



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DESARROLLO PLATAFORMA DE MONITOREO Y CONTROL
DE INDICADOR DE CALIDAD DE PRODUCCION**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

CARLOS ALBERTO ESPINOZA DURAN

**PROFESOR GUÍA
JUAN PABLO ZANLUNGO MATSUHIRO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
IVÁN BRAGA CALDERÓN
JACQUES CLERC PARADA**

**SANTIAGO DE CHILE
2015**

RESUMEN

La Gerencia de Operaciones de Minera Esperanza, responsable del cumplimiento del plan de producción anual, y que éste se cumpla con los mejores estándares de seguridad y dentro del presupuesto asignado, ha apoyado la generación de este estudio para la construcción de un indicador que permita evaluar la calidad del cumplimiento del plan de producción y entregue herramientas para la toma oportuna de decisiones y que permita resumir el desempeño de las actividades principales del área.

La implementación del indicador de calidad de Producción (ICP) se realizó en una plataforma de panel de control basado en herramientas de inteligencia de negocios (Microstrategy), que permitió la correcta visualización del indicador sintético creado. Para la construcción del indicador ICP se utilizó la metodología propuesta por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). Este indicador agregó componentes o sub-indicadores, tales como “Costo Directo Producción (C1)” (aspecto costos), “Cumplimiento Producción %” (aspecto producción) e “Índice Gravedad” (seguridad).

El indicador compuesto resultante, denominado “ICP” (Índice Calidad de Producción) permitió evaluar el desempeño mensual del área de producción, poder efectuar comparaciones entre periodos y relevar tendencias que permitan tomar decisiones y ejecutar acciones de mejora continua y cumplimiento de directivas estratégicas de la compañía. Aspectos relevantes del indicador tiene que ver con la posibilidad de mostrar el impacto en la calidad del cumplimiento, cada vez que el proceso productivo se ve afectado por accidentes graves o fatales y mostrar que la afectación es relevante y que toma meses de recuperación.

Producto de lo anterior se logró definir rangos de operación del indicador para facilitar la toma de decisión temprana para el cambio de tendencia.

Para la implementación de este indicador compuesto (ICP), se diseñó y construyó un panel de control, mediante la utilización de la herramienta de Inteligencia de Negocios Microstrategy, empleando como almacén central de información una base de datos denominada “Datawarehouse”. Este almacén permite disponer de los datos requeridos para la obtención de los atributos (conceptos de información) y métricas (valores numéricos) relevantes para el diseño del panel. Esta herramienta, permite adicionalmente, desplegar información más detallada de los variables claves que componen el indicador o de nivel aún más inferiores.

Los beneficios esperados de su implementación provienen de la difusión clara de un valor de desempeño (ICP), que permita comprender claramente el desempeño global del área en el tiempo (junto a su tendencia), con el objeto de tomar las acciones adecuadas para la remediación de las condiciones y desempeños no deseados.

A mi amada esposa Evelyn, por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para
alcanzar nuevas metas y tomar nuevos desafíos

A mis adorados hijos Benjamin, Florencia y Amanda, por la paciencia con el tiempo
invertido en estos estudios

TABLA DE CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES	1
2.	INTRODUCCIÓN.	2
2.1.	OBJETIVOS	4
2.2.	METODOLOGIA	4
3.	MARCO CONCEPTUAL	6
3.1.	MARCO TEORICO.....	7
3.2.	SELECCIÓN DE DATOS	7
3.3.	CONSIDERACION DE DATOS FALTANTES.....	7
3.4.	ANALISIS MULTIVARIANTE	8
3.4.1.	ANALISIS DE COMPONENTE PRINCIPALES (ACP)	8
3.4.2.	ANÁLISIS FACTORIAL.....	9
3.4.3.	COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH.....	10
3.5.	NORMALIZACIÓN	11
3.5.1.	RANKING.....	11
3.5.2.	ESTANDARIZACIÓN (Z-SCORE).....	11
3.5.3.	MIN-MAX.....	12
3.5.4.	DISTANCIA A VALOR DE REFERENCIA.....	12
3.6.	PONDERACIÓN Y AGREGACIÓN.....	14
3.6.1.	PONDERACIÓN	14
3.6.2.	AGREGACIÓN	15
3.7.	ANÁLISIS DE ROBUSTEZ Y SENSIBILIDAD.....	17
3.8.	ENLACES A OTROS INDICADORES.....	18
3.9.	VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.....	18
4.	DESARROLLO INDICADOR COMPUESTO.....	19
4.1.	MARCO TEÓRICO.....	19
4.2.	SELECCIÓN DE DATOS	21
4.3.	CONSIDERACIÓN DE DATOS FALTANTES	22
4.4.	ANÁLISIS MULTIVARIANTE	22
4.5.	NORMALIZACIÓN	24
4.6.	PONDERACIÓN-AGREGACIÓN	27
4.7.	VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS – CONCLUSIONES	29
5.	DESARROLLO PANEL DE CONTROL.....	32
6.	IMPLEMENTACIÓN INTELIGENCIA DE NEGOCIOS	41
6.1.	RELEVAMIENTO INICIAL Y DETALLADO	41
6.2.	ESTUDIO DE COMPONENTES	41
6.3.	DISEÑO DE MODELO CONCEPTUAL - DATAWAREHOUSE	42
6.4.	EXTRACCIÓN, TRANSFORMACIÓN Y CARGA.....	46
6.5.	DISEÑO DE OBJETOS.....	47
6.6.	CREACIÓN DE REPORTES BÁSICOS.....	49

6.7.	PROCESOS DE REVISIÓN DE DATOS Y PRUEBAS DE INTEGRIDAD	52
6.8.	CAPACITACIÓN DE USUARIOS.....	53
6.9.	PRESENTACIÓN FINAL Y CIERRE	53
7.	IMPLEMENTACIÓN ORGANIZACIONAL – RECOMENDACIONES	54
7.1.	BENEFICIOS ESPERADOS	54
8.	CONCLUSIONES.....	56
9.	BIBLIOGRAFIA	59

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1 : Métodos de Normalización- Resumen.....	13
Tabla N° 4.1: Cálculo Alfa de Cronbach.....	23
Tabla N° 4.2: Cálculo de normalización - indicadores año 2013.....	26
Tabla N° 4.3: Valores de referencia año 2013	26
Tabla N° 4.4: Valores ICP, Años 2013-2014	28
Tabla N° 5.1: Evolución Mensual ICP - Subindicadores.....	38
Tabla N° 6.1 : Almacenamiento del atributo “año”.....	43
Tabla N° 6.2: Almacenamiento del atributo “mes”	44
Tabla N° 6.3: Almacenamiento del atributo “Concepto Costo”	44
Tabla N° 6.4: Almacenamiento de hechos, a nivel mensual	45
Tabla N° 6.5: Almacenamiento de hechos, a nivel mensual y por concepto de costo....	46
Tabla N° 6.6: Documentación de datos específicos de campos de Datawarehouse.....	47

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura N° 1.1: Ubicación de Minera Esperanza	1
Figura N° 4.1: Indicador Compuesto ICP, agregación lineal	29
Figura N° 4.2: Indicador ICP ordenado según valor índice	29
Figura N° 4.3: Valores indicadores según ranking	30
Figura N° 4.4: Rangos de valores ICP	31
Figura N° 5.1: Esquema de Implementación solución Inteligencia de Negocios	35
Figura N° 5.2: Pantalla Principal Panel de Control ICP	37
Figura N° 5.3: Evolución ICP	39
Figura N° 5.4: Comportamiento mensual ICP componentes	39
Figura N° 5.5: Componentes Costos C1	40
Figura N° 5.6: Componentes KPI Seguridad	40
Figura N° 6.1: Diagrama de Entidad-relación de estructura física del datawarehouse,..	43
Figura N° 6.2: Esquema Informe 1 de Evolución Mensual ICP	50
Figura N° 6.3: Esquema Informe 2 de componentes Costos C1	51
Figura N° 6.4: Esquema Informe 3 de KPI de Seguridad	52

1. ANTECEDENTES

Minera Esperanza es un yacimiento de cobre y oro, perteneciente en un 70% a Antofagasta Minerals S.A. y un 30% a Marubeni Corporation, que está localizado en la comuna de Sierra Gorda, 100 Km. al sur de la ciudad de Calama, a una altitud de 2300 msnm.

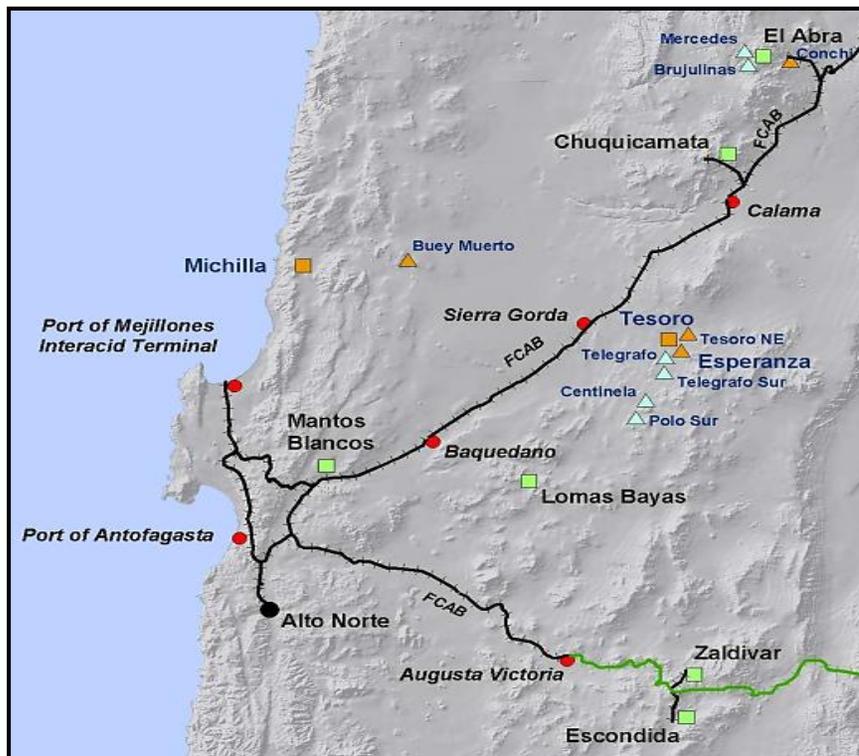
Aunque la zona fue explorada esporádicamente por diversas compañías desde 1983, sólo en 1999 exploraciones llevadas a cabo por Antofagasta Minerals S.A. confirmaron su potencial de sulfuros.

La estimación de sus reservas significó la perforación de más de 94.000 metros de sondajes y el desarrollo de 2.308 metros de labores subterráneas. Actualmente, su producción cuenta con un horizonte de vida de aproximadamente 18 años (principalmente de concentrados de cobre).

Su producción anual es de 700.000 toneladas de concentrado de cobre al año (de las cuales 200.000 corresponden a cobre fino) y 230.000 onzas de oro.

Minera esperanza utiliza tanto agua de mar como agua recuperada de su proceso, alcanzando esta última hasta un 80% de las necesidades de su planta concentradora.

Figura N° 1.1: Ubicación de Minera Esperanza



2. INTRODUCCIÓN.

La Gerencia de Operaciones de Minera Esperanza depende de la Gerencia General y es la responsable del cumplimiento operacional del plan de producción anual, que éste se cumpla con los mejores estándares de seguridad (sin accidentes, sobre todo fatales) y dentro del presupuesto asignado. En Minera Esperanza este desafío se cumplió por primera vez en el año 2013, después de su puesta en marcha durante el año 2011. Sin embargo, el cumplimiento del plan de producción no estuvo ajeno a dificultades, es así como ese año se obtuvieron los siguientes resultados:

- IF (Índice de Frecuencia) = 1,2 - 1 Accidente Fatal
- Producción anual año 2013 = 170 Kton Cu fino (valor presupuestado)
- Costo C1, 32 c/lb sobre presupuesto
- Productividad total (Kg. Cu fino / HH) 12% menor
- EBITDA 26% menor

Como se puede ver, a pesar de que se cumplió el programa de producción, éste se efectuó con índices de seguridad decepcionantes (incluido un accidente fatal) y costos mayores a los esperados, lo que significó una baja productividad y disminución de ingresos para la compañía.

Por las razones antes expuestas, la Gerencia de Operaciones necesita contar con alguna herramienta de gestión que le permita contar con información en forma oportuna para la toma de decisiones y que le permita hacer predicciones y establecer tendencias en los comportamientos de los factores críticos.

En los dos últimos años, la popularidad de los productos para realizar análisis predictivo ha crecido significativamente, ya que muchas empresas que desean mejorar su capacidad de análisis e inteligencia negocio están explorando el área del análisis predictivo como opción para mejorar dichas capacidades e incluso, para reemplazarlas en algunos casos. Sin embargo, aún existen interrogantes respecto si es realmente el análisis predictivo una herramienta de inteligencia de negocios. En nuestro caso, lo consideraremos como un buen reemplazo de los productos tradicionales para la inteligencia de negocios que permita hacer un análisis analítica y predictiva.

El análisis predictivo es parte de una disciplina más amplia llamada la minería de datos, la cual abarca actividades importantes del análisis de datos como el análisis exploratorio de datos, modelado descriptivo, hallazgo de patrones y normas, recuperación de datos y modelado predictivo. Para nuestro propósito, nos enfocaremos estrictamente en el escenario del modelamiento predictivo que es la disciplina en la cual está basado el análisis predictivo. El análisis predictivo consiste en aquellas herramientas que, mediante el uso de varias técnicas estadísticas y analíticas para crear un modelo matemático, intenta predecir el resultado futuro de cierto escenario objeto de estudio. Desde la estadística hasta la teoría de juegos, las técnicas de análisis predictivo utilizan los datos históricos para crear predicciones, comúnmente al identificar relaciones entre las variables explicativas (independientes) y los predictores (las variables predictivas) de eventos pasados. Es posible utilizar dos tipos principales de modelos: clasificación (para variables categóricas/discretas como si/no, probabilidad de que un evento tenga o no lugar, niveles de riesgo, etc.) y regresión (para variables

continuas, como la presión de la sangre, niveles de líquidos, etc.). Para llevar a cabo la tarea, el modelo predictivo utiliza datos históricos para generar el resultado. Por ejemplo, según el análisis de datos históricos es posible resolver casos de negocios específicos e intentar pronosticar los escenarios empresariales como el comportamiento del cliente (tendencias de compra y consumo), pronósticos de la oferta y la demanda, identificación de fraude, evaluación de riesgo, tasa de deserción de clientes y los pronósticos de ventas. Las aplicaciones para el análisis predictivo son aquellas herramientas de software que permiten que sus usuarios realicen dichas tareas y dada su naturaleza, el análisis predictivo y las técnicas generales para la minería de datos son frecuentemente las bases para muchas otras herramientas de análisis empresarial más específicas, como las herramientas especializadas por industria o por línea de negocios. Claramente, contar con una solución para el análisis de las variables claves y generar escenarios predictivos puede, definitivamente, generar beneficios enormes para la organización.

La gerencia de operaciones de minera Esperanza necesita de algún indicador que permita evaluar en forma temprana y de manera permanente las posibles desviaciones que se presentan dentro de su ámbito de operaciones, por ello es indispensable implementar un indicador y diseñar un Tablero de Control de los KPI relevantes que permitan la toma de decisiones en forma oportuna e informada.

Dicho indicador requerido, al que se denominará **ICP (Índice Calidad de Producción)**, una vez diseñado e implementado mediante un panel de control, deberá permitir que los usuarios responsables dispongan de la información en forma temprana para orientar en forma oportuna la toma de decisiones. Asimismo, permitirá efectuar las revisiones de la evolución de los factores críticos para el éxito del plan anual.

El indicador de calidad de producción, ICP, es una función que indica la calidad de cumplimiento del plan, en términos de Seguridad, producción de Cobre (Cu) y costos asociados directamente a producción.

La implementación de esta herramienta de gestión es clave para el seguimiento de los compromisos de producción, así como para detectar en forma temprana desvíos importantes ya sea en la mina, planta o en las áreas de apoyo que pudieran significar en desvíos importantes en seguridad, producción o costos.

La gerencia de operaciones de Minera Esperanza, consciente de la importancia y de los beneficios de contar con un indicador de calidad y aún más con un tablero de control, ha comprometido su apoyo para el desarrollo de este trabajo, así como el apoyo económico para el desarrollo del tablero de control a través de la empresa Mining Solutions.

2.1.OBJETIVOS

- **Objetivo General**

El objetivo del proyecto es la construcción de un indicador único que refleje el cumplimiento de los planes de producción de la compañía y que incluya como aspectos relevantes, el costo asociado a dicha producción y los índices de seguridad del personal asociado a las tareas requeridas. Este indicador sintético debe brindar una visión integradora de la calidad con la cual se desarrolló el plan de producción y conformará el punto de partida para la correcta gestión y toma de decisiones en cada una de las sub-áreas involucradas.

- **Objetivos Específicos**

Para la correcta difusión del indicador compuesto ya mencionado, se definirá la construcción de un panel de control basado en herramientas de inteligencia de negocios, el cual permitirá efectuar las comparativas requeridas entre diversos periodos.

2.2.METODOLOGIA

La metodología aplicada al presente estudio, se basa en la revisión conceptual de los aspectos fundamentales de construcción de indicadores integrados que permitan definir y estructurar el Indicador de Calidad de Producción.

