difícil	1	2	3	4	5	Muy fácil
-------------	---	---	---	---	---	-----------

8. Realizar el inventario de productos terminados, le resultó

Muy difícil	1	2	3	4	5	Muy fácil
-------------	---	---	---	---	---	-----------

9. Realizar un seguimiento al desgaste de los equipos, le pareció:

Muy difícil	1	2	3	4	5	Muy fácil
-------------	---	---	---	---	---	-----------

10. Organizar el plan de atención de los equipos, le resultó:

Muy difícil	1	2	3	4	5	Muy fácil
-------------	---	---	---	---	---	-----------