

**PROPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN INDUSTRIAL PARA LA SEMI-
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA MINERÍA
ARTESANAL DE ORO EN EL MUNICIPIO DE SEGOVIA**

**MARCO TULIO MESA CARDONA
XIMENA ANDREA VILLALOBOS VELASQUEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD PRODUCCIÓN Y DISEÑO
INGENIERÍA INDUSTRIAL
MEDELLÍN 2015
PROPUESTA
DE MODELO
DE
SIMULACIÓN
INDUSTRIAL
PARA LA SEMI-
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA MINERÍA**

ARTESANAL DE ORO EN EL MUNICIPIO DE SEGOVIA

**MARCO TULIO MESA CARDONA
XIMENA ANDREA VILLALOBOS VELASQUEZ**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Asesor

**Ing. JACOBO ECHAVARRÍA CUERVO
Facultad de producción, diseño y afines**

Co-asesor

**Mario Serna
Director Semillero de Investigación Ambiental (SIA)**

**INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD PRODUCCION, DISEÑO Y AFINES
INGENIERÍA INDUSTRIAL
MEDELLIN
2015
DEDICATORIA**

A Dios primeramente que ha guiado nuestro camino para iniciarnos en la travesía del conocimiento, por brindarnos las herramientas necesarias para culminar uno de los objetivos más importantes en nuestras vidas, por llenarnos de virtudes y cualidades que nos permitió no desfallecer en el trayecto y alcanzar este sueño; también a nuestra familia por ser nuestro apoyo durante todo el proceso de aprendizaje, motor y fuente inspiración, Agradecimientos totales por su paciencia, palabras de aliento que fueron sembradas en nuestros corazones y hoy nos permite ser personas de provecho para la sociedad, a la institución por abrirnos las puertas al mundo del saber y a cada una de las personas que indirectamente contribuyeron con un granito de arena para llegar a nuestro destino.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO por abrir las puertas del aprendizaje; a nuestro Asesor Jacobo Echavarría, que transmitió su conocimiento y nos brindó las herramientas necesarias para ser Ingenieros

provechosos para la sociedad, al Grupo de Investigación e Innovación Ambiental (GIIAM) encabezado por Juan David Ospina, quien nos incentivó a realizar nuestra investigación dentro del sector minero; también al Semillero de investigación Ambiental (SIA) por el acompañamiento y Co-Asesoramiento en el proyecto de parte de nuestros amigos Mario Serna, Juan Osorio y Jim Giraldo; a la Dirección de operación de investigación por proporcionar los recursos y generar las condiciones necesarias para el desarrollo del proyecto en sus diferentes etapas, y finalmente nuestra familia por ser parte de esta travesía y acompañarnos durante todo nuestro desarrollo como ingenieros, los más infinitos agradecimientos, ustedes son nuestro pilar y motivación principal para culminar nuestro sueño.

TABLA DE CONTENIDO

pág

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1. CUADRO DE DIAGNÓSTICO DE PLANTAS DE BENEFICIO DEL DISTRITO	

MINERO SEGOVIA-REMEDIOS	17
1.2. Planteamiento DEL PROBLEMA	20
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GENERAL	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. MARCO DE REFERENCIA	24
4.1. MARCO CONTEXTUAL	24
4.1.1. Localización	24
4.1.2. Descripción física	25
4.1.3. Habitantes en el municipio	25
4.1.4. Actividad económica	25
4.1.5. Actores involucrados	26
4.1.6. Proceso de Producción	28
4.1.7. Descripción del Proceso Productivo	28
4.1.8. Datos del proceso	30
4.1.9. Materia Prima y recursos de los entables mineros	31
4.2. MARCO TEÓRICO	33
4.2.1. Simulación	33
4.2.2. Ejemplo esquemático de categoría de análisis	34
4.2.3. Simulador Promodel®	39
4.2.4. Estandarización de procesos.	41
4.2.5. Distribución de planta	43
4.2.6. Producción segura	46
4.2.7. Producción limpia.....	47
5. DISEÑO METODOLÓGICO	48
5.1. Definición del tipo de INVESTIGACIÓN Y enfoque metodológico.....	49
5.2. Etapas o Secuencia lógica para el desarrollo del proyecto de exactitud.	49
5.2.1. Etapa 1: Observación del proceso.	49
5.2.2. Etapa 2: Identificación de información general del proceso	50
5.2.3. Etapa 3: Selección de la información específica requerida	51