Una vez definido el indicador, se revisará la base de datos de información de la compañía desde Enero a Junio 2014 para evaluar el indicador y verificar su validez.

Finalmente se confeccionarán tableros de control con la estadística de los indicadores relevantes y con la evaluación del indicador de calidad de producción. Para esto se utilizará la herramienta Microstrategy que permitirá desplegar el tablero de control.

El plan de trabajo adoptado para este trabajo, se segmentó en tres partes:

- 1) Desarrollo de indicador de calidad de producción, basado en el concepto de un indicador compuesto.
- 2) Generación de un tablero de control, basado en el concepto de inteligencia de negocio.
- 3) Implementación de la solución de Inteligencia de Negocios para el tablero de control generado

El desarrollo se realizó por etapas, siguiendo un orden lógico de construcción de la solución. Estas etapas son:

- a) Marco conceptual
 - b) Desarrollo de Indicador de calidad de producción, ICP.
 - c) Validación de Indicador según historia.
 - d) Desarrollo Tablero de control y despliegue de datos
-
- a) Marco conceptual: Revisión de conceptos asociados a la generación de indicadores agregados que sirva de base para la definición del indicador de calidad de producción. De la misma forma, se revisará la conceptualización de las herramientas de inteligencia de negocios ligadas a la generación de tableros de control
 - b) Desarrollo de Indicador de calidad de producción, ICP: En esta etapa se definirá el indicador propiamente tal como una función de los índices de seguridad, producción y costos.
 - c) Validación de Indicador según historia: Una vez definido el indicador de calidad de producción, se establecerá el criterio de validación usando la historia de cada una de las variables que componen el indicador agregado.
 - d) Desarrollo del Tablero de Control: En esta etapa se desarrollara la herramienta de inteligencia de negocio propiamente tal. Para esta etapa se contará con el apoyo de la empresa Mining Solutions., quien desarrollará la programación del tablero de control.

La implementación, propiamente tal, se realizará por etapas en la medida que se vayan obteniendo los productos y acordando los resultados. En esta etapa se confeccionará el procedimiento de uso de la herramienta para acordar los responsables de la toma de decisiones

3. MARCO CONCEPTUAL

Durante las últimas décadas muchos organismos, han realizado estudios centrados en la definición, construcción y uso de indicadores integrados para diversos objetivos tales como la evaluación analítica de fenómenos, el control de la eficacia de programas de acción, la medición del grado de ejecución de objetivos globales, en procesos de planificación, etc., principalmente desarrollados en el ámbito de los fenómenos sociales.

El hecho de disponer de estos indicadores integrados aporta varios beneficios a la organización, como ser:

- *Pueden resumir realidades complejas y multidimensionales, para facilitar la tarea de los tomadores de decisiones.*
- *Son más fáciles de interpretar que varios indicadores por separado*
- *Permite comparar dimensiones complejas de forma efectiva*
- *Facilitan la comunicación del grado de desempeño organizacional*

Sin embargo, el proceso de la construcción de este indicador compuesto y su posterior utilización no está exento de riesgos, por lo que es importante que el proceso sea claro y convenientemente informado. Los riesgos asociados son:

- *Pueden enviar mensajes políticos engañosos si están mal contruidos o si son incorrectamente interpretados.*
- *Podrían invitar a conclusiones simplistas.*
- *La selección de los indicadores componentes y sus respectivas ponderaciones puede estar sujeto a disputas políticas.*
- *Si el proceso de construcción no es transparente, puede disimular deficiencias graves en algunas dimensiones y aumentar la dificultad de identificar las medidas correctivas adecuadas.*

Lo anterior da cuenta de una gran gama de metodologías y es claro que es necesario que la selección de un indicador sea exhaustiva, responda a una serie de criterios y con opiniones expertas, además de la revisión y análisis de los datos disponibles.

El marco conceptual elegido y que será utilizado en este análisis, fue diseñado por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y especifica la metodología sugerida para la construcción e implementación de indicadores sintéticos (o compuestos).

El proceso de construcción de estos indicadores compuestos incluye los siguientes pasos:

- Marco teórico
- Selección de datos
- Consideración de datos faltantes
- Análisis Multivariante
- Normalización
- Ponderación y agregación
- Análisis de Robustez y sensibilidad
- Regresar a los detalles
- Enlaces a otros indicadores
- Visualización de resultados

3.1. MARCO TEORICO

Es el punto de partida en la construcción de indicadores compuestos. Debe definir claramente el fenómeno a medir y los sub-componentes, seleccionando los indicadores individuales y su ponderación de acuerdo a su importancia relativa. Este proceso idealmente se basa en qué es deseable medir (o no) entre los indicadores disponibles.

3.2. SELECCIÓN DE DATOS

Las fortalezas y debilidades de un indicador compuesto están definidas por la calidad de sus variables subyacentes. Idealmente, las variables deben ser seleccionadas por su relevancia, solidez analítica, disponibilidad, accesibilidad, etc.

3.3. CONSIDERACION DE DATOS FALTANTES

Los datos faltantes a menudo obstaculizan el desarrollo de indicadores compuestos robustos. Estos datos faltantes pueden estar ausentes en patrones aleatorios o no aleatorios y la decisión de completarlos se basa en este tipo de comportamiento.

3.4. ANALISIS MULTIVARIANTE

Un problema importante que se puede presentar al momento de la selección de los indicadores de base, es la existencia de correlaciones significativas entre los mismos. Esta circunstancia puede inducir un problema de doble contabilidad en la etapa de ponderación-agregación, reduciendo la fiabilidad de los índices calculados.

Por este motivo se hace necesario el empleo de métodos estadísticos que identifiquen previamente la existencia de dichas correlaciones. Las técnicas estadísticas multivariante normalmente empleadas con este propósito son:

- Análisis de Componentes principales
- Análisis Factorial
- Coeficiente Alfa de Cronbach

3.4.1. ANALISIS DE COMPONENTE PRINCIPALES (ACP)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica de estadística, donde todas las variables tienen una importancia equivalente. Ésta se utiliza para reducir el número de variables inicial de un análisis, tratando de explicar el mayor porcentaje posible de variabilidad de la muestra con un menor número de variables, que se denominarán componentes principales y que serán combinaciones lineales de los datos de origen.

El ACP permite obtener medidas integradas que reflejan la máxima información posible proporcionada por el sistema. Su aplicación requiere la existencia de un cierto grado de correlación entre los indicadores que componen el sistema inicial.

El ACP ha sido una metodología bastante utilizada en la construcción de indicadores integrados, ya que permite reducir el número de variables. La aplicación del ACP sobre el sistema de indicadores proporciona un conjunto de nuevas variables no correlacionadas, de media aritmética igual a cero, de varianza máxima y definidas como combinaciones lineales de los indicadores iniciales. Estas nuevas variables se denominan componentes principales. Así, la componente h para Z (Z_h) quedaría definida como sigue:

$$Z_h = \sum_{j=1}^m \omega_{hj} IN_j$$

Donde ω_{hj} representa las ponderaciones que definen la componente principal h .

La técnica busca conseguir explicar la mayor parte de la variabilidad total del sistema con el menor número posible de componentes, de forma que se produzca la menor pérdida de información. Dado que se generan tantas componentes principales como indicadores componen el sistema, es necesario seleccionar un número menor de componentes utilizando algunos de los criterios disponibles en la literatura: el criterio de

la media aritmética (Kaiser, 1958), el criterio del contraste de caída (Cattel, 1965) o el criterio del porcentaje de la varianza explicada (Wubneh, 1987; Wang, 2005).

La utilización de esta metodología de trabajo se ha extendido especialmente en los casos en que no existe un consenso entre los expertos sobre la importancia relativa de las variables, puesto que de forma interna proporciona un mayor peso a las variables más altamente correlacionadas con el conjunto de variables restantes en el sistema.

3.4.2. ANÁLISIS FACTORIAL

El análisis factorial es similar al Análisis de Componentes P (ACP) visto anteriormente, siendo las diferencias principales su objetivo, sus características y su grado de formalización.

El Análisis Factorial trata de encontrar variables sintéticas latentes, inobservables y aún no medidas, cuya existencia se sospecha en las variables originales y que permanecen a la espera de ser halladas, mientras en el ACP se obtienen variables sintéticas que son combinación de las originales y cuyo cálculo es posible basándose en aspectos matemáticos independientes de su interpretabilidad práctica. En el ACP la varianza de cada variable original se explica completamente por las variables cuya combinación lineal la determinan (sus componentes). En el Análisis Factorial no ocurre lo mismo, pues solo una parte de la varianza de cada variable original se explica completamente por las variables cuya combinación lineal la determinan (factores). Esta parte de la variabilidad de cada variable original explicada por los factores comunes se denomina comunalidad, mientras que la parte de la varianza no explicada por los factores comunes se denomina unicidad (comunalidad + unicidad = 1) y representa la parte de variabilidad propia de cada variable. Cuando la comunalidad es unitaria (y, por tanto, la unicidad es nula) el Análisis Factorial coincide con el de componentes principales. Es decir, el ACP es en esa situación un caso especial del Análisis Factorial en el que los factores comunes explican el 100% de la varianza total,

La construcción de un indicador sintético a partir de un conjunto de subindicadores iniciales puede llevarse a cabo mediante la reducción de éstos en una serie de factores básicos, aunque esto solo será posible si existen subindicadores que dan información adicional que puede ser obviada; es decir, deberán presentar una alta correlación entre ellos, puesto que de lo contrario todos aportarán información sustancial y el número de factores no podrá ser inferior al de indicadores originales.

Sean X_1, X_2, \dots, X_p las variables o subindicadores iniciales, 3 referidos a un conjunto de n regiones podemos observar el siguiente modelo:

$$X_1 = w_{11}F_1 + w_{12}F_2 + \dots + w_{1k}F_k + u_1$$

$$X_2 = w_{21}F_1 + w_{22}F_2 + \dots + w_{2k}F_k + u_2$$

.....

$$X_p = w_{p1}F_1 + w_{p2}F_2 + \dots + w_{pk}F_k + u_p$$

Donde F_1, \dots, F_k serán las componentes o factores (factores comunes) a los que quedarán reducidas las variables o subindicadores iniciales; u_1, \dots, u_p son los términos que recogen las características específicas de cada variable (factores específicos); y los coeficientes $\{w_{ij}; i=1, \dots, p; j=1, \dots, k\}$ son las cargas factoriales. Se supone, además, que los factores comunes están a su vez estandarizados ($E(F_i)=0$; $\text{Var}(F_i)=1$), los factores específicos tienen media cero y están incorrelados ($E(u_i)=0$; $\text{Cov}(u_i, u_j)=0$ si $i \neq j$; $j=1, \dots, p$) y unos y otros están no correlacionados entre sí ($\text{Cov}(F_i, u_j)=0$, $\forall i=1, \dots, k; j=1, \dots, p$).

Según lo anterior, el ACP proporcionaría unas componentes principales que cumplirían las características básicas que deben tener las variables de partida para el caso del Análisis Factorial, que no es otra que estar no correlacionadas. Así, el ACP estaría aportando la solución a la búsqueda de los factores mediante el Análisis Factorial; es decir, los factores comunes estarían constituidos por las primeras componentes principales

3.4.3. COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH

El coeficiente Alfa de Cronbach (Cronbach, 1951) es la estimación más frecuentemente utilizada para la consistencia interna de los elementos de un modelo. Evalúa qué tan bien un conjunto de elementos (en nuestro caso, sub-indicadores) mide un objeto unidimensional.

C-Alfa (Alfa de Cronbach) mide la porción del total de variabilidad de la muestra de indicadores individuales que se deban a la correlación de indicadores. Aumenta con el número de indicadores individuales y con la covarianza de cada par. Si no existe correlación entre los indicadores individuales (son independientes), entonces C-alfa es igual a cero. Si los indicadores son perfectamente correlacionados, C-alfa es igual a uno.

Este es un buen método para medir si los indicadores seleccionados (candidatos) son independientes. Al contrario de los métodos ACP o análisis factorial, no se utiliza para simplificar la cantidad de variables del modelo o para detectar variables no consideradas.

El cálculo es el siguiente:

$$\alpha_c = \left(\frac{q}{q-1}\right) \left(1 - \frac{\sum_j var(x_j)}{var(x_0)}\right) \quad c = 1, \dots, M; i, j = 1, \dots, Q$$

Donde Q indica el número de indicadores considerados.

A su vez, $x_0 = \sum_{j=1}^Q x_j$ es la suma de todos los indicadores individuales

3.5. NORMALIZACIÓN

El proceso de normalización es de suma importancia cuando los indicadores del conjunto seleccionado tienen diferentes unidades de medida. Es fundamental completar este procedimiento previo a cualquier agregación de datos.

Existen diversos métodos de normalización, a saber:

3.5.1. RANKING

Es el método de normalización más simple y consiste en clasificar cada indicador en cada período o categoría. Las principales ventajas de este método son su simplicidad y la independencia a los valores atípicos (“outliers”, en inglés). Las desventajas son la pérdida de información en los niveles absolutos y la imposibilidad de llegar a una conclusión sobre la diferencia en el rendimiento de cada categoría.

Para los estudios dependientes del tiempo, la clasificación se lleva a cabo en cada momento del tiempo. Se puede seguir el desempeño de un periodo de acuerdo a su posición relativa en el tiempo. Sin embargo, no es posible seguir el rendimiento absoluto de cada periodo a través del tiempo.

3.5.2. ESTANDARIZACIÓN (Z-SCORE)

En este método, para cada indicador se calcula el valor medio y la desviación estándar de todos los indicadores. El valor del indicador normalizado se calcula entonces como la relación de la diferencia entre el valor del indicador puro y la media dividida por la desviación estándar.

Este tipo de normalización es el más utilizado, ya que convierte todos los indicadores a una escala común con una media de cero y una desviación estándar en uno.

El factor de escala es la desviación estándar del indicador. Por lo tanto, un indicador con valores extremos tendrá intrínsecamente un mayor efecto sobre el indicador

compuesto. Esto puede ser deseable si la intención es recompensar el comportamiento excepcional, es decir, si un resultado extremadamente bueno en algunos indicadores se estima que es mejor que puntajes promedio en muchos otros indicadores. Con este enfoque, el rango (mínimo, máximo) difiere entre los indicadores normalizados.

Para los estudios en función del tiempo, con el fin de evaluar el desempeño a través de los años, el promedio y la desviación estándar de todos los indicadores se calculan para un año de referencia (normalmente el punto de tiempo inicial).

3.5.3. MIN-MAX

Cada indicador para un momento dado se calcula como el cociente de la diferencia entre el valor del indicador original y el valor mínimo dividido por el rango (diferencia entre el valor máximo y el mínimo). Este método utiliza el rango en lugar de la desviación estándar. Todos los indicadores normalizados tienen idéntico rango, el cual se encontrará entre 0 y 1.

Una desventaja de este método es que los mínimos y máximos podrían ser valores atípicos (outliers), poco fiables, que tienen un efecto de distorsión en el indicador normalizado.

Para los estudios dependientes del tiempo (que es el caso del presente estudio), los valores mínimos y máximos para un indicador a menudo se seleccionan para todo el período de tiempo. Sin embargo, este método no puede aplicarse si los nuevos datos en un siguiente punto de tiempo superan el rango seleccionado. En tales casos, para mantener la comparabilidad entre los nuevos datos existentes y el indicador compuesto, éste tendría que volver a ser calculado todos los años.

3.5.4. DISTANCIA A VALOR DE REFERENCIA

Este método divide el valor del indicador en un punto dado en el tiempo con el valor de referencia en un momento inicial (o valor objetivo). Utilizando este denominador, la normalización tiene en cuenta la evolución de los indicadores a través del tiempo; Alternativamente, se puede utilizar un denominador que cambie a través del tiempo.

Tabla N° 3.1 : Métodos de Normalización- Resumen

Método	Descripción	Cálculo
Ranking	Es la técnica más sencilla y no es afectada por valores atípicos y permite evaluar el desempeño en el tiempo de acuerdo a las posiciones relativas	$I_{ki} = Rank(X_{ki})$
Estandarización (o z-score)	Convierte los indicadores a una escala común, con promedio en el valor 0 y desviación estándar en el valor 1. Indicadores con valores atípicos (extremos) tendrán un gran efecto en el indicador compuesto, lo cual podría no ser deseable si la intención es recompensar el comportamiento excepcional (por ejemplo, resultados extremadamente bueno en pocos indicadores se considere mejor que valores promedio en muchos indicadores)	$I_{ki} = \frac{X_{ki} - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}}$ <p>Donde \bar{X}_k y σ_{X_k} es la media y la desviación estándar del indicador k, respectivamente.</p>
Min-Max	Normaliza los indicadores entre rangos [0,1] substrayendo el mínimo y dividiéndolo por el rango de valores del indicador. Sin embargo, valores extremos del indicador puede distorsionar el indicador transformado.	<p>Si el valor objetivo es un máximo</p> $I_{ki} = \begin{cases} 0 & \forall X_{ki} < X_{k_min} \\ \frac{X_{ki} - X_{k_min}}{X_{k_max} - X_{k_min}} & \forall X_{k_min} \leq X_{ki} \leq X_{k_max} \\ 1 & \forall X_{ki} > X_{k_max} \end{cases}$ <p>Si el valor objetivo es un mínimo</p> $I_{ki} = \begin{cases} 1 & \forall X_{ki} < X_{k_min} \\ \frac{X_{k_max} - X_{ki}}{X_{k_max} - X_{k_min}} & \forall X_{k_min} \leq X_{ki} \leq X_{k_max} \\ 0 & \forall X_{ki} > X_{k_max} \end{cases}$ <p>Donde I_{ki} es el valor normalizado del indicador k para el periodo i, X_{ki} es el valor del indicador k para el periodo i, X_{k_min} y X_{k_max} es el mínimo y el máximo valor del indicador k, respectivamente</p>
Distancia a valor de referencia	Se basa en el cálculo de distancias de un indicador dado a medidas de referencia. Esta medida de referencia podría ser el objetivo a cumplir en un determinado lapso de tiempo.	$I_{ki} = \frac{X_{ki}}{O_{ki}}$ <p>Donde I_{ki} es el valor normalizado del indicador k para el periodo i, X_{ki} es el valor del indicador k para el periodo i, O_{ki} es el valor del indicador k de referencia (u objetivo) para el periodo i</p>

3.6. PONDERACIÓN Y AGREGACIÓN

3.6.1. PONDERACIÓN

El proceso inicial de esta etapa (Ponderación), tiene implicancias generales significativas en el indicador compuesto, ya que implica asignar importancias relativas mayores a unos indicadores sobre otros.