5.2.4.	Etapa 4: Construcción del modelo actual de producción	51
5.2.5.	Etapa 5: Análisis de los resultados obtenidos en el proceso actual	52
5.2.6.	Etapa 6: Determinación de las alternativas industriales que se adapten al nuevo modelo de producción.	52
5.2.7.	Etapa 7: Construcción de un modelo propuesto de producción ideal	53
5.2.8.	Etapa 8: Construcción de una matriz de comparación de resultados	53
6.	RESULTADOS	54
6.1.	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	54
6.1.1.	Observación de proceso	54
6.1.2.	Identificación y recolección de la información	54
6.2.	SELECCIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA REALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN	63
6.2.1.	Distribución de planta	63
6.2.2.	Centros de trabajo	64
6.2.3.	Tiempos del proceso en cada centro de trabajo	65
6.2.4.	Evaluación del flujo de materias primas auxiliares (Entities)	66
	(Ver Tabla 14. Diagrama de precedencias)	68
6.2.5.	Medición en el modelo de simulación del entable minero.....	69
6.2.6.	Resultados de Etapa 1 de la Simulación en Promodel®	69
6.2.7.	Resultados de Etapa 2 de la Simulación en Promodel®	73
6.2.8.	Tiempo de simulación	75
6.2.9.	Análisis de resultados de entable promedio actual.....	76
6.2.10.	Alternativas industriales para producción limpia que se adaptan al nuevo modelo de producción	79
6.2.11.	Simulación de entable propuesto	85
856.2.12.	Simulación de entable propuesto Etapa 2	87
6.2.13.	Información estadística de interés	88
6.2.14.	Matriz de comparación de las simulaciones	92
6.2.15.	Producción más limpia	94
6.2.16.	Estandarización de insumos en el proceso de producción	96

LISTA DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1 Subregión Nordeste	24
Imagen 2 Casco Urbano	27
Imagen 3. Arrume de materia prima	31
Imagen 4. Máquina Trituradora	31
Imagen 5. Maquina Granuladora	31
Imagen 6. Bolas de manganeso	31
Imagen 7. Maquina marranera	31
Imagen 8. Tanque de Precipitación	32
Imagen 9. Tolva y banda transportadora.....	32
Imagen 10. Mesa Wifley	32
Imagen 11. Maquina JIG	32
Imagen 12. Baldes	32
Imagen 13. Minero	32
Imagen 14. Ejemplo esquemático de categoría de análisis	34
Imagen 15. Proyecto por etapas	38
Imagen 16. Simbología de procesos	42
Imagen 17. Representación de cursograma	43
Imagen 18. Diagrama del proceso	55
Imagen 19. Tiempos de producción	59
Imagen 20. Continuación de tiempos de producción	60
Imagen 21. Diagrama de flujo entable típico	61
Imagen 22. Distribución de planta de un Entable típico minero	63
Imagen 23. Etapa 1 de Simulación	69
Imagen 24. Etapa 2 de Simulación	73
Imagen 25. Simulación entable propuesto Etapa 1	85

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Cuadro de diagnóstico de plantas de beneficio	17
Tabla 2. Datos de las etapas del proceso	29
Tabla 3. Tabla de imágenes.....	31
Tabla 4. Proceso de ejecución de una simulación	36
Tabla 5. Diagrama de Gantt del diseño metodológico	48
Tabla 6. Análisis entable el diamante	56
Tabla 7. Análisis entable San Nicolás	57