Existen distintas de metodologías aplicables para esta sub-fase, siendo las principales:

- Ponderación igualitaria
- Ponderación basada en métodos estadísticos
 - ACP/AF: Análisis de Componentes Principales/Análisis factorial
- Ponderación basada en opiniones de expertos o público general
 - Asignación presupuestaria
 - Proceso analítico jerárquico

Ponderación igualitaria

En muchos indicadores compuestos todas las variables poseen el mismo peso, sobre todo cuando no hay razones estadísticas o empíricas para elegir un esquema diferente. La ponderación igualitaria podría implicar el reconocimiento de un estado equivalente para todos los indicadores.

Adicionalmente, este método puede utilizarse cuando existe un conocimiento insuficiente de las relaciones causales o del modelo correcto a aplicar.

Análisis de componentes Principales/Análisis Factorial

Este método permite generar una ponderación capaz de capturar la mayor cantidad de información común a estos indicadores, como sea posible.

Cada factor revela el conjunto de indicadores que posee la mayor asociación con él. La idea con este enfoque es dar cuenta de la variación más alta posible en los indicadores establecidos utilizando el menor número posible de factores. Por lo tanto, el índice ya no depende de la dimensionalidad del conjunto de datos pero se basa más bien en las dimensiones "estadísticas" de los datos. En este método, la ponderación sólo interviene para corregir la información de superposición de dos o más indicadores correlacionados, y no es una medida de la importancia del indicador asociado.

Si no existen indicadores correlacionados, los pesos no pueden ser estimados con este método.

Asignación presupuestaria

En este método, expertos de los temas tratados (por ejemplo, costos, producción y seguridad industrial) disponen de N puntos presupuestarios, que distribuirán a su juicio en los distintos indicadores componentes, asignando mayor puntaje a aquellos a cuya importancia deseen destacar. Los pesos resultantes serán calculados de acuerdo a los presupuestos promedio obtenidos por cada indicador.

El proceso se puede dividir en cuatro fases diferentes:

- a. Selección de expertos para la valoración
- b. Asignación de presupuesto a los indicadores
- c. Cálculo de los pesos
- d. Repetición del proceso de asignación presupuestaria, hasta alcanzar la convergencia (opcional).

Es esencial reunir a expertos que posean un amplio espectro de conocimientos y experiencia, para garantizar la ponderación adecuada para un tema particular. Como la asignación de un presupuesto sobre un número demasiado grande de indicadores puede generar consecuencias de estrés cognitivo a los expertos, este método es adecuado para conjuntos de no más de 10 indicadores.

Proceso Analítico Jerárquico

Este proceso es ampliamente utilizado para la toma de decisiones de atributos múltiples. Permite la descomposición de un problema en su jerarquía y asegura la incorporación de sus aspectos cualitativos y cuantitativos en el proceso de evaluación, en el que la opinión se extrae sistemáticamente pro medio de comparaciones entre pares de indicadores. Para cada uno de estos pares, se plantea en primer lugar la pregunta: ¿Cuál de estos dos indicadores es más importante?, para luego cuestionar: ¿Cuánto?. La fortaleza de la preferencia para cada par se expresa en una escala semántica de 1 (igualdad) a 9 (cuando, por ejemplo, un indicador fue votado 9 veces más que aquel con el cual se efectuó la comparación).

Los pesos relativos resultantes de cada indicador luego son calculados usando técnicas de “vector propio”, que permite resolver inconsistencias del tipo bucle. Por ejemplo: A mejor que B, B mejor que C, C mejor que A.

3.6.2. AGREGACIÓN

Este proceso consiste en la agregación de los sub-indicadores (con su ponderación correspondiente) para conformar el indicador compuesto. Existen varias técnicas, siendo las más utilizadas las de tipo aditivo. Sin embargo, las agregaciones aditivas requieren requisitos y propiedades, tanto de los indicadores como de los pesos asociados, que podrían ser difíciles de cumplir o de verificar.

Para superar estos inconvenientes, la literatura propone otros métodos, como agregación geométrica o agregaciones multicriterio.

Métodos Aditivos

El método de agregación aditivo más simple, es la suma de rangos de una categoría (en nuestro caso, un periodo mensual) en cada uno de los indicadores. Por lo tanto, este método se basa en la información ordinal.

Sus ventajas son la sencillez y la independencia a los valores atípicos (outliers). Como desventaja, este método pierde la información de valor absoluto.

La fórmula de cálculo, es la que sigue:

$$CI_c = \sum_{q=1}^Q Rank_{qc}$$

Siendo CI_c el indicador compuesto para el periodo/categoría c

Q : cantidad de indicadores componentes

$Rank_{qc}$: Ranking del indicador q para el periodo/categoría c

El método aditivo más utilizado (por lejos), es la suma lineal de los indicadores ponderados y normalizados. Aunque es ampliamente utilizado, esta agregación implica restricciones a la naturaleza de los indicadores y la interpretación de los pesos.

Una condición fundamental de los indicadores es que no deben existir fenómenos de conflicto o sinergia entre los indicadores. Además, los indicadores tienen que poseer la característica de "independencia preferente": para ciertos indicadores dados $\{X_1, X_2, \dots, X_Q\}$, una función de agregación aditiva existe si y solo si estos indicadores son mutuamente independientes.

Independencia preferente es una condición muy importante, ya que implica que la relación de equilibrio entre dos indicadores es independiente de los valores de los indicadores restantes.

$$CI_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qc}$$
$$\sum_q w_q = 1 \quad 0 \leq w_q \leq 1$$

Siendo CI_c el indicador compuesto para el periodo/categoría c

w_q : peso para el indicador q

Q : cantidad de indicadores componentes

I_{qc} : valor normalizado del indicador q para el periodo/categoría c

Agregación Geométrica

Como se indicó anteriormente, una característica no deseable de las agregaciones aditivas es la compensabilidad completa que implican. Un bajo desempeño en algunos indicadores puede ser compensado por valores suficientemente altos en otros indicadores.

Por ejemplo, en un indicador compuesto hipotético formado por los siguientes indicadores: inequidad, Degradación del medio ambiente, PBI per cápita y desempleo, dos países, uno con valores (21,1,1,1) y el restante con (6,6,6,6) tendrán el mismo valor de indicador compuesto si se utiliza ponderación igualitaria y agregación aditiva. Obviamente estos dos países poseen realidades sociales muy diferentes que no se reflejan en el indicador compuesto.

Si el análisis multi-criterio no conlleva a una solución satisfactoria de la compensación, el uso de la agregación geométrica es una solución intermedia.

$$CI_c = \prod_{q=1}^Q x_{q,c}^{w_q}$$

Aplicando esta fórmula al ejemplo precedente, el primer país obtendría una puntuación de 2.14, mientras que el segundo conservaría su puntaje original de 6.

3.7. ANÁLISIS DE ROBUSTEZ Y SENSIBILIDAD

Se argumenta de forma frecuente que los indicadores compuestos son demasiado subjetivos, debido a todos los supuestos necesarios para su construcción:

- El modelo elegido para estimar el error de medición en los datos
- El mecanismo para la inclusión o exclusión de los indicadores en el índice
- La transformación y / o el recorte de los indicadores
- El tipo de esquema de normalización (por ejemplo, re-escalamiento o estandarización);
- La cantidad de datos faltantes y la elección del algoritmo de imputación
- La elección de pesos (por ejemplo pesos igualitarios o pesos derivados del análisis factorial y modelos de opinión de expertos)
- La elección del sistema de agregación (por ejemplo aditivo, multiplicativo, o análisis multicriterio)

Todas estas suposiciones pueden influir en gran medida el mensaje transmitido por un indicador compuesto, de tal manera que merece ser analizado y comprobado.

Una combinación de la incertidumbre y el análisis de sensibilidad pueden ayudar a evaluar la solidez del indicador compuesto, para aumentar su transparencia y para enmarcar las discusiones de política. El análisis de sensibilidad es el estudio de cómo la variación de salida en modelos como un indicador compuesto se puede distribuir, cualitativa o cuantitativamente, a diferentes fuentes de variación en los supuestos (Saltelli et al. 2004). Además, mide cómo el indicador compuesto dado depende de la información que lo compone. El análisis de sensibilidad se relaciona estrechamente con el análisis de incertidumbre, que tiene como objetivo cuantificar la variación total en el ranking (score) de los países como consecuencia de las incertidumbres en la entrada del modelo.

3.8. ENLACES A OTROS INDICADORES

Los indicadores compuestos a menudo miden conceptos que pueden ser relacionados a otros fenómenos bien medidos de la organización. Estas relaciones pueden ser usadas para dar mayor poder de explicación al resultado del indicador compuesto, ya que pueden explicar los fenómenos subyacentes que han sido formalizados en dicho indicador compuesto.

3.9. VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

Es fundamental para la correcta interpretación del resultado, que el indicador resultante sea correctamente presentado a la audiencia objetivo. Estos deben comunicar la historia subyacente a los tomadores de decisiones y a otros usuarios de forma rápida y precisa.

Si bien las tablas presentan la información de forma completa, a menudo pueden ser difíciles de interpretar y esconden la información importante, que al utilizar gráficos se vuelven visibles de forma inmediata.

4. DESARROLLO INDICADOR COMPUESTO

4.1. MARCO TEÓRICO

De acuerdo al requerimiento de la Gerencia de Producción de Minera Esperanza, es necesario desarrollar un indicador sintético que brinde una ponderación única, a intervalos mensuales, del desempeño de los procesos bajo su supervisión directa.

En base a los planes de producción de la compañía, sus objetivos y su visión estratégica, se identifican diversos aspectos preliminares sugeridos que serán sujetos a revisión como sub-componentes del indicador sintético propuesto, a saber:

- **Producción:** aspecto central de los objetivos de la gerencia en particular y de la compañía en general, ya que forma parte central de su objetivo final (el de producir un bien transable y generar ingresos por ello).
- **Costos:** para la obtención del beneficio organizacional, es relevante que la producción obtenida sea ejecutada al menor costo posible, en línea con los presupuestos asignado para tal fin
- **Seguridad:** factor central de la visión estratégica de la compañía, cuyo impacto está sujeto a distintas consideraciones, algunas de ellas difíciles de medir de forma directa. Es fundamental que ambos ítems anteriores (mayor producción al menor costo posible) sean efectuadas con la mayor seguridad posible, sin accidentes (ya sea personal propio o contratistas).

Producción

Este proceso convierte el mineral (en sus diversas formas o composiciones) presente en los yacimientos en un producto primario comercializable. En este proceso intervienen varios subprocesos, los cuales poseen distintos niveles de desempeño, a saber:

- **Mina:** sub-proceso que efectúa el correcto modelamiento de los recursos minerales, obtiene material virgen con minerales de interés a gran escala y realiza los movimientos de este material hacia planta, para su posterior procesamiento.
- **Planta:** sub-proceso que aplica las técnicas necesarias al material recibido desde Mina, para la separación y obtención de los minerales de interés en mayores concentraciones, disponibilizándolos para ser comercializados.
- **Muelle:** proceso final que traslada el mineral concentrado a embarque, donde se produce efectivamente la comercialización de los productos finales.

Si bien Minera Esperanza produce Cobre (Cu), Oro (Au) y Plata (Ag), estos dos últimos elementos generan un ingreso marginal. En este sentido, los presupuestos se realizan para la producción de cobre.

Si bien existen indicadores de interés que evalúan el desempeño de Mina y sub-procesos de planta, es en definitiva el Cobre Fino Filtrado (indicador de muelle) el que debe considerarse como indicador final del desempeño del área producción.

Al ser un proceso continuo y lineal, el desempeño de Mina y Planta deben ser considerados en la confección del panel de control, ya que los mismos son factores que explican el valor de producción obtenido.

En este mismo sentido se refuerza la idea de utilizar el Cobre fino producido como indicador final de producción. Es el indicador de finalización de un proceso continuo que tiene sub-procesos, por lo que incluye en su medición el desempeño de todos ellos.

Costos

Para la obtención del beneficio económico primario de la organización, es fundamental (adicionalmente al buen desempeño productivo) que los costos asociados sean acordes al mercado donde se opera y en línea con los presupuestos asignados.

Existe un indicador de costo específico asociado al área de producción, denominado “Costo Directo de Caja” y simplificado con la nomenclatura “C1”. Este costo (y su presupuesto asociado) se mide de forma mensual para las distintos sub-procesos y sub-áreas componentes, a saber:

- Planificación Minero-Metalúrgica
- Mina
- Planta
- Muelle
- Administración y Apoyo
- Variación Inventario
- Maquila
- Comercialización
- Créditos por sub-productos

Este indicador de Costo mensual (C1) y fundamentalmente su cumplimiento mensual (C1 real / C1 presupuesto) luce adecuado para la medición de este componente. Ambas variables (C1 real mensual y C1 presupuestado) se encuentran claramente medidos (o definidos anticipadamente, como en el caso del presupuesto asignado)

Seguridad

Como se mencionó, un objetivo estratégico de la organización (en línea con su visión), es el desarrollar sus operaciones con la menor siniestralidad posible (en particular sin fatalidades), ya sea del personal propio o de contratistas.

A nivel estadístico, existen normativas e indicadores específicos que miden el desempeño en seguridad y conforman un lote de índices que incluso son solicitados por las empresas aseguradoras para el cálculo de las primas resultantes.

Entre los indicadores comúnmente utilizados, se encuentran:

- **Índice de Frecuencia (IF):** es un indicador de la frecuencia con que ocurren accidentes en la empresa. Corresponde al número total de accidentes con lesiones por cada millón de horas-hombre trabajadas (con exposición al riesgo)
- **Índice de Gravedad (IG):** es un indicador de la severidad de los accidentes que ocurren en la empresa. Corresponde al número de días perdidos por cada millón de horas-hombre trabajadas (con exposición al riesgo)

Luego del estudio detallado de estos dos indicadores, se sugiere la utilización del índice de gravedad (IG), por los siguientes motivos:

- Expresa de forma adecuada la gravedad de los accidentes y no solo su frecuencia. Al estar compuesto en su formulación por los “días perdidos”, indica de mejor forma la gravedad de dichos accidentes.
- Incorpora la caracterización de accidentes fatales, que de acuerdo a la normativa para Chile generan automáticamente la imputación de 6000 días perdidos por accidente fatal (que es el que produce fallecimiento del accidentado). Por este motivo, no se requiere adicionalmente de la medición y ponderación de fatalidades, ya que este concepto se encuentra incluido por el motivo expuesto.

Si bien el sub-indicador propuesto es el Índice de Gravedad total (de la compañía), el panel de control debe incorporar su división de acuerdo al tipo de contrato del personal involucrado en las estadísticas de accidentabilidad (propio o de contratistas). Esto será de utilidad para dirigir los esfuerzos de gestión para la remediación de los factores causales de estos incidentes.

4.2. SELECCIÓN DE DATOS

En base a la realidad que se quiere medir para el desarrollo del indicador compuesto y de acuerdo a lo expuesto anteriormente, los sub-indicadores componentes a medir serán:

Producción

$$\text{Cumplimiento producción (\%)} = \frac{\text{CU fino filtrado real (Tn)}}{\text{CU fino filtrado presupuesto (Tn)}} \times 100$$

Este indicador posee un objetivo de máxima (es deseable un mayor valor de cumplimiento de producción, medido en porcentaje).

Costos

$$\text{Cumplimiento C1 (\%)} = \frac{\text{C1 real (USD)}}{\text{C1 presupuesto (USD)}} \times 100$$

Indicador con objetivo de mínima (es deseable no exceder el presupuesto asignado)

Seguridad

IG (índice de gravedad)

Indicador con objetivo de mínima, ya que valores mayores a cero indican la presencia de accidentes con días de trabajo perdidos.

Todas estas variables se encuentran establecidas a nivel mensual, por lo que el indicador compuesto ICP será calculado para dicho intervalo, permitiendo efectuar comparaciones mensuales y anuales, como fuente para la toma de decisiones.

Los datos a considerar pertenecen a los periodos 2013-2014, con una metodología de captura y procesamiento definida y depurada en el tiempo. Estos datos forman parte del “Libro Mensual”, el cual es un documento estándar de la compañía y distribuido convenientemente entre los directivos.

Estos datos son proporcionados por cada una de las áreas de la organización y depurados convenientemente, por lo que conforman la información “oficial” del desempeño de los mismos.