Tabla 8. Análisis entable mina la valencia corazones N° 1	57
Tabla 9. Análisis Entable Mina la valencia corazones No.1	58
Tabla 10. Análisis entable granuladores El trébol	58
Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio)	64
Tabla 12. Tiempos de centros de trabajos	65
Tabla 13. Subproductos para cada centro de trabajo	66
Tabla 14. Diagrama de precedencias	68
Tabla 15. Datos de Locaciones del entable etapa 1	69
Tabla 16. Reporte de operación entable 1	72
Tabla 17. Datos de locaciones del entable Etapa 2	73
Tabla 18. Análisis de % de utilización de maquina	76
Tabla 19. Análisis de producción	77
Tabla 20. Capacidades	77
Tabla 21. Entable Balanceado	81
Tabla 22. Tiempo de producción	83
Tabla 23. Obtención de oro.....	84
Tabla 24. Precios de compra de metales preciosos	84
Tabla 25. Tiempos Usados en Promodel®.....	88
Tabla 26. Stat Fit Molienda	89
Tabla 27. Stat Fit Trituración	90
Tabla 28. Stat Fit Clasificación	91
Tabla 29. Comparativo Etapa 1	92
Tabla 30. Comparativo Etapa 2	92
Tabla 31. Consumo diario de agua	94
Tabla 32. Tratamiento de lodos	95
Tabla 33. Estandarización de insumos en el proceso de producción	96
Tabla 34. Esquematización de estrategia global producción más limpia	99

LISTA DE GRÁFICOS

Grafica 1. Resultados de ocupación de locaciones.....	70
Grafica 2. Resultados de uso de Recursos etapa 1	71
Grafica 3. Resultado de Ocupación de locaciones Etapa 2	74
Grafica 4. Uso de recursos Etapa 2.....	75
Grafica 5. Porcentaje de ocupación de locación entable propuesto, Etapa 1	85
Grafica 6. Uso de recursos Entable propuesto, Etapa 1	85
Grafica 7. Simulación Propuesta, Etapa 2	86

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Check List o Entrevista	50
Anexo 2. Tanques de sedimentación	98

GLOSARIO

CURSOGRAMA: Representación gráfica de procedimientos

DISPOSICIÓN: Ordenación de algo de la forma conveniente para lograr un fin.

ECOEficiencia: capacidad de disponer de recursos para conseguir un efecto determinado, dando uso amigable con el ambiente.

EPP: elementos de protección personal.

MENA: Mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica. Para poder aprovechar mejor la mena, suele ser necesario su tratamiento, que en general comprende dos etapas: el tratamiento en el sitio de mina para aumentar la concentración del mineral en cuestión (procesos hidrometalúrgicos, flotación, entre otros), y el tratamiento metalúrgico final, que permita extraer el elemento químico en cuestión (tostación, electrólisis, entre otros).

MESA CONCENTRADORA O MESA WIFLEY: Mesas llanas que oscilan horizontalmente y facilitan la separación (concentración) de los minerales descargados en ella. Son equipos muy conocidos que emplean la fuerza de la gravedad para la concentración, que consiste en la división de la pulpa en una corriente compuesta por una camada fluida, más o menos viscosa, en la parte superior y una turbulencia en el fondo del lecho (donde se produce la concentración de las partículas más pesadas, que viajan a través de los canales de los rifles en forma longitudinal).

MINERÍA DE HECHO: sin título.

PARTICULADO: Material minúsculo compuesto por diversas sustancias o elementos como pueda ser el polvo que se encuentra en suspensión en el aire

REFRACTARIEDAD: Propiedad de los tejidos excitables que determina la proximidad con la que pueden producirse dos potenciales de acción.

SEDIMENTOS: Materia que tras haber estado suspensa en un líquido se posa en el fondo del recipiente que la contiene.

TENOR: Porcentaje neto de mineral económicamente recuperable de una mena.