4.3. CONSIDERACIÓN DE DATOS FALTANTES

Los datos considerados para el análisis se encuentran completos para cada periodo a analizar, por lo que no necesitan ser inferidos (no existen periodos sin información, que deban ser estimados con diversas técnicas existentes).

Para el presente estudio, se utilizará las series mensuales disponibles a la fecha (enero de 2013 a Setiembre de 2014)

4.4. ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Esta etapa permitirá determinar si las variables discutidas y seleccionadas en las etapas anteriores poseen la suficiente independencia o, por el contrario, tienden a medir de forma simultánea la misma realidad (por lo tanto, están relacionadas). Es fundamental que las variables sugeridas no se encuentren correlacionadas ya que generarían una múltiple imputación del fenómeno medido en el índice compuesto a construir.

De los métodos disponibles, el índice Alfa de Cronbach (α Cronbach) es el más apropiado de aplicar por su baja complejidad y facilidad de lectura del resultado.

De acuerdo al método y según el consenso general de especialistas, un valor superior a 0.6 indica una fuerte correlación entre los valores de las variables consideradas. Por el contrario, un valor cercano a cero (o incluso negativo) indica independencia de las variables, que es lo deseable en este caso.

Para este análisis, se utilizaron los datos de los periodos Enero-2013 a Setiembre-2014 para las variables:

- C1 Real (Miles de USD)
- Cu fino filtrado producido (Toneladas)
- IG (índice de gravedad)

Si bien en los dos primeros casos estas variables no son las que se utilizarán en el indicador compuesto (sino sus relaciones con los presupuestos, llamados “cumplimiento”), son los valores de la realidad (ya que el presupuesto es un valor objetivo, calculado anticipadamente).

Tabla N° 4.1: Cálculo Alfa de Cronbach

Periodo	C1 Real (KUSD)	Cu Fino Pagable Filtrado (Ton)	IG Total	Σ
Ene-13	30386	17765	0,00	48151
Feb-13	37345	14220	0,00	51566
Mar-13	22370	15934	0,00	38304
Abr-13	32427	13945	9261,12	55633
May-13	31046	15139	142,60	46328
Jun-13	42588	13093	120,59	55801
Jul-13	59053	15915	86,52	75055
Ago-13	57811	14061	53,37	71926
Set-13	58288	11037	6,81	69332
Oct-13	66633	12646	26,34	79306
Nov-13	55348	16873	0,00	72221
Dic-13	59283	14264	0,00	73547
Ene-14	41570	11677	25,50	53273
Feb-14	34011	13209	17,31	47237
Mar-14	48623	14319	7129,34	70072
Abr-14	40206	15638	21,86	55866
May-14	75212	14150	0,00	89362
Jun-14	50937	13321	20,53	64279
Jul-14	50009	14774	6,93	64790
Ago-14	51246	12650	39,65	63936

Set-14	59058	13956	15,00	73029
σ^2	183791427	2670169	6146326	
α	-0,16			

El valor obtenido para el índice Alfa de Cronbach (-0,16) indica que las variables preseleccionadas son independientes y miden fenómenos distintos de la realidad, por lo cual son perfectamente aptos para su utilización en la construcción del indicador compuesto deseado.

4.5. NORMALIZACIÓN

Este proceso, fundamental para el análisis a efectuar, consiste en transformar cada uno de los indicadores componentes a una escala unificada, que permita hacerlos comparables e integrables entre sí (incluso si se encuentran con unidades distintas).

En el presente análisis, los sub-indicadores se encuentran expresados en distintos tipos de unidades y a distintas escalas, siendo incluso dos de ellos opuestos en cuanto al significado del valor numérico (cumplimiento de C1 y cumplimiento de producción), a saber:

- Indicadores “cuanto menor, mejor”
 - Cumplimiento C1 %: $0 \leq \text{cumplimiento C1} < \infty$
 - IG (índice de gravedad): $0 \leq \text{IG} < \infty$
- Indicadores “cuanto mayor, mejor”
 - Cumplimiento de producción %: $0 \leq \text{cumplimiento de producción} \leq \infty$

Previo al análisis del método de normalización a utilizar, es importante aclarar las propiedades requeridas del indicador compuesto a diseñar (llamado ICP).

Este indicador, para un mes dado, debe ser único y permanecer inalterado en el tiempo, ya que será de utilidad para la comparación del desempeño del área de producción en el tiempo, incluso si se trata de años distintos.

En base a esta premisa y luego del estudio de las particularidades de cada método, se determinó que el más adecuado para el presente análisis es el de Estandarización (o z-score). El resto de los métodos tienen dificultades de aplicación, debido a los siguientes motivos:

- **Ranking:** si bien se trata de un método sencillo, el valor normalizado puede ir cambiando conforme transcurran los meses, lo que generará un índice distinto conforme el tiempo avanza. Es un método muy utilizado para comparativas generales dentro de un periodo (países, universidades, comercios, productos, etc.), pero no recomendable para el establecimiento de un indicador de largo plazo que sea comparable en el tiempo.
- **Min-Max:** este método es calculado utilizando como variables los mínimos y máximos observados en una muestra específica. Adicionalmente a ser muy sensible a valores atípicos (que pueden ser excesivos, sobre todo en el Sub-Indicador IG), el valor normalizado para un periodo en particular será variable conforme avance el período y se tomen en cuenta nuevos valores de dichos indicadores (con sus respectivos nuevos mínimos y máximos). Esto podría ser subsanado tomando un año completo como base para calcular (por ej: 2013) los periodos mensuales siguientes, pero podría alterarse un aspecto fundamental de este método, que indica que su valor resultante se encontrará entre 0 y 1. Eventualmente, para valores atípicos puede suceder que el valor normalizado (y por lo tanto el indicador compuesto) sea negativo o mayor a 1, lo que establecería una nueva escala distinta a la originalmente planteada para este método.
- **Distancia:** es un método aplicable al presente análisis (desde el punto de vista metodológico), pero existe dificultad para definir claramente el valor objetivo (o deseado) para cada indicador (excepto el índice de Gravedad IG, del cual siempre se espera que sea cero). Puede considerarse en un futuro dentro de la compañía, cuando exista un pleno consenso acerca de los valores deseables para los sub-indicadores (de acuerdo a opinión de expertos).

El método elegido (Estandarización – Zscore) posee el mismo inconveniente que los anteriormente mencionados (la llegada de nueva información exige el recálculo de toda la serie), pero puede ser evitado tomando como referencia un punto inicial en el tiempo (por ejemplo, un año de referencia). En el presente estudio, se utilizará el año 2013 como año base para el cálculo de las referencias (media aritmética y desviación estándar). La información del año 2013 seleccionada, ha sido debidamente depurada por todos los sectores involucrados en el registro y procesamiento de la misma, por lo que es utilizable para tal fin, constituyéndose en el primer año formal de medición de estos sub-indicadores.

Con respecto a la fórmula aplicada para el cálculo de Z-score (visualizada a continuación), se debe aclarar que la misma se aplica cuando el objetivo del indicador es un máximo (ej: cumplimiento Producción %)

$$I_{ki} = \frac{X_{ki} - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}}$$

Para el caso de que el objetivo sea un mínimo (ej: cumplimiento C1 %, IG), la fórmula aplicada será:

$$I_{ki} = \frac{\bar{X}_k - X_{ki}}{\sigma_{X_k}}$$

Con estas premisas, el cálculo de la normalización para los indicadores del año 2013 es el siguiente:

Tabla N° 4.2: Cálculo de normalización - indicadores año 2013

Periodo	C1 Real (KUSD)	C1 Presup. (KUSD)	Cumpl. C1 %	Cu Fino Pagable Filtrado (Ton)	Cu Fino Pagable Filtrado Presup (Ton)	Cumpl. Prod %	IG Total	Norm. Z-score Cumpl. C1	Norm. Z-score Cumpl. Prod.	Norm. IG
Ene-13	30386	47665	63,75	17765	16388	108,40	0,00	1,53	0,37	0,30
Feb-13	37345	26763	139,54	14220	13703	103,77	0,00	-0,15	0,07	0,30
Mar-13	22370	31089	71,95	15934	18097	88,05	0,00	1,35	-0,94	0,30
Abr-13	32427	30846	105,13	13945	14993	93,01	9261,12	0,62	-0,62	-3,17
May-13	31046	33844	91,73	15139	14943	101,32	142,60	0,91	-0,09	0,25
Jun-13	42588	42015	101,36	13093	11373	115,13	120,59	0,70	0,80	0,26
Jul-13	59053	41969	140,71	15915	16983	93,71	86,52	-0,17	-0,58	0,27
Ago-13	57811	33612	172,00	14061	15860	88,66	53,37	-0,87	-0,90	0,28
Set-13	58288	32157	181,26	11037	13072	84,43	6,81	-1,07	-1,17	0,30
Oct-13	66633	33339	199,87	12646	11752	107,61	26,34	-1,48	0,32	0,29
Nov-13	55348	35170	157,37	16873	11919	141,57	0,00	-0,54	2,50	0,30
Dic-13	59283	34876	169,98	14264	13370	106,69	0,00	-0,82	0,26	0,30
Promedio			132,89			102,69	808,11			
Desv. Est.			45,11			15,55	2662,50			

Lo valores resultantes de Promedio y Desviación Estándar que se utilizarán como variables para todas las normalizaciones de aquí en adelante son:

Tabla N° 4.3: Valores de referencia año 2013

Indicador	Promedio	Desviación Estándar
Cumplimiento C1 %	132,89	45,11

Cumplimiento Producción %	102,69	15,55
IG	808,11	2662,50

4.6. PONDERACIÓN-AGREGACIÓN

El objetivo de esta etapa es valorar relativamente la importancia de cada indicador y efectuar la agregación de los mismos con vistas a obtener el indicador compuesto final.

Efectuando un estudio detallado de los métodos disponibles, junto con las particularidades de los indicadores seleccionados (y ya normalizados), se puede inferir los métodos apropiados para tal proceso.

Ponderación

Inicialmente, todos los métodos expuestos son aplicables, excepto ACP/AF (Análisis de Componentes Principales/Análisis Factorial), ya que para este método se necesita de indicadores correlacionados (lo que no es el caso del presente estudio).

Si bien los restantes métodos son aplicables, la falta de un staff de expertos (internos o externos a la organización) para el presente estudio genera que los métodos basados en juicios de valor no sean aplicables. Esta restricción, presente al momento de esta evaluación, podría desaparecer a futuro si, una vez presentado este estudio a la Gerencia de Producción, se decide conformar este panel de expertos que emitan juicio sobre los indicadores, que permitan conformar una ponderación realista.

Con dicha incertidumbre y bajo el compromiso de no emitir juicios de valor propio sobre la importancia de cada indicador, se utilizará la Ponderación Igualitaria, lo que implica asignar la misma importancia (o peso) a cada indicador componente.

Esta ponderación igualitaria no implica “no asignar pesos”, sino que establece que ante la incertidumbre en la determinación de cuál indicador es más importante que otro, el paso natural es establecer el mismo peso para todos.

Así, para el cumplimiento de la condición visualizada a continuación y existiendo 3 indicadores componentes, el peso de cada uno debe ser: $0.\hat{3}$

$$\sum_q w_q = 1$$

Agregación

En línea con lo expuesto anteriormente, se utilizará provisionalmente la agregación lineal (suma de pesos y normalizaciones de cada uno de los indicadores).

Aplicando las normalizaciones efectuadas, junto con la ponderación igualitaria y la agregación lineal simple para los valores de los índices para los periodos Enero 2013 a Setiembre 2014, se obtiene:

Tabla N° 4.4: Valores ICP, Años 2013-2014

Periodo	Cumpl. C1 %	Cumpl. Prod %	IG Total	Norm. Z-score Cumpl. C1	Norm. Z-score Cumpl. Prod.	Norm. IG	Indicador Compuesto ICP, agregación lineal	Ranking ICP, Agregación Lineal
Ene-13	63,75	108,40	0,00	1,53	0,37	0,30	0,734	4
Feb-13	139,54	103,77	0,00	-0,15	0,07	0,30	0,075	10
Mar-13	71,95	88,05	0,00	1,35	-0,94	0,30	0,238	9
Abr-13	105,13	93,01	9261,12	0,62	-0,62	-3,17	-1,061	21
May-13	91,73	101,32	142,60	0,91	-0,09	0,25	0,358	7
Jun-13	101,36	115,13	120,59	0,70	0,80	0,26	0,586	6
Jul-13	140,71	93,71	86,52	-0,17	-0,58	0,27	-0,160	13
Ago-13	172,00	88,66	53,37	-0,87	-0,90	0,28	-0,495	17
Sep-13	181,26	84,43	6,81	-1,07	-1,17	0,30	-0,648	18
Oct-13	199,87	107,61	26,34	-1,48	0,32	0,29	-0,292	15
Nov-13	157,37	141,57	0,00	-0,54	2,50	0,30	0,754	3
Dic-13	169,98	106,69	0,00	-0,82	0,26	0,30	-0,087	12
Ene-14	74,64	94,43	25,50	1,29	-0,53	0,29	0,351	8
Feb-14	66,47	156,11	17,31	1,47	3,44	0,30	1,735	1
Mar-14	82,40	151,29	7129,34	1,12	3,13	-2,37	0,623	5
Abr-14	73,40	121,57	21,86	1,32	1,21	0,30	0,943	2
May-14	177,65	82,08	0,00	-0,99	-1,33	0,30	-0,671	19
Jun-14	130,19	94,18	20,53	0,06	-0,55	0,30	-0,064	11
Jul-14	153,63	93,46	6,93	-0,46	-0,59	0,30	-0,251	14
Ago-14	118,21	71,77	39,65	0,33	-1,99	0,29	-0,458	16
Sep-14	162,40	74,09	15,00	-0,65	-1,84	0,30	-0,732	20

En la tabla precedente puede visualizarse el valor de ICP obtenido para cada mes, el cual se presenta con la precisión suficiente para el análisis (3 decimales). No se puede establecer anticipadamente el rango de valores que este indicador puede adoptar, ya que rendimientos extremos para los sub-indicadores puede generar nuevos mínimos (o máximos). Como se mencionó, este valor ICP obtenido para cada mes es invariable en el tiempo, lo que permitirá efectuar las comparaciones intra-anales o plurianuales de forma satisfactoria.

Se debe mencionar que los valores promedio y desviación estándar utilizados para la normalización Z-score aplicada, son los obtenidos para el año 2013 y serán constantes

para este cálculo y los que se efectúen en el futuro. Esta premisa es fundamental para mantener la comparabilidad del indicador compuesto conforme transcurre el tiempo.

Adicionalmente, se añadió un ranking comparativo en base al valor de ICP obtenido. Este ranking sólo posee utilidad para visualizar la posición relativa de cada mes dentro del periodo analizado. Su variabilidad dependiente del periodo analizado produce que no sea utilizable para otros propósitos de largo plazo.

Interpretación de valores individuales: a nivel individual (para cada mes particular), el valor obtenido de ICP *indica el desempeño relativo con respecto al año 2013* (cuyo valor de ICP es cero). Todo valor superior a cero indica entonces que el mes analizado superó el desempeño base del año 2013 (y viceversa).

4.7. VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS – CONCLUSIONES

A efectos de analizar el resultado y la consistencia lógica del indicador obtenido (ICP), se presenta a continuación un informe gráfico donde se visualizan los resultados obtenidos al trabajar con el indicador.

En la Figura 4.1 se puede apreciar la variabilidad del indicador desde Enero 2013 a Septiembre 2014, lo que permite concluir que la calidad del proceso no ha sido óptima en el periodo. En Figura 4.2 se puede apreciar el mismo indicador ordenado desde mayor a menor, lo que permite evidenciar que prácticamente la mitad del periodo estuvo por debajo de lo esperado o fueron de mala calidad de cumplimiento.