VARIACIÓN: cambiar de forma, propiedad o estado

PROPUESTA DE MODELO DE SIMULACIÓN

**INDUSTRI
AL PARA
LA SEMI-
ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA MINERÍA
ARTESANAL DE ORO EN EL MUNICIPIO DE SEGOVIA**

Autores: Marco Tulio Mesa Cardona
Ximena Andrea Villalobos Velásquez

Asesor: Jacobo Echavarria

Palabras Clave: Estandarización de proceso, Producción más limpia, Simulación industrial, Minería artesanal, Oro.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo proponer un modelo mediante simulación industrial que permita llevar la minería artesanal a un proceso semi-estandarizado en el cual se optimice los recursos y se garanticen niveles de seguridad en el proceso y producción limpia (minería responsable). La idea se desarrolló a partir de la necesidad de estandarizar el proceso productivo de los entables mineros del municipio de Segovia y el conocimiento de diversidad de factores que están relacionados a la falta de industrialización dentro del sector minero; por ende para cumplir con el objetivo se realizó una visita a cinco de los entables o plantas de beneficio del sector donde se logró extraer datos requeridos para el software Promodel®, esta información fue simplificada en un entable promedio y a partir de allí se ejecutó la simulación del entable actual y posteriormente un análisis para determinar las alternativas de solución para generar un entable propuesto.

Se puede concluir que la aplicación de esta herramienta ingenieril contribuirá a la visualización real de la operación del entable y obtención de una estrategia adecuada que permita vislumbrar la eficiencia de los recursos y la productividad de la planta, como también diseñar planes de acción para la mejora de los procesos.

**PROPOSAL FOR AN INDUSTRIAL SIMULATION FOR SEMI-
ESTANDARIZACION THE PRODUCTION PROCESS OF SMALL SCALE
MINING GOLD IN SEGOVIA , ANTIQUIA**

Authors: Marco Tulio Mesa Cardona
Ximena Andrea Villalobos Velásquez

Advisor: Jacobo Echavarría

Keywords: Process standardization, eco-production, Industrial Simulation, artisanal mining, gold

ABSTRACT

The aim of this work is proposing a model by means of industrial simulation that allows taking artisanal and small-scale mining to a semi-standardized process in which resources will be optimized, and security levels and clean production will be guaranteed. The idea was conceived from the need of standardizing the production process in the artisanal and small-scale gold mines located in Segovia, Antioquia; as well the need of achieving the knowledge of the various factors that are related to the lack of industrialization in the gold mining. By means of a survey that was made in five of the artisanal and small-scale mines of the region, it was possible to collect the required data to be used in the software Promodel®, all this information was then simplified and unified as an “average single small-scale mine” for the simulation and subsequent analyses looking forward to propose alternate solutions for an ideal or semi-ideal small-scale gold mine.

It is concluded that the simulation of the artisanal and small-scale gold mines will contribute to visualize the operation of real operation conditions and strategic planning as means of prediction for the efficiency, productivity, resources usage, and being able to design action plans to a better process.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo surge de la necesidad de proponer alternativas de semi-estandarización de los procesos de minería para la extracción del oro en un entable típico de la zona minera de Segovia-Remedios.

Adoptando herramientas de producción más limpia aplicadas en un modelo de simulación industrial en el software Promodel®, con el ánimo de analizar el proceso de producción actual y determinar los pasos para ejecutar un proceso sistemático de sus operaciones, materiales e información, disminuyendo sus costos y mitigación al impacto ambiental.

Los entables podrían ser los mayores beneficiados con la aplicación y uso de estas herramientas sistemáticas, dado que al implementarse una forma semiestándar de operación se podrá reducir la varianza y aumentar la productividad en las operaciones de beneficio de minerales, disminuyendo así los costos del proceso.