Figura N° 4.1: Indicador Compuesto ICP, agregación lineal

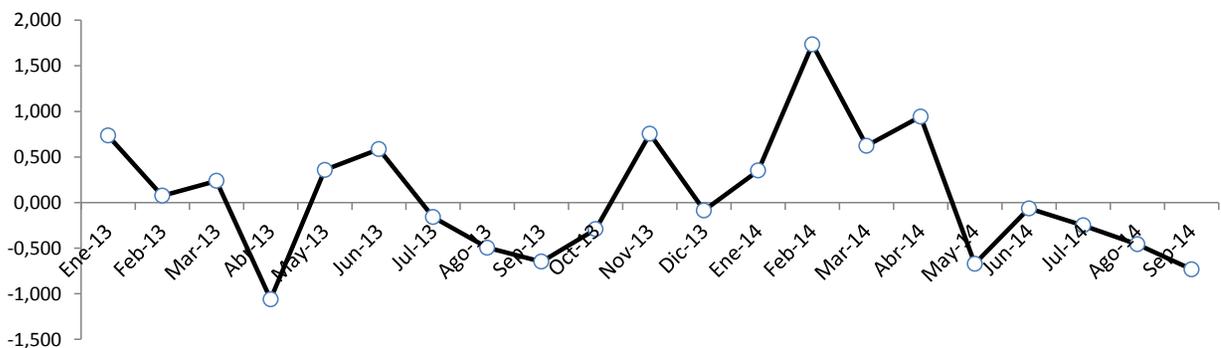
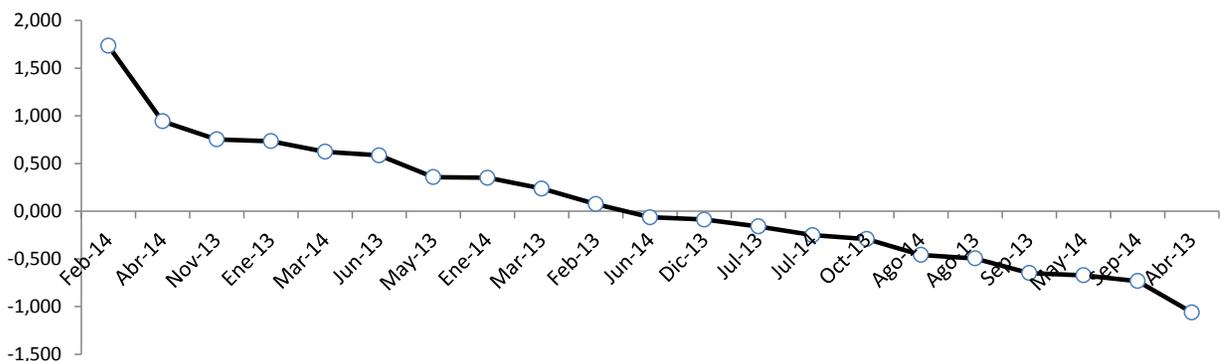
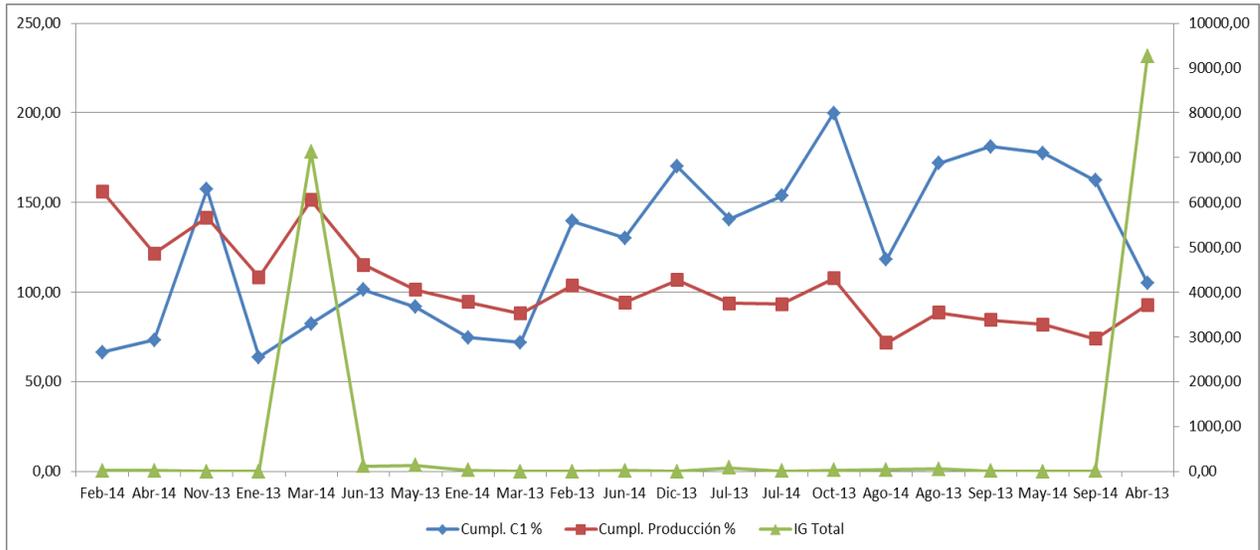


Figura N° 4.2: Indicador ICP ordenado según valor índice



Al analizar los sub-indicadores utilizados en periodos mensuales ordenados de acuerdo a su valor de ICP obtenido (Figura 4,3), por lo que a la izquierda se visualizan los meses de mejor desempeño y a la derecha los de peor desempeño, al igual que la Figura 4.2.

Figura N° 4.3: Valores indicadores según ranking



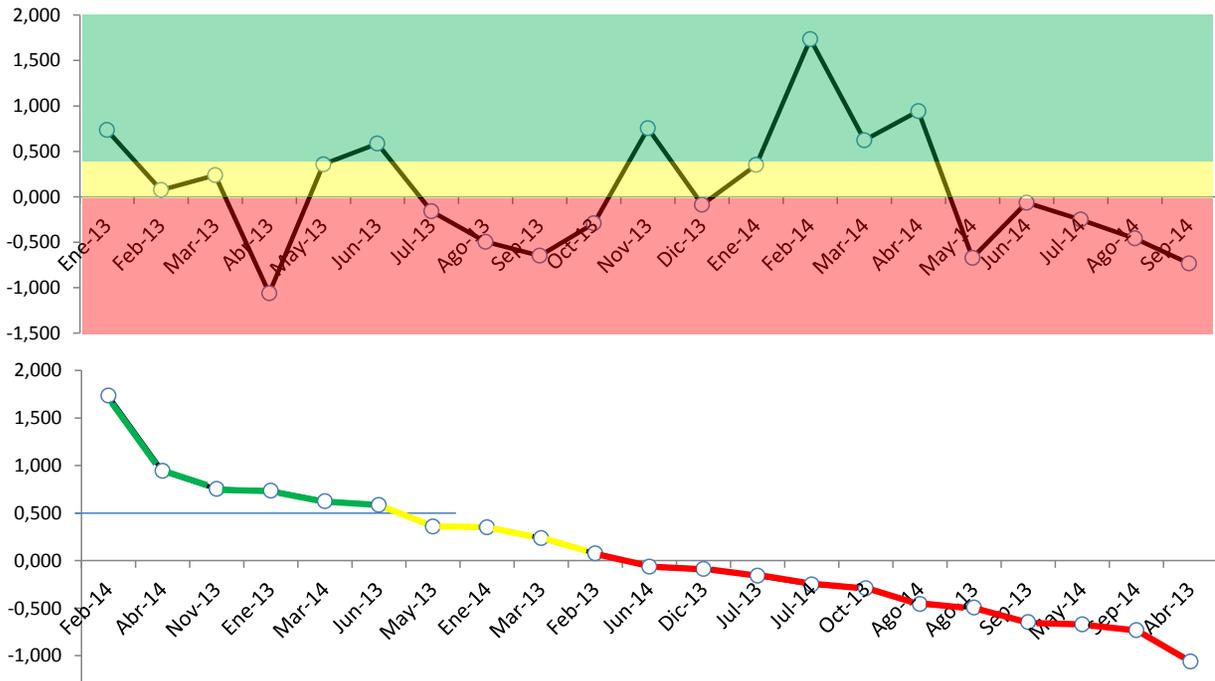
Del gráfico visualizado, se pueden emitir las siguientes observaciones:

- En general, el índice obtenido parece coherente con el desempeño de las variables (recordando que para los índices *Cumplimiento C1%* e *IG* el objetivo es un mínimo y para *Cumplimiento Prod%* el objetivo es un máximo). Los periodos de la izquierda del gráfico son los que tuvieron mejor desempeño en base a sus metas de producción, menores costos e índices de accidentabilidad. Se observa hacia la derecha un deterioro de los indicadores componentes (disminución del cumplimiento de producción, aumento de costos directos C1)
- El peor desempeño se obtuvo en Abril-2013, donde los presupuestos de producción y costos tuvieron un desempeño mediocre, pero la accidentabilidad (IG) fue extraordinariamente alta, debido a un accidente fatal.
- Existe un periodo, Marzo-2014, cuya desempeño de acuerdo al indicador ICP es muy bueno (quinto lugar entre los meses comparados). Sin embargo, en este periodo existió un accidente fatal, cuyo impacto en el ICP fue compensado por cumplimiento excelente del presupuesto de producción y bajos costos directos C1. Este comportamiento puede ser no deseado para las políticas de la empresa, cuyo cumplimiento en aspectos de seguridad es prioritario. Este fenómeno puede ser compensado al momento de la implementación y luego de sometido al panel de expertos, mediante un aumento en la ponderación del sub-indicador IG.
- Lo anterior muestra que el indicador refleja claramente la tendencia y los impactos de cambios en los indicadores que lo componen. En el caso de la fatalidad, el indicador muestra que cada vez que un accidente fatal ha ocurrido, la calidad del

cumplimiento ha tenido un impacto importante, que en algunos casos llevó meses recuperar.

Producto de lo anterior, es posible generar rangos tipo “semáforo” para establecer o generar acciones. Como se puede apreciar en Figura 4.4, cuando el valor de ICP está en la zona amarilla ($ICP < 0,5$) es cuando se deben generar las acciones que permitan revertir la situación y mejorar la calidad de manera de evitar llegar a valores negativos.

Figura N° 4.4: Rangos de valores ICP



5. DESARROLLO PANEL DE CONTROL

Un aspecto central, luego del desarrollo del indicador compuesto ICP a través de la metodología expuesta, es la correcta visualización de los resultados. La información a desplegar debe ser clara, coherente y poseer todos los componentes adicionales que permitan facilitar la toma de decisiones dentro de la Gerencia de Producción.

Para este propósito, el panel de control se convierte en la herramienta ideal para la visualización del indicador ICP y los sub-indicadores componentes, ya que permite desplegar todos los elementos decisivos en una pantalla única (o en un grupo acotado de visualizaciones).

Mediante la implementación de esta herramienta, se espera obtener:

- Una comunicación clara y visualmente coherente del desempeño obtenido por el área de Producción de la organización, a través de la difusión del indicador obtenido ICP (Índice Calidad de Producción).
- Simplificación de la comunicación de los indicadores importantes, mediante una sola interfaz única (y no visiones o tableros ad-hoc creados mediante esfuerzos puntuales).
- La consolidación de indicadores clave (Producción, Costos y Seguridad), que permitan efectuar un seguimiento permanente de los aspectos fundamentales para el logro de los objetivos anuales del área (y por lo tanto, de la organización)
- Detección de tendencias y desviaciones significativas que pongan en peligro el cumplimiento de los objetivos anuales.
- Sobre todo, información clave para la toma de decisiones en los niveles adecuados, que aporten al diagnóstico de las problemáticas presentadas.

Existen diversas herramientas que permiten desarrollar y distribuir un panel de control, desde las más sencillas y universales (por ejemplo, Microsoft Excel), hasta plataformas completas de Inteligencia de Negocios, en las cuales el panel de control es sólo una de las formas de exponer información y explotar las relaciones disponibles para la toma de decisiones.

Para este análisis, se utilizó la herramienta de Inteligencia de Negocios llamada Microstrategy (www.microstrategy.com), ya que aporta ventajas interesantes sobre algunas alternativas más simples (como por ejemplo, Microsoft Excel), a saber:

- Permite almacenar y procesar información en un sitio central, a través de bases de datos relacionales. Esta base de datos, fuente de la información de gestión, se denomina comúnmente *datawarehouse*.
- La construcción de los elementos (atributos, indicadores) se efectúa en un solo punto del proceso, sin intervención del usuario final.
- Permite desplegar la información sin requerir instalaciones adicionales de software (sólo con un navegador internet)
- Adicionalmente al panel de control, los elementos construidos (atributos e indicadores) permiten ser utilizados para la confección reportes que pueden contribuir a completar la visión entregada por el indicador ICP.
- La distribución de la información es central, mediante una única visión. Se evitan archivos independientes e inconexos entre sí que puedan dar versiones distintas de la misma realidad.
- Permite, a través de una pequeña implementación inicial, que la organización conozca una herramienta de Inteligencia de Negocios y los aportes que podría efectuar al desarrollo de la empresa, mediante la correcta entrega de información para la toma de decisiones.
- Es gratuita para pequeñas implementaciones, lo que no compromete el presupuesto inicial para el desarrollo de esta solución acotada.

Aun tratándose una implementación acotada, existen etapas en la implementación de una herramienta de inteligencia de negocios. Dichas etapas serán desarrolladas en la próxima sección principal del presente estudio.

1. Relevamiento inicial y detallado: Comprende el estudio de los aspectos de información que deben ser incorporados a la plataforma. Este proceso se efectúa junto a los actuales usuarios de la información, cuyo requerimiento consiste en disponer de una herramienta de reportabilidad central que permita múltiples combinaciones y extracciones de datos, independiente del sistema formal que alimente dichos datos. En algunas compañías, estos sistemas de base son múltiples. Bajo nuestra perspectiva, este estudio comprende el análisis de las necesidades de visualización del indicador ICP junto a sus componentes.

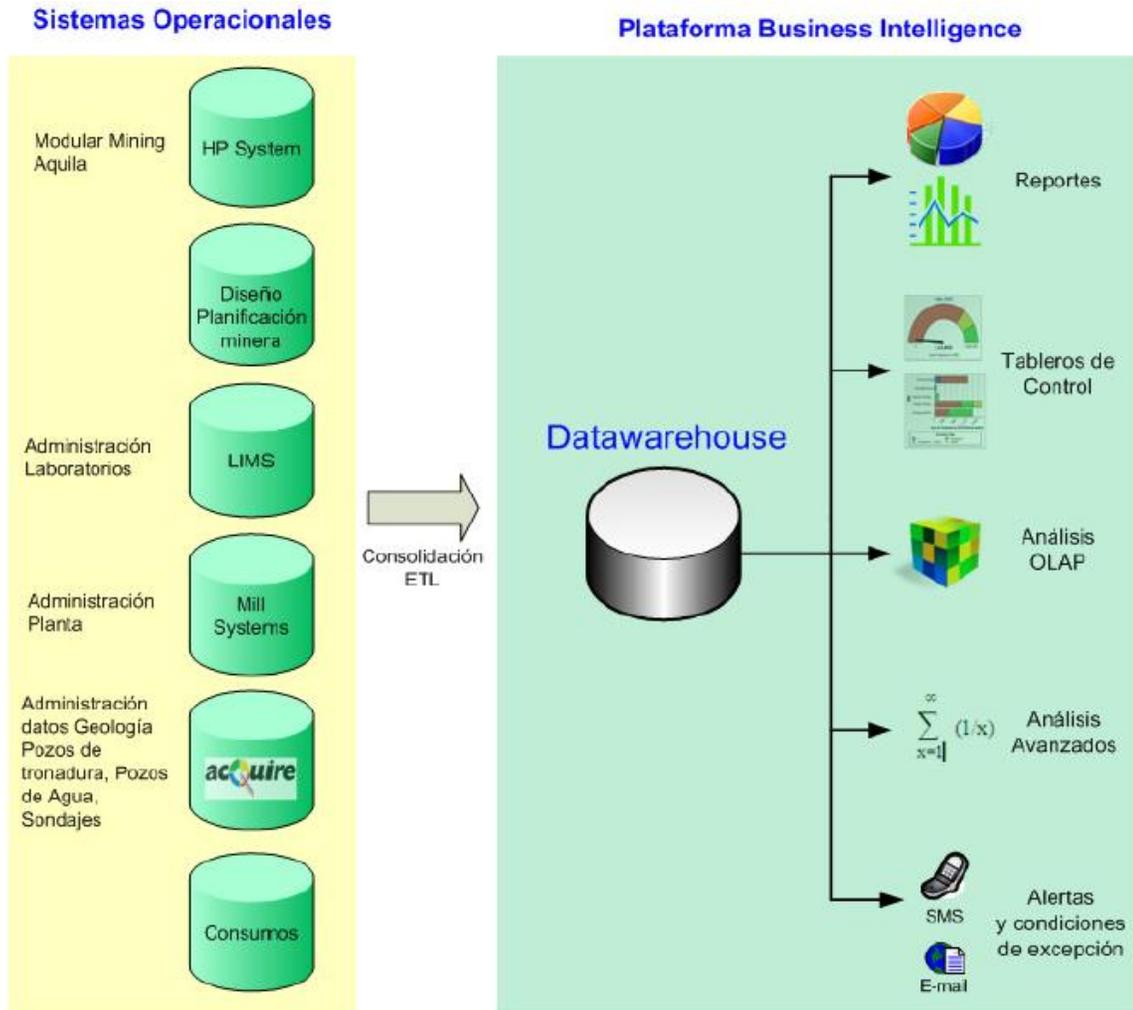
2. Estudio de los componentes de información existentes y detección de los atributos e indicadores requeridos para dar solución a los requerimientos
3. Diseño de la base de datos de gestión (DataWarehouse), cuya estructura permita almacenar los datos relevantes para el modelo propuesto.
4. Diseño de proceso ETL (Extracción, Transformación y Carga, por sus siglas en inglés): este proceso es el encargado de leer la información relevante de los sistemas de base y trasladarla al modelo de *datawarehouse* propuesto.
5. Diseño de los Objetos (atributos e indicadores) en la herramienta de Inteligencia de Negocios.
6. Creación de reportes y filtros básicos
7. Procesos de revisión de datos y pruebas de integridad
8. Capacitación de usuarios
9. Presentación final y cierre

Para el caso de estudio, toda la información requerida (sub-indicadores) se encuentra en un documento de tipo planilla de cálculo (Microsoft Excel) denominado ***Libro Mensual***. Este archivo, debidamente depurado y consistente en cuanto a la información contenida, es la fuente de datos única requerida para la extracción.

Por lo tanto, este archivo, en sus múltiples versiones anuales, debe estar disponible para la plataforma, con el objetivo de efectuar periódicamente la extracción de los datos actualizados para ser traspasados a la base de datos de gestión (*datawarehouse*).