Inicialmente los entables mineros desarrollaban su producción sin tener un patrón a seguir, causando esfuerzos y costos innecesarios que traen consigo variedad de pérdidas, este hecho obliga a buscar una medida que contrarreste el daño causado y permita la semi-estandarización en los procesos productivos.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la última década se ha presentado un auge minero en Colombia de grandes proporciones, el cual se ha caracterizado por un desordenado crecimiento en la explotación del oro, sin una adecuada visualización sistemática del proceso de beneficio en el flujo de materiales e información los entables mineros, lo que conlleva a un aumento en los costos de producción en las etapas del proceso.

La industria minera en Colombia es una de las locomotoras de desarrollo del país llegando a ocupar el puesto 19 en el año 2011 al producir el 2,1% de Oro en el mundo y el sexto lugar en Latino América. Según (WORLD COAL, 2011); como se muestra anteriormente la minería, constituye una actividad económica de gran relevancia representando también una fuente de ingresos para el estado por medio de regalías. Cabe destacar que la producción del oro aumento más de un 300%, puesto que en el año 2006 se producía 15.8 toneladas de oro y en el año 2011 la producción llego a 55,9 toneladas según información del periódico (El Tiempo, 2014). A pesar de estos antecedentes de crecimiento en producción, la minería es uno de los sectores más criticados debido a sus diversas dificultades en los frentes sociales, industriales y ambientales; dado su forma artesanal y la informalidad en su proceso productivo, generando variabilidad en costos de producción y daños ambientales.

En 2010, la Defensoría del Pueblo reportó que el 28% de las unidades de explotación minera de hecho (sin título) se dedican a la explotación de oro. Además, de las 4,133 Unidades de Producción Minera de oro censadas, el 86,7% no contaban con título minero (MINISTERIO DE MINAS, 2012), como si esto fuera poco, en las regiones donde se adelantan labores de exploración y explotación de oro, la situación de violencia, extorsiones y asesinatos son acentuadas (CINEP, 2012).

El país cuenta con 4,133 minas de oro representados en 90,9%, de esta cifra tan solo 13,3% (549 minas son legales) (MINISTERIO DE MINAS, 2012).

Actualmente Antioquia cuenta con 1,526, de la cuales 186 son legales y 1,339 son ilegales, por consiguiente, una inadecuada formulación y planeación del manejo minero industrial-ambiental.

Colombia es un país con riquezas en oro, cuya explotación se realiza, en gran medida, en pequeña escala y de manera artesanal. Durante el proceso de beneficio del metal (Recuperación de mineral), muchas de las plantas de producción utilizan mercurio, cianuro y otros elementos de alta toxicidad que al ser

manipulados en forma inadecuada ocasionan grave daño a la salud y al medio ambiente.

Actualmente en Segovia se cuenta con 84 plantas de beneficio según (Alcaldía de Segovia, 2014) representando el 6,6% de la producción de oro nacional, en las cuales se realiza la actividad industrial con aplicación de escasas tecnologías limpias y de punta, que originan un alto grado de contaminación por depósito de lodos de amalgamación y cianuración, en ríos y quebradas, contaminación atmosférica con mercurio, zinc, plomo, arsénico, azufre, entre otros.



La poca instrucción técnica y la escasa inversión en los pequeños entables, conlleva a la realización de procesos poco productivos y alta contaminación que da origen a un elevado porcentaje de pérdidas económicas y ambientales.

Se puede puntualizar que la minería en pequeña y mediana escala es una empresa mal planificada desde el punto de vista industrial, puesto que en los entables mineros (Plantas de producción) donde se hace todo el proceso de extracción de oro, se evidencia la falta de inversión en materia industrial; pertinente a recursos humanos, tecnológicos, de infraestructura y conocimiento. Otra característica significativa es el ineficiente funcionamiento en cada una de las etapas del proceso, lo cual representa altos costos de producción; se estima que un alto porcentaje de las ganancias que genera la actividad se pierden en los procesos de molienda y trituración según los mineros de los entables; el desconocimiento de las características mineralógicas de la materia prima impide que se tenga una metodología adecuada para el procesamiento y por ende se dificulta su estandarización en Requerimientos hídricos, energéticos, maquinaria e insumos y eventuales tiempos prolongados en la ejecución de operaciones.