Como se mencionó, si bien la implementación inicial es acotada, puede ser el comienzo de integraciones mayores, que permitan en un futuro la consolidación de toda la información de producción en un solo repositorio central de gestión. El proceso de centralización y extracción, se visualiza a continuación:

Figura N° 5.1: Esquema de Implementación solución Inteligencia de Negocios



Panel de control ICP

Para el diseño del panel de control ICP, se tomarán en cuenta los siguientes preceptos:

- Si bien el ICP es un indicador autoexplicativo (a valores mayores, mejor desempeño del área de producción y viceversa), es importante que sea colocado en un contexto relativo, que permita comparar con el resto de los periodos y visualizar la tendencia.
- Asimismo, la correcta visualización de los indicadores componentes (Cumplimiento C1 %, Cumplimiento Producción % e IG) a través de los distintos períodos, permitirá al usuario determinar el/los factor(es) que determinaron el buen (o mal) desempeño del indicador ICP.

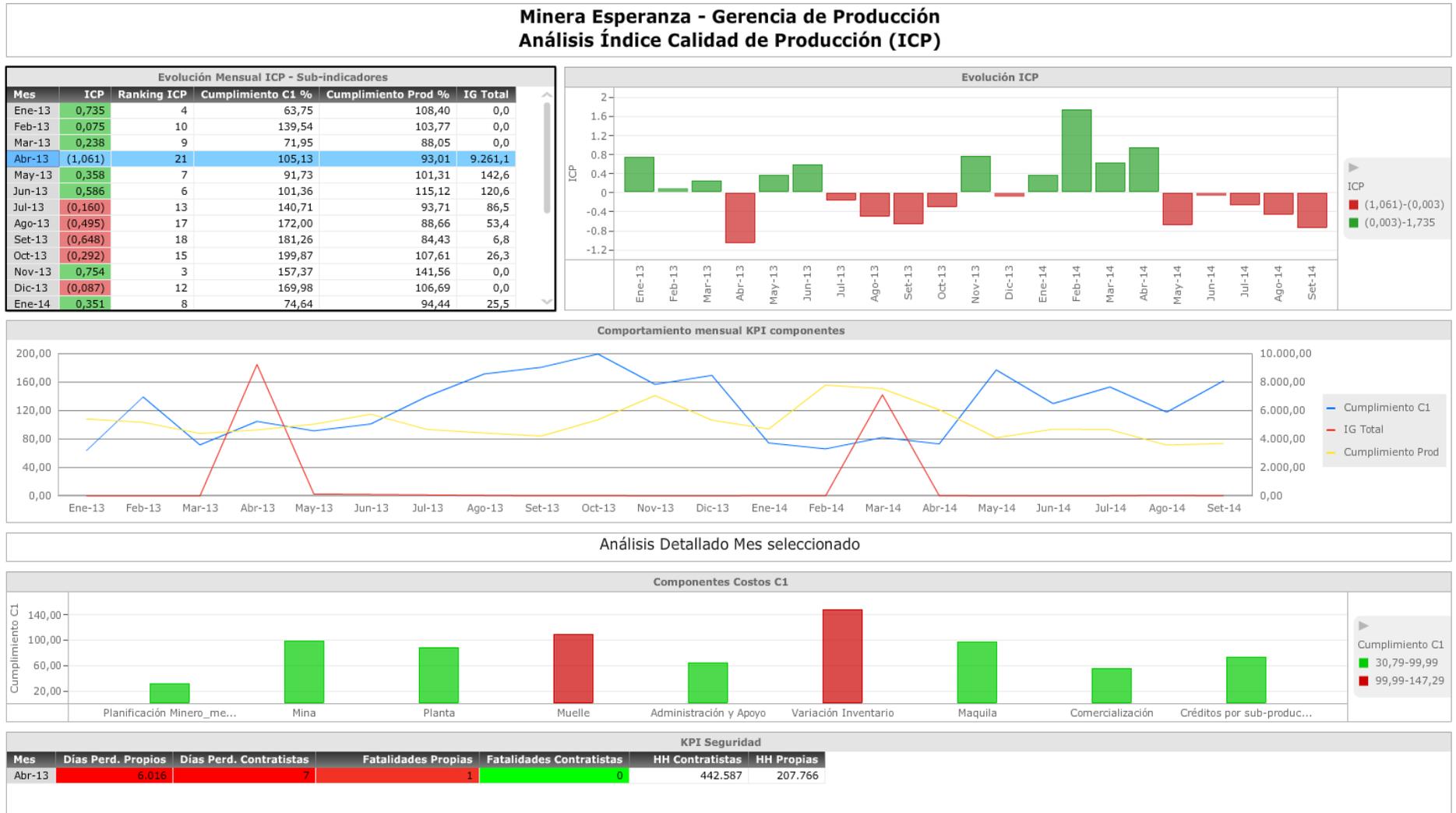
- Adicionalmente, es fundamental aportar mayor cantidad de información que permita (en caso de determinar el sub-indicador con problemas) ampliar el escenario y asistir de forma más exacta a la toma de decisiones. En el caso puntual, la información adicional a desplegar es:
 - **Cumplimiento C1:** sub-componentes de costo (área, sub-área o proceso). Estos costos agrupados generan el valor de C1 visualizado, y están medidos de forma separada, con su presupuesto debidamente establecido. Para C1, se pueden identificar:
 - Planificación Minero-Metalúrgica
 - Mina
 - Planta
 - Muelle
 - Administración y Apoyo
 - Maquila
 - Comercialización
 - Créditos por Sub-productos
 - Variación de inventario
 - **Seguridad:** identificación de días perdidos por accidentes y fatalidades, ya sean propios o de contratistas. Esta información permitirá dirigir adecuadamente las acciones hacia el sector con inconvenientes (determinación del contratista, aplicación de acciones para mitigar los riesgos, planes de ejecución acordados con los responsables de seguridad, etc.)

Esta información detallada se encuentra adecuadamente registrada en el archivo “Libro Mensual”, el cual ha sido la fuente de datos de todos los datos considerados.

En cumplimiento de estas premisas y utilizando la herramienta seleccionada (Microstrategy), se presenta a continuación el diseño del panel de control ICP, el cual posee dos áreas bien definidas y con distinto comportamiento:

- **Sección general:** visualizado por debajo del título del panel. Tiene por objetivo la visualización de los indicadores componentes para los meses seleccionados, el índice ICP obtenido (objetivo principal del presente estudio) junto a su Ranking relativo, junto a las evoluciones gráficas de los mismos, que permitan detectar tendencias o situaciones marcadamente irregulares.
- **Sección detallada:** permite visualizar niveles adicionales de detalle del mes seleccionado en la sección precedente, por lo que varía en función del elemento seleccionado. Tiene por objetivo el de ampliar los conceptos de Costo y Seguridad, para entregar información importante para la detección de situaciones sub-normales.

Figura N° 5.2: Pantalla Principal Panel de Control ICP



Este Panel posee los siguientes componentes:

Evolución Mensual ICP – sub-indicadores: presenta en formato de tabla, los datos mensuales del indicador ICP (objetivo principal), junto a los componentes y el ranking obtenido (relativo a los periodos visualizados). Esta tabla se utiliza como filtro de periodo mensual para el despliegue de la sección “Análisis Detallado Mes Seleccionado”, lo que permite ampliar los conceptos de información para un periodo en particular (en el ejemplo, se encuentra seleccionado el mes de Abril-2013).

Esta sección se constituye en la principal del panel, y muestra en formato de tabla el indicador ICP obtenido para los meses considerados, junto a los sub-indicadores componentes, que justifican el desempeño condensado en el valor de ICP. Visualmente permite identificar rápidamente los periodos cuyo desempeño fue superior a la base obtenida en 2013 (ICP=0), ya que se encuentran resaltados en color verde aquellos valores que han superado este valor y en rojo los que no lo han hecho.

Tabla N° 5.1: Evolución Mensual ICP - Subindicadores

Evolución Mensual ICP - Sub-indicadores						
Mes	ICP	Ranking ICP	Cumplimiento C1 %	Cumplimiento Prod %	IG Total	
Ene-13	0,735	4	63,75	108,40	0,0	
Feb-13	0,075	10	139,54	103,77	0,0	
Mar-13	0,238	9	71,95	88,05	0,0	
Abr-13	(1,061)	21	105,13	93,01	9,261,1	
May-13	0,358	7	91,73	101,31	142,6	
Jun-13	0,586	6	101,36	115,12	120,6	
Jul-13	(0,160)	13	140,71	93,71	86,5	
Ago-13	(0,495)	17	172,00	88,66	53,4	
Set-13	(0,648)	18	181,26	84,43	6,8	
Oct-13	(0,292)	15	199,87	107,61	26,3	
Nov-13	0,754	3	157,37	141,56	0,0	
Dic-13	(0,087)	12	169,98	106,69	0,0	
Ene-14	0,351	8	74,64	94,44	25,5	

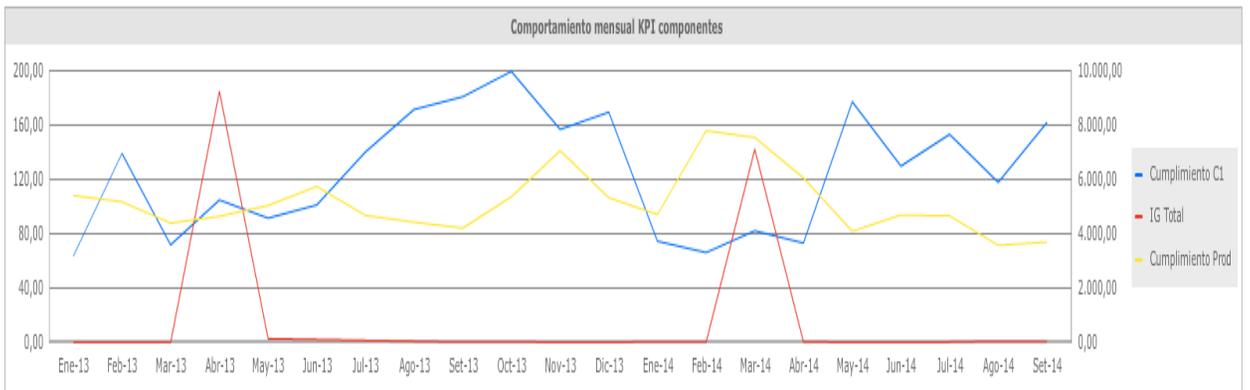
Evolución ICP: permite visualizar de forma gráfica (barras), el indicador ICP obtenido por periodo. Esto permite evaluar la evolución del indicador a través de los meses considerados.

Figura N° 5.3: Evolución ICP



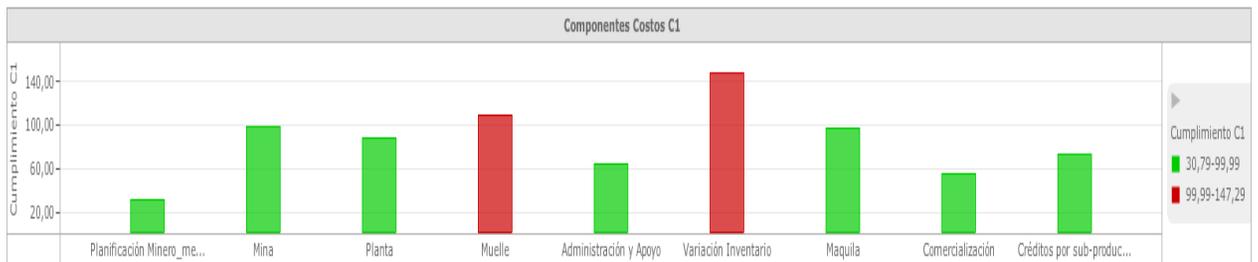
Comportamiento mensual KPI componentes: presenta gráficamente la comparativa mensual de los sub-indicadores componentes (Cumplimiento C1 %, Cumplimiento Producción %, IG), lo que permite ampliar la información entregada por el ICP y determinar el/los aspecto(s) que han influido negativamente (o positivamente) en la medición obtenida. En definitiva, el indicador ICP es una composición de estos valores y la visualización de la progresión de los mismos es de ayuda para entender el aspecto (o aspectos) con desempeño sub-estándar.

Figura N° 5.4: Comportamiento mensual ICP componentes



Componentes Costos C1: amplía el concepto de costo directo de producción C1, en sus componentes. Muestra de forma porcentual, el nivel de ejecución del presupuesto asignado a cada categoría, resaltando en rojo aquellos ítems con exceso de ejecución de su correspondiente presupuesto. El objetivo de esta sección es poder detectar qué sector/subárea/proceso ha subutilizado (o excedido) su presupuesto asignado.

Figura N° 5.5: Componentes Costos C1



KPI Seguridad: entrega mayor información sobre dicho aspecto, ampliando la información a indicadores como las fatalidades (propias y de contratistas) y los días perdidos por accidentes (propios y de contratistas). Esta información permitirá dirigir los esfuerzos necesarios para mejorar el desempeño de seguridad en la organización (ya sea mediante acciones propias o de contratistas). Se destacan en rojo aquellos indicadores que no han logrado el objetivo (que es cero en todos los casos).

Figura N° 5.6: Componentes KPI Seguridad

KPI Seguridad						
Mes	Días Perd. Propios	Días Perd. Contratistas	Fatalidades Propias	Fatalidades Contratistas	HH Contratistas	HH Propias
Abr-13	6.016	7	1	0	442.587	207.766

6. IMPLEMENTACIÓN INTELIGENCIA DE NEGOCIOS

En la sección anterior, correspondiente al diseño del panel de control previsto para la visualización del indicador integrado obtenido (ICP), se utilizaron elementos de la herramienta de inteligencia de negocios seleccionada para tal fin (Microstrategy).

Si bien la implementación específica de dicha herramienta no es objeto del presente estudio (cuyos resultados podrían desarrollarse en cualquier herramienta de Inteligencia de Negocios), es importante definir los pasos comunes que se deben ejecutar para la implementación de este tipo de soluciones. Estas especificaciones de diseño (atributos e indicadores, datawarehouse, fuentes de datos) serán de utilidad para futuras implementaciones independientes, de cualquier herramienta que permita la utilización de datawarehouses relacionales para su funcionamiento.

Los proyectos de Business Intelligence (BI) tradicionales comienzan con la justificación económica y las detección de las oportunidades de negocios que se pueden desarrollar con este tipo de tecnologías, etapa que se obviará al ser una implementación específica para la solución del indicador integrado estudiado (ICP), con sus objetivos y metas definidos oportunamente.

Las etapas siguientes a esta justificación inicial (y una vez definidos los equipos de trabajo internos y externos a la organización), son las siguientes:

6.1. RELEVAMIENTO INICIAL Y DETALLADO

En esta etapa, se estudian en detalle los requerimientos específicos del negocio y las necesidades de información expuestas por los usuarios clave de la organización. Estos requerimientos deben ser coherentes con los objetivos del proyecto de BI, que en este caso se refiere a la implementación de una solución que permita visualizar un panel de control para la Gerencia de Producción, conteniendo el indicador compuesto (ICP) y los indicadores componentes, junto a otra información de interés.

Una parte importante de este relevamiento ha sido ejecutado al diseñar el indicador compuesto, ya que para dicho proceso se estudiaron los datos disponibles y la frecuencia de compilación y distribución de los mismos.

6.2. ESTUDIO DE COMPONENTES

Proceso que permite identificar los conceptos de información necesarios para el diseño de los informes y paneles de control (identificados en la etapa anterior).

Del estudio de los requerimientos iniciales, orientados al diseño del panel de control propuesto, se han identificado los siguientes elementos (atributos e indicadores).

Atributos

- Mes
- Año

- Concepto de Costo: subdivisión del área/subárea al que pertenece el monto de gasto asociado.

Indicadores (o Métricas)

- ICP (Índice Calidad de Producción)
- Cumplimiento C1 %: porcentaje de cumplimiento del presupuesto de costo directo de producción (C1)
- Cumplimiento Producción % (Cu Fino): porcentaje de cumplimiento del presupuesto de Cobre Fino pagable filtrado.
- IG (Índice de Gravedad): índice que mide la cantidad de días perdidos debido a accidentes, por millón de horas trabajadas.
- Fatalidades Propias
- Fatalidades Contratistas
- Días Perdidos Propios (Accidentes)
- Días Perdidos Contratistas (Accidentes)

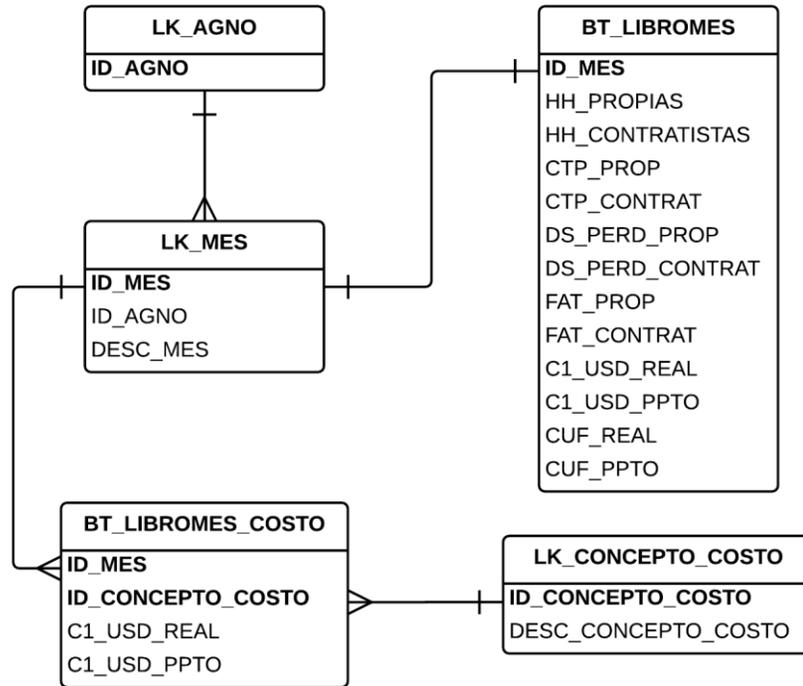
6.3. DISEÑO DE MODELO CONCEPTUAL - DATAWAREHOUSE

Un Datawarehouse es una base de datos corporativa que se caracteriza por integrar y depurar información de una o más fuentes distintas, para luego procesarla permitiendo su análisis desde infinidad de perspectivas con gran velocidad.