En la práctica, los entables mineros no utilizan reportes para mantener un historial de mantenimiento en la maquinaria, lo cual dificulta el control y seguimiento a los paros en el proceso (Periodos improductivos), dado que no existe maquinaria de alta tecnología en los pequeños entables las acciones son correctivas y muy artesanales; Otra característica significativa es la ocurrencia de accidentes, puesto que la operación es empírica y el trabajador determina la forma de ejecutar su acción y la maquinaria no cuenta con los dispositivos de protección adecuados, todo esto da origen a los patrones culturales y a la ausencia de capacitación e información de mejores prácticas de seguridad, salud ocupacional y tecnologías limpias, finalmente la acumulación de sedimentos no tiene una disposición final adecuada, aumentando la contaminación ambiental. (Ver Tabla 1. Cuadro de diagnóstico de plantas de beneficio)

Tabla 1. Cuadro de diagnóstico de plantas de beneficio

1.1. CUADRO DE DIAGNÓSTICO DE PLANTAS DE BENEFICIO DEL DISTRITO MINERO SEGOVIA-REMEDIOS			
FACTOR EVALUACIÓN	RESULTADO		EVIDENCIA FOTOGRAFICA FOTOGRÁFICA
	CAUSA	EFEECTO	
Materiales	Desconocimiento de la cantidad de Oro dentro de la mena	Dificultad para la estandarización total del proceso.	
Maquinaria	Evidencia de maquinaria artesanal	Desconocimiento de la capacidad para aumentar la competitividad del sector.	 
	Falta de un plan de mantenimiento	Aumento de los costos de mantenimiento y paros en la producción	
	Desconocimiento de la capacidad instalada	Sobreutilización de maquinaria o falta de utilización depreciación acelerada	

Mano de Obra	Falta de Uso de EPP	Aumento de posibles accidentes y enfermedades laborales	
	Patrones culturales	Conocimiento empírico	
Movimiento	Arrume de mineral en las vías de la planta	Dificultad de desplazamiento material y hombre	
Esperas	Paros de maquinas	Demoras en el flujo de proceso	

<p>Servicios Auxiliares (Vías)</p>	<p>Arrumes de material y Falta de delimitación de áreas</p>	<p>Posible Aumento de accidentes e incidentes laborales</p>	
<p>Edificio</p>	<p>Falta de inversión en infraestructura física</p>	<p>Posible desastre físico, accidentes, pérdidas humanas, maquinaria</p>	

Fuente: Elaboración propia basada en la guía de observación (2014)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Es posible que por medio de una simulación con Promodel® en los entables mineros de Segovia – Remedios, se puedan aplicar estrategias que permitan proponer una orientación para mejorar la actividad productiva en la recuperación del mineral, optimizando los recursos y haciendo de esta una producción más limpia?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo mediante simulación industrial que permita llevar la minería artesanal a un proceso semi-estandarizado en el cual se optimice los recursos y se garanticen niveles de seguridad en el proceso y producción limpia (minería responsable).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el estado actual de los entables mediante una simulación del proceso, utilizando el software Promodel®.
- Comparar el estado actual, con la propuesta de alternativa de mejora mediante una simulación en el software Promodel®.
- Sugerir las alternativas de mejora que permitan estandarizar el proceso productivo en cada una de sus etapas.

3. JUSTIFICACIÓN

Para los entables del distrito minero de Segovia-Remedios es importante la implementación de estrategias industriales que permitan aproximaciones a la estandarización de procesos que por su naturaleza pueden ser muy variables.

Esta semi-estandarización podría permitir que el proceso tenga un flujo sistemático de sus operaciones, materiales e información, disminuyendo así sus costos, accidentes laborales y mitigación al impacto ambiental.