La ventaja principal de este tipo de bases de datos radica en las estructuras en las que se almacena la información (modelos de tablas en estrella, en copo de nieve, cubos relacionales, etc.). Este tipo de persistencia de la información es homogénea y fiable, y permite la consulta y el tratamiento jerarquizado de la misma (siempre en un entorno diferente a los sistemas operacionales).

Esta base de datos de gestión y consulta contempla todas las tablas y campos que permitan albergar los datos requeridos para cada atributo e indicador identificable en los pasos anteriores. De acuerdo a esto, se diseñó la estructura física del datawarehouse, que se visualiza a continuación (mediante diagrama de Entidad-relación), junto al diccionario de datos correspondiente:

Figura N° 6.1: Diagrama de Entidad-relación de estructura física del datawarehouse,



Para permitir el crecimiento de la aplicación, se ha considerado la utilización de los componentes de cada indicador contemplado y no el valor del indicador de forma directa. Por ejemplo: en lugar de almacenar el concepto “Cumplimiento C1 %” de forma directa, se consideran sus componentes (C1_USD_REAL, C1_USD_PPTO), dejando la aplicación del cálculo específico para la etapa de construcción de dicho concepto. Esta metodología aumenta la flexibilidad para el crecimiento de la plataforma (por ejemplo, en caso de que se requiera mostrar los valores de C1 Real o su presupuesto, y no sólo el nivel de cumplimiento).

Diccionario de datos – Datawarehouse

Tabla LK_AGNO

Tabla N° 6.1 : Almacenamiento del atributo “año”

Campo	Tipo	Descripción
ID_AGNO	Numeric(4,0)	Año en formato AAAA (Ejemplo: 2013,2014)

Tabla LK_MES

Tabla N° 6.2: Almacenamiento del atributo “mes”

Campo	Tipo	Descripción
ID_MES	Numeric(6,0)	Mes específico en formato AAAAMM (Ejemplo: 201405, 201406)
ID_AGNO	Numeric(4,0)	Año en formato AAAA
DESC_MES	Varchar(20)	Descripción de mes (Ejemplo: Abr-2013, Jun-2014)

Tabla LK_CONCEPTO_COSTO

Tabla N° 6.3: Almacenamiento del atributo “Concepto Costo”

Campo	Tipo	Descripción
ID_CONCEPTO_COSTO	Int	Identificador de concepto de costo (Ej: 1,2,3, etc)
DESC_CONCEPTO_COSTO	Varchar(50)	Descripción del concepto de costo. (Ej: Mina, Planta, Muelle)

Tabla BT_LIBROMES

Tabla N° 6.4: Almacenamiento de hechos, a nivel mensual

Campo	Tipo	Descripción
ID_MES	Numeric(6,0)	Mes específico en formato AAAAMM
HH_PROPIAS	Bigint	Horas Hombre de personal propio
HH_CONTRATISTAS	Bigint	Horas Hombre de personal de contratistas
CTP_PROP	Int	Número de Accidentes con tiempo perdido sucedidos para personal propio
CTP_CONTRAT	Int	Número de accidentes con tiempo perdido sucedidos para personal de contratistas
DS_PERD_PROP	Int	Días perdidos por accidentes, personal propio
DS_PERD_CONTRAT	Int	Días perdidos por accidentes, personal de contratistas
FAT_PROP	Int	Número de Fatalidades de personal propio
FAT_CONTRAT	Int	Número de Fatalidades de personal contratista
C1_USD_REAL	Money	Monto de costo directo de producción (C1) Real, expresado en USD
C1_USD_PPTO	Money	Monto de costo directo de producción (C1) Presupuestado, expresado en USD
CUF_REAL	Numeric(10,2)	Cobre Fino Pagable Filtrado Real, en Toneladas
CUF_PPTO	Numeric(10,2)	Cobre Fino Pagable Filtrado Presupuestado, en Tn

Tabla BT_LIBROMES_COSTO

Tabla N° 6.5: Almacenamiento de hechos, a nivel mensual y por concepto de costo

Campo	Tipo	Descripción
ID_MES	Numeric(6,0)	Mes específico en formato AAAAMM
ID_CONCEPTO_COSTO	Int	Identificador de concepto de costo (Ej: 1,2,3, etc)
C1_USD_REAL	Money	Monto de costo directo de producción (C1) Real, expresado en USD
C1_USD_PPTO	Money	Monto de costo directo de producción (C1) Presupuestado, expresado en USD

6.4. EXTRACCIÓN, TRANSFORMACIÓN Y CARGA

Durante este proceso se realiza la extracción de datos de interés para la gestión desde los sistemas de base (u operacionales), transformándolos adecuadamente para la unificación de interpretaciones y realizando la carga en la base de datos *datawarehouse* de destino.

Del proceso de relevamiento, se ha identificado la fuente de datos a utilizar para la extracción, que inicialmente será un archivo Microsoft Excel de distribución mensual, administrado por la gerencia general de la compañía. Luego de esta implementación, es recomendable gestionar los accesos correspondientes a los sistemas operacionales, que entreguen esta información de forma directa y eviten la utilización del archivo Excel como factor de intermediación. Cuando esto suceda, este proceso deberá ser rediseñado para efectuar la obtención de datos directamente desde los sistemas de base.

Para la implementación de este proceso se utilizó la herramienta **CloverETL**, una herramienta de código abierto cuyas funcionalidades permiten cubrir los requerimientos específicos del proyecto.

La adecuada documentación de la ubicación de los datos extraídos y los procesos de transformación aplicados es fundamental para el diagnóstico rápido de posibles inconvenientes al momento de la ejecución. Esta documentación incluye los datos específicos de cada campo de Datawarehouse (Tabla, Nombre de campo, tipo de dato), origen desde los sistemas operacionales y transformación aplicada, tal cual se puede visualizar a continuación:

Tabla N° 6.6: Documentación de datos específicos de campos de Datawarehouse

TABLA DW	CAMPO DW	TIPO DATO	FUENTE DATOS	CAMPO/UBICACIÓN	TRANSFORMACIÓN
LK_AGNO	ID_AGNO	Numeric(4,0)	Generación previa		
LK_MES	ID_MES	Numeric(6,0)	Generación previa		
LK_MES	ID_AGNO	Numeric (4,0)	Generación previa		
LK_MES	DESC_MES	Varchar(30)	Generación previa		
LK_CONCEPTO_COSTO	ID_CONCEPTO_COSTO	int	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas A6:A46	Número de fila del valor
LK_CONCEPTO_COSTO	DESC_CONCEPTO_COSTO	varchar(30)	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas A6:A46	
BT_LIBROMES	ID_MES	Numeric(6,0)	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D4:O4	Formato final AAAAMM mediante búsqueda en LK_MES (DESC_MES), retornando LK_MES.ID_MES
BT_LIBROMES	HH_PROPIAS	Bigint	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D7:O7	
BT_LIBROMES	HH_CONTRATISTAS	Bigint	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D9:O9	
BT_LIBROMES	CTP_PROP	Int	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D16:O16	
BT_LIBROMES	CTP_CONTRAT	Int	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D18:O18	
BT_LIBROMES	DS_PERD_PROP	Int	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D45:O45	
BT_LIBROMES	DS_PERD_CONTRAT	Int	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D47:O47	
BT_LIBROMES	FAT_PROP	Int	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D63:O63	
BT_LIBROMES	FAT_CONTRAT	Int	Libro Mensual / Hoja "Acciden"	Celdas D65:O65	
BT_LIBROMES	C1_USD_REAL	Money	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D51:O51	Valor * 1000
BT_LIBROMES	C1_USD_PPTO	Money	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D52:O52	Valor * 1000
BT_LIBROMES	CUF_REAL	Numeric(10,2)	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D61:O61	
BT_LIBROMES	CUF_PPTO	Numeric(10,2)	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D62:O62	
BT_LIBROMES_COSTO	ID_MES	Numeric(6,0)	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D4:O4	Formato final AAAAMM mediante búsqueda en LK_MES (DESC_MES), retornando LK_MES.ID_MES
BT_LIBROMES_COSTO	ID_CONCEPTO_COSTO	int	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas A6:A46	Número de fila del valor
BT_LIBROMES_COSTO	C1_USD_REAL	Money	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D6:O6, D11:O11, D16:O16, D21:O21, D26:O26, D31:O31, D36:O36, D41:O41, D46:O46	Valor * 1000
BT_LIBROMES_COSTO	C1_USD_PPTO	Money	Libro Mensual / Hoja "Costo 1"	Celdas D7:O7, D12:O12, D17:O17, D22:O2, D27:O27, D32:O32, D37:O37, D42:O42, D47:O47	Valor * 1000

Frecuencia de actualización: si bien los datos se actualizan una vez por mes (en el archivo Excel utilizado como fuente), el proceso ETL se ejecutará de manera diaria. Eventualmente pueden existir correcciones que sean necesarias traspasar tan pronto como sea posible.

6.5. DISEÑO DE OBJETOS

Consiste en la creación de los elementos relevantes (atributos, indicadores o métricas, filtros, jerarquías) dentro de la plataforma seleccionada (Microstrategy).

Previo a la creación de los objetos indicados, hay que efectuar la configuración inicial del proyecto, considerando que los elementos de software se encuentran debidamente instalados, mediante la ejecución de los siguientes pasos

- Creación del proyecto, con el nombre "Gestión Gerencia Producción".
- Configuración de la fuente de datos (datawarehouse), mediante conector de base de datos hacia el modelo construido (controlador SQL Server 2008 R2).

Con el proyecto debidamente configurado, se procede a construir los objetos requeridos. Uno de los factores necesarios para disminuir la complejidad de

construcción y simplificar el diseño, es la utilización del mismo nombre de campo para elementos que se refieren al mismo concepto. Esto permite que al momento de la construcción, la herramienta seleccione automáticamente las tablas a utilizar, donde se encuentre el campo marcado para utilización.

Adicionalmente, por cada atributo construido se deben indicar los campos utilizados para dos categorías básicas:

- **ID:** identificador único del atributo, generalmente utilizado para las llaves primarias o foráneas que enlazan las tablas de lookup (LK) con las tablas de hechos (BT). Generalmente este valor se oculta al momento de la utilización del atributo.
- **DESC:** descripción del atributo, que termina siendo el valor mostrado al momento de la utilización del mismo.

Atributos:

- **Carpeta “Tiempo”**
 - **Mes:** ID_MES (ID), DESC_MES (DESC)
 - **Año:** ID_AGNO (ID), ID_AGNO (DESC)
- **Carpeta “Costos”**
 - **Concepto C1:** ID_CONCEPTO_COSTO (ID), DESC_CONCEPTO_COSTO (DESC)

Indicadores

- **Carpeta “Seguridad”**
 - **Días Perd. Propios:** DS_PERD_PROP
 - **Días Perd. Contratistas:** DS_PERD_CONTRAT
 - **Días Perd. Total:** DS_PERD_PROP+DS_PERD_CONTRAT
 - **Fatalidades Propias:** FAT_PROP
 - **Fatalidades Contratistas:** FAT_CONTRAT
 - **Fatalidades Total:** FAT_PROP+FAT_CONTRAT
 - **HH Propias:** HH_PROPIAS
 - **HH Contratistas:** HH_CONTRATISTAS
 - **HH Total:** HH_PROPIAS+HH_CONTRATISTAS
 - **IG Total:**
 $(DS_PERD_PROP+DS_PERD_CONTRAT)*1000000/(HH_PROPIAS+HH_CONTRATISTAS)$
- **Carpeta “Costos”**
 - **Cumplimiento C1%:** $C1_USD_REAL / C1_USD_PPTO * 100$

- **Carpeta “Producción”**
 - **Cumplimiento Prod%:** $CUF_REAL / CUF_PPTO * 100$
- **Carpeta “KPI Integrado”**
 - **C1 Norm zscore (indicador oculto):** $([C1\ prom] - [Cumplimiento\ C1\ \%]) / [C1\ desv]$
 - **Prod Norm zscore (indicador oculto):** $([Cumplimiento\ Prod\ \%] - [Prod\ prom]) / [Prod\ desv]$
 - **IG Norm zscore (indicador oculto):** $([IG\ prom] - [IG\ Total]) / [IG\ desv]$
 - **ICP:** $([C1\ Norm\ zscore] * 0.33333) + ([Prod\ Norm\ zscore] * 0.33333) + ([IG\ Norm\ zscore] * 0.33333)$
 - **Ranking ICP:** Rank (ICP)
- **Carpeta “Constantes” (oculta):** utilizada para definir los valores constantes que serán utilizados para la normalización mediante técnica Zscore. Estos valores fueron establecidos utilizando los datos del año 2013 y expuestos precedentemente.
 - **C1 prom:** 132.89
 - **C1 desv:** 45.11
 - **Prod prom:** 102.69
 - **Prod desv:** 15.55
 - **IG prom:** 808.11
 - **IG desv:** 2662.50

Existen ciertos elementos que se encuentran ocultos al usuario final, ya que resultan elementos de cálculo intermedio que no tienen utilidad para su visualización directa.

6.6. CREACIÓN DE REPORTES BÁSICOS

Dentro de la herramienta utilizada, los paneles de control (como el que se quiere implementar a modo de objetivo final) están compuestos por “conjuntos de datos”, que son los que contienen la información (atributos e indicadores) que se van a utilizar para la construcción del panel.

Estos conjuntos de datos están conformados por reportes estándares de la herramienta, por lo que la tarea siguiente a la creación de los atributos e indicadores del paso anterior, es la construcción de estos reportes, que serán de utilidad para:

- Efectuar el proceso de revisión de datos y pruebas de integridad
- Conformar las fuentes de datos del panel de control diseñado

Del estudio del panel de control deseado, se identifican 3 conjuntos de datos necesarios, a saber:

- **Informe 1:** que permita diseñar las secciones “Evolución Mensual ICP – Sub-indicadores”, “Evolución ICP” y “Comportamiento mensual KPI componentes”. Posee los siguientes componentes:
 - Atributos
 - Mes
 - Indicadores
 - ICP
 - Ranking ICP
 - Cumplimiento C1%
 - Cumplimiento Prod %
 - IG Total

Figura N° 6.2: Esquema Informe 1 de Evolución Mensual ICP

Mes	ICP	Ranking ICP	Cumplimiento C1 %	Cumplimiento Prod %	IG Total
Ene-13	0,735	4	63,75	108,40	0,0
Feb-13	0,075	10	139,54	103,77	0,0
Mar-13	0,238	9	71,95	88,05	0,0
Abr-13	(1,061)	21	105,13	93,01	9.261,1
May-13	0,358	7	91,73	101,31	142,6
Jun-13	0,586	6	101,36	115,12	120,6
Jul-13	(0,160)	13	140,71	93,71	86,5
Ago-13	(0,495)	17	172,00	88,66	53,4
Set-13	(0,648)	18	181,26	84,43	6,8
Oct-13	(0,292)	15	199,87	107,61	26,3
Nov-13	0,754	3	157,37	141,56	0,0
Dic-13	(0,087)	12	169,98	106,69	0,0
Ene-14	0,351	8	74,64	94,44	25,5
Feb-14	1,735	1	66,47	156,12	17,3
Mar-14	0,623	5	82,40	151,28	7.129,3
Abr-14	0,942	2	73,40	121,56	23,6
May-14	(0,671)	19	177,65	82,08	0,0
Jun-14	(0,064)	11	130,19	94,18	20,5
Jul-14	(0,251)	14	153,63	93,46	6,9
Ago-14	(0,458)	16	118,21	71,77	39,7
Set-14	(0,732)	20	162,40	74,09	15,0

- **Informe 2:** de utilidad para el diseño de la sección “Componentes Costo C1”, con los siguientes elementos:
 - Atributos
 - Mes
 - Concepto C1

- Indicadores
 - Cumplimiento C1 %

Figura N° 6.3: Esquema Informe 2 de componentes Costos C1

Mes	Ene-13	Feb-13	Mar-13	Abr-13	May-13	Jun-13	Jul-13	Ago-13	Set-13	Oct-13
Concepto C1	Cumplimiento C1 %									
Planificación	68,20	108,41	67,10	30,79	141,54	71,67	105,46	91,75	209,82	139,57
Minero_metalúrgica										
Mina	82,63	95,98	83,11	98,62	118,33	127,32	121,14	108,23	107,20	135,49
Planta	108,92	127,87	83,81	88,13	89,84	83,00	82,17	83,37	99,54	116,61
Muelle	102,22	135,18	47,09	109,38	116,61	77,06	101,62	118,44	104,47	112,07
Administración y Apoyo	77,72	121,69	71,05	64,53	95,82	81,99	95,32	100,03	94,03	109,40
Variación Inventario	186,65	(4.230,96)	120,21	147,29	(68,06)	107,61	135,47	(464,70)	(68,96)	(25,09)
Maquila	108,59	100,92	85,68	97,22	104,94	103,41	89,22	86,82	78,88	105,36
Comercialización	86,47	77,96	92,11	55,38	53,61	88,44	74,11	75,78	55,07	139,03
Créditos por sub-productos	149,98	81,38	90,69	73,22	88,46	89,70	65,59	56,90	65,55	80,76
Total	63,75	139,54	71,95	105,13	91,73	101,36	140,71	172,00	181,26	199,87

- **Informe 3:** necesario para el diseño de la sección “KPI Seguridad”, con los siguientes elementos:
 - Atributos
 - Mes
 - Indicadores
 - Días Perd. Propios
 - Días Perd. Contratistas
 - Fatalidades Propias
 - Fatalidades Contratistas
 - HH Propias
 - HH Contratistas

Figura N° 6.4: Esquema Informe 3 de KPI de Seguridad

Mes	Días Perd. Propios	Días Perd. Contratistas	Fatalidades Propias	Fatalidades Contratistas	HH Propias	HH Contratistas
Ene-13	0	0	0	0	183.870	372.832
Feb-13	0	0	0	0	182.765	346.491
Mar-13	0	0	0	0	208.642	380.538
Abr-13	6.016	7	1	0	207.766	442.587
May-13	0	100	0	0	208.009	493.291
Jun-13	0	102	0	0	214.270	631.567
Jul-13	0	67	0	0	202.788	571.592
Ago-13	0	46	0	0	214.800	647.168
Set-13	0	6	0	0	211.132	669.838
Oct-13	0	24	0	0	217.157	694.041
Nov-13	0	0	0	0	221.313	608.555
Dic-13	0	0	0	0	218.969	600.410
Ene-14	18	7	0	0	202.140	778.264
Feb-14	0	15	0	0	205.389	661.160
Mar-14	0	6.000	0	1	227.175	614.418
Abr-14	20	0	0	0	230.960	616.779
May-14	0	0	0	0	234.672	666.930
Jun-14	0	21	0	0	227.559	795.246
Jul-14	7	0	0	0	220.949	798.838
Ago-14	27	17	0	0	238.245	871.408
Set-14	2	13	0	0	237.020	762.716

6.7. PROCESOS DE REVISIÓN DE DATOS Y PRUEBAS DE INTEGRIDAD

Estos procesos son extremadamente importantes para la confiabilidad de la herramienta (y la solución) que perciben los usuarios. Las revisiones y pruebas de integridad se efectúan considerando las siguientes tareas:

- **Comparación de los valores emitidos mediante reportes de sistemas operacionales (si los hubiese formalmente) y los informes emitidos por la solución:** en nuestro caso, estas tareas se realizaron sobre ciertos indicadores ya calculados en el archivo Excel utilizado como base de datos de origen (específicamente el Índice de gravedad). Adicionalmente, se efectuó esta comparación con los cálculos efectuados en la etapa de diseño del indicador ICP (archivo Excel de normalización y agregación para los periodos 2013-2014), con resultados satisfactorios.
- **Comparación de los valores emitidos por la solución con consultas independientes efectuadas directamente a la base de datos operacional (si fuese posible):** no aplicable a la presente solución.
- **Comparación de los valores emitidos por la solución con consultas independientes efectuadas directamente a la base de datos del datawarehouse:** efectuado con consultas de lenguaje SQL directamente a la base de datos de Datawarehouse, con resultados satisfactorios.
- **Comparación de los valores emitidos por la solución a distintos niveles. Esto implica verificar los valores cuando un mismo indicador puede ser calculado en distintos niveles (por ejemplo, mensual, anual, por detalle adicional):** se ejecutó mediante la comparación de los informes “Informe 1” e “Informe 2” vistos precedentemente. En estos informes, el indicador “Cumplimiento C1%” se calcula a distintos niveles ({Mes} para **Informe 1** y {Mes, Concepto C1} para **Informe 2**) y utiliza tablas distintas (BT_LIBROMES para

Informe 1 y BT_LIBROMES_COSTO para **Informe 2**). Los resultados fueron totalmente coincidentes.

Estas tareas permiten verificar que las etapas previas (sobre todo ETL y construcción de atributos e indicadores) fueron correctamente ejecutadas y calculan con precisión cada indicador planificado.

6.8. CAPACITACIÓN DE USUARIOS

La adecuada capacitación de los usuarios finales es fundamental para el éxito del proyecto. El proceso de aprendizaje de la herramienta de gestión (Microstrategy) se abordará en dos etapas:

1. Capacitación técnica en la herramienta (8 horas de duración): proceso que entrega los conocimientos necesarios para la utilización de la herramienta bajo su interfaz web, mediante la utilización de un modelo de datawarehouse de capacitación, e incluye:
 - a. Conceptos fundamentales de Herramientas de Gestión
 - b. Conocimiento general de la interfaz
 - c. Tipos de objeto: atributos, indicadores, filtros, selección dinámica
 - d. Diseño de informes: utilización de objetos, filtros, campos derivados, formato, totales y subtotales, exportación.
2. Capacitación específica del modelo (3 horas de duración): donde se aplican los conocimientos adquiridos específicos de la herramienta y se añaden los componentes del modelo de datos, atributos e indicadores específicos del modelo implementado. Esto se realiza en un ambiente de capacitación creado específicamente para tal fin, como réplica del ambiente de producción. Durante esta capacitación, se entregará la documentación de atributos e indicadores, para que los usuarios finales lo posean como referencia para la construcción de sus propios informes.

6.9. PRESENTACIÓN FINAL Y CIERRE

En esta instancia, se efectúa una reunión final con todos los interesados y participantes de la solución, donde se presentan las conclusiones del proceso de implementación y formalmente se inicia la utilización de la plataforma de inteligencia de negocios. Adicionalmente se entrega toda la documentación relacionada al proyecto, como ser:

- Diseño de modelos lógico/físico de datawarehouse
- Diccionario de Datos Datawarehouse
- Archivos ETL, mapa de campos extraídos
- Documentación de atributos y métricas
- Manuales originales de la herramienta empleada (Microstrategy)

7. IMPLEMENTACIÓN ORGANIZACIONAL – RECOMENDACIONES

En los capítulos precedentes, se ha efectuado el análisis detallado del requerimiento de la gerencia de operaciones, cuyas conclusiones generaron un indicador sintético (denominado ICP) y la implementación del mismo (junto con sus elementos componentes), mediante un panel de control sugerido que abarca los aspectos principales de cada sub-indicador utilizado.

La implementación final dentro de la organización del indicador sintético construido junto a la herramienta para su visualización y análisis (Microstrategy) será evaluada oportunamente, una vez que las conclusiones de este estudio sean presentadas a la gerencia de operaciones. Sin embargo, se expondrán los factores críticos y elementos a considerar en la implementación.

Para que dicha implementación sea exitosa y sustentable en el tiempo (aún para una solución de inteligencia de negocios sencilla como la propuesta), se requiere garantizar ciertos aspectos críticos, como ser:

- **Difusión óptima de la estructura de indicadores administrados en la solución:** haciendo énfasis en el cálculo del indicador compuesto creado (ICP). Una adecuada comprensión de este indicador por parte de los tomadores de decisión es vital.
- **Óptima relación entre TI y Negocio:** esto implica que exista una relación equilibrada entre el área tecnológica que implementa la solución técnica y aquellos que la utilizan. Se sugiere crear un perfil “híbrido” que provenga del área de negocio (gerencia operaciones) y que se capacite adecuadamente para entender el lenguaje específico del mundo de inteligencia de negocios. Esta persona generalmente es el “superusuario” que actúa como nexo entre ambas áreas.
- **Soporte ejecutivo:** a través del apoyo de la alta gerencia durante toda la implementación y explotación de la solución. Este “patrocinador” es aquel individuo que comprende la totalidad del valor de BI, ejerce una influencia positiva, transmite credibilidad y fomenta la confianza en su uso a todos los ejecutivos, tanto de las áreas técnicas como de negocio.
- **Cultura organizacional:** que apoye la toma de decisiones basada en hechos (y no sólo en percepciones), empodere a los niveles de toma de decisión y promueva la utilización de tecnologías de información para la mejora del desempeño organizacional.
- **Aspectos técnicos:** como la calidad de información entregada y la confiabilidad y disponibilidad de la plataforma utilizada (Microstrategy).

7.1. BENEFICIOS ESPERADOS

De la posible implementación de esta solución en la gerencia de operaciones (que incluye la lógica empleada para la confección del indicador sintético) se esperan los siguientes beneficios:

- Mejorar la percepción basada en hechos del desempeño del área y facilitar las comparativas mensuales/anuales.
- Orientar los esfuerzos y las decisiones a las sub-áreas o procesos con desviaciones presupuestarias.
- Medir de forma más eficiente el impacto de las decisiones tomadas, visualizando si dichas decisiones produjeron un cambio en los indicadores clave (incluido el indicador sintético).
- Difundir la existencia y posibilidades de este tipo de herramientas, lo que generalmente se traduce en la solicitud de ampliación del ámbito de aplicación en otras áreas o gerencias, hasta llegar gradualmente a la implementación corporativa.
- Disponer de una única fuente de consulta centralizada, que evite las múltiples fuentes de verdad que existe en las organizaciones.
- Fomentar la toma de decisiones basadas en información, traducidas en acciones concretas que generen un impacto medible en la organización (ciclo de información-decisión-acción).

Luego de una posible implementación inicial (junto con los beneficios esperados al interior de la gerencia en particular y la organización en general), se sugieren acciones específicas que permitan mejorar la solución diseñada y aumentar la base de información disponible (y por lo tanto las posibles decisiones que se pueden tomar con dicha información), como ser:

- **Extracción desde las fuentes:** lo que implica que la base de datos de gestión (datawarehouse) sea confeccionada con información proveniente de forma directa desde los sistemas operacionales de la compañía (y no mediante la intermediación de un archivo de tipo Excel como es en la actualidad). Esto permitirá disponer de información de gestión de forma diaria (y no necesariamente mensual como en la actualidad). Los presupuestos mensuales se pueden distribuir diariamente para permitir este nivel de detalle.
- **Ampliación de datos explicativos para cada sub-indicador componente:** lo que implica extender la capacidad del datawarehouse para abarcar otros conceptos fundamentales que servirán como explicación de los fenómenos de la realidad, cuya combinación terminan por conformar el indicador sintético ICP. Esta ampliación debería incluir:
 - Indicadores de Producción:
 - Leyes de mineral de interés (Cu) obtenidos
 - Tiempos de operación y detención de equipamiento de proceso de mineral en mina, planta y muelle.
 - Movimientos de material de mina a planta y planta a muelle
 - Indicadores de Costos (C1)
 - Detalle de proveedores
 - Detalle de conceptos de costo, mediante la clasificación del gasto efectuado
 - Indicadores de Seguridad:
 - Planes de acción y capacitación
 - Alertas emitidas sobre condiciones riesgosas (primeras alertas, alertas tempranas, etc)

8. CONCLUSIONES

La necesidad específica de la compañía de contar con información confiable de la calidad de sus procesos productivos, junto al estudio y aplicación de una metodología de clase mundial, ha permitido desarrollar un indicador altamente calificado para atender este requerimiento.

Los sub-indicadores utilizados para este proceso fueron seleccionados en base a su independencia, disponibilidad e idoneidad para reflejar el proceso a medir. Los métodos aplicados en cada etapa fueron estudiados detalladamente, aplicándose aquellos que por las condiciones de las variables y del proceso a medir fueron los más eficientes.

En cuanto al proceso específico de ponderación final (asignación de pesos de acuerdo a las importancias relativas de cada variable), la decisión de utilizar la ponderación igualitaria es temporal, y podría ser revisada en el futuro, dependiendo de la historia de cada indicador o de las opiniones de expertos, según las condiciones de la compañía. Esta arista abre un espacio de mejora o actualización del indicador de calidad. El uso continuo del indicador permitirá plantear el debate entre los directivos acerca de la importancia relativa de cada uno de los aspectos de la medición.

Es justamente este debate interno el que enriquecerá a la organización, independiente de la herramienta empleada o las metodologías específicas adoptadas. La confección de un indicador integrado que mida mediante un solo número el “que tan bien o tan mal se han hecho las cosas” es lo suficientemente importante y serio para generar un debate interno que enriquezca la visión y complemente la metodología empleada. No estamos hablando de cómo medir el tiempo utilizado de una maquinaria o qué horas considerar como trabajadas por el personal. El desafío es encontrar ese resumen perfecto que mediante un número permita detectar la condición cualitativa de todos los esfuerzos organizaciones y guíe los esfuerzos para mejorarlos.

Creemos que el presente estudio es un buen comienzo para generar dicho debate y perfeccionar la metodología, conforme se amplíe la base de datos disponibles mes a mes y la estadística permita comparar mayor cantidad de situaciones y emitir conclusiones al respecto.

Este proceso, debidamente conducido en el tiempo planteará interrogantes. Nueva información podría estar disponible para ser incorporada al proceso, lo que generará una nueva versión del indicador compuesto.

A su vez, los tomadores de decisiones requerirán de mayores niveles de detalle de los procesos subyacentes, que les permitan identificar el foco de los inconvenientes y actuar en consecuencia. Esta posibilidad de ampliar la base de información disponible (forme parte del análisis del indicador compuesto o no) es la razón fundamental de la elección de una herramienta de inteligencia de negocios para la visualización de los resultados. Desde el punto de vista técnico, cualquier herramienta de reportes hubiese bastado para este fin, pero es finalmente la capacidad de análisis multidimensional la que aporta el valor agregado. La posibilidad de comenzar en situaciones generales (por ejemplo: un mal indicador ICP para un mes particular) y terminar en situaciones particulares (Disponibilidad y Utilización del equipamiento de mina, para ese mismo

mes), es vital para una gestión adecuada del área. El contexto para plantear una solución global (inteligencia de negocios) para un ejercicio particular (visualización de indicador compuesto) es inmejorable, en tiempos de optimización de costos y maximización de rendimientos. Estoy convencido que el resultado de este estudio permitirá ampliar gradualmente la aplicabilidad de las tecnologías de gestión al resto de las áreas de la organización, donde aún hoy se invierte demasiado tiempo en obtener información útil para la toma de decisiones, en un proceso lento y repetitivo que no permite reaccionar adecuadamente.

Si bien la metodología empleada es muy amplia en cuanto a su posibilidad de utilización en organizaciones o empresas (y de hecho fue creada con el propósito de medir desempeños relativos entre países), el análisis específico y la selección de indicadores utilizados en el presente estudio es aplicable directamente en cualquier rama productiva. La composición de objetivos/indicadores de producción, costos y seguridad es común a cualquier proceso productivo y forman parte de los indicadores básicos a medir, por lo que es aplicable para estudiar el desempeño global de dicho proceso. Si bien pueden existir indicadores adicionales específicos a cada industria, estos debieran ser sub-indicadores de los ya seleccionados y por lo tanto dependientes de éstos (un análisis mediante método ACP –*Análisis de Componentes Principales*- debiera confirmarlo). La diferencia que puede existir entre cada industria radica fundamentalmente en la ponderación de cada uno de los indicadores utilizados, de acuerdo al tipo de industria, visión de la empresa o de sus directivos.

La información adicional específica de cada industria, si bien ya forma parte del indicador integrado de forma indirecta, puede utilizarse al momento de la implementación como dimensiones o métricas adicionales para explicar las causas subyacentes de los desempeños obtenidos. En este sentido, para el proceso estudiado (producción de cobre) es deseable la incorporación de elementos adicionales que permitan comprender mejor el fenómeno, como ser:

- Distribución de Tiempos del Equipamiento (Mina y Planta)
- Leyes de mineral obtenidos (por proceso)
- Eficiencia de los procesos de concentración de mineral
- Movimientos de material (por tipo)
- Conceptos de costo ampliados (tipo de gasto)
- Proveedores

Como se mencionó en los párrafos anteriores, la utilización de un indicador unificado que muestre el desempeño global del área, junto a una herramienta de inteligencia de negocios que permita visualizar no sólo dicho indicador, sino información adicional que posibilite detectar las causas de dicho desempeño, constituye una potente combinación de la que esperan beneficios importantes para la organización, como ser:

- Mejorar la percepción del desempeño del área y facilitar las comparativas mensuales/anuales.

- Fomentar el debate interno acerca del indicador propuesto, cuyas conclusiones alimenten posibles cambios a la metodología.
- Orientar los esfuerzos organizacionales.
- Medir de forma más eficiente el impacto de las decisiones tomadas.
- Difundir la existencia y posibilidades de este tipo de herramientas, hasta llegar gradualmente a la implementación corporativa.
- Disponer de una única fuente de consulta centralizada.
- Fomentar la toma de decisiones basadas en información, traducidas en acciones concretas que generen un impacto medible.

9. BIBLIOGRAFIA

Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E., (2008) Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. OECD publishing.:

<http://www.oecd.org/std/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>

Esperanza, Libros de cumplimiento plan de producción. Información clasificada de la compañía.

Domínguez M., Blanca FJ., Guerrero F., Gonzalez M., (2011). Una revisión Crítica para la construcción de indicadores sintéticos. REVISTA DE METODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMIA Y LA EMPRESA, ISSN: 1886-516X..