De este propósito deriva la necesidad de establecer ciertas herramientas que homogenizan los trabajos en cada una de las etapas de transformación, como base fundamental se requieren aplicar procedimientos, técnicas, y principios básicos para la correcta planificación en el ámbito industrial.

Los entables son los mayores beneficiados con el uso y aplicación de estas herramientas sistemáticas, dado que implementándose una forma semi-estándar de trabajo se va reducir la varianza, desperdicio y desequilibrio realizado en las operaciones de producción, para generar mayor facilidad, rapidez y menores costos

teniendo en cuenta siempre la seguridad del proceso y la reducción del impacto ambiental.

Con la utilización de herramientas metodológicas, se busca disminuir los costos por requerimiento de recursos (hídricos, energéticos, maquinaria e insumos, hombres y tiempos prolongados), cumplir a la inversión en materia industrial, pertinente a recursos humanos y conocimiento, puesto que es necesario que el personal obtenga una instrucción técnica sobre su nuevo proceder a laborar; Otra característica significativa inherente a estas herramientas, es la eliminación de posibles cuello de botella en el sistema que permitirán tener una dirección para ajustar las cargas fabriles uniformemente y por consiguiente la continuidad del flujo y eliminación ineficiente de materia prima en la línea productiva. También la posibilidad de trabajar en el acotamiento de los tiempos en las etapas de trituración y molienda, considerando sugerencias de seguridad industrial y salud ocupacional, de tal forma evitar accidentes laborales y una adecuada manipulación de químicos que contienen alta toxicidad tanto para la salud como el medio ambiente.

Con la adopción de estos mecanismos se podrá visualizar el flujo de información y materiales; de tal forma se optimizan las entregas de los procesos internos con el cumplimiento de los procesos técnicos evitando toda clase de reproceso.

La intención primordial es visualizar las plantas de procesamiento aun no construidas y poder predecir el efecto de cambios en las plantas existentes; también obtener soluciones en otros frentes relacionados con la problemática:

Frente Social: Desde el punto de vista industrial, la solución de la problemática en los entables, tendría repercusión positiva en el frente social puesto que aumentaría la curva de aprendizaje en los trabajadores dado que sería necesario capacitarlos para la nueva ejecución de procedimientos en los entables y esto implicaría ampliar sus conocimientos educativos.

Frente ambiental: Desde esta perspectiva, obtener la capacidad adecuada para el procesamiento en planta y el flujo adecuado, mitigaría la huella ambiental de los entables, puesto que, se tendría el consumo adecuado de los recursos utilizados para el procesamiento de los minerales.

Frente cultural: Desde esta perspectiva, se romperían con patrones culturales ya idealizados por los trabajadores, enseñando otra manera de realizar el trabajo donde se optimiza el tiempo, recursos, preservación de la vida y medio ambiente.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO CONTEXTUAL

4.1.1. Localización

El Nordeste antioqueño, está localizado sobre la margen oriental de la Cordillera Central (Ver Imagen 1 Subregión Nordeste), al suroeste de la Serranía de San Lucas, entre los ríos Porce, Nechí, Nus y Alicante. Está conformado por diez municipios: Amalfi, Anorí, Cisneros, Remedios, San Roque, Santo Domingo, Segovia, Vegachí, Yalí y Yolombó.



Imagen 1 Subregión Nordeste
Fuente:(REMEDIOS, 2008)

4.1.2. Descripción física

El municipio de Segovia está situado a 7°, 04', 28" de latitud Norte y a 74°, 41, 56" de longitud Oeste de Greenwich. La cabecera urbana está ubicada a una altura de 650 metros sobre el nivel del mar y su temperatura medio es de 24°C. Se encuentra a una distancia por carretera a Medellín de 227 Kilómetros, la vía es destapada y en regulares condiciones. (FONADE, 2015)

4.1.3. Habitantes en el municipio

Según (Alcaldía de Segovia, 2014)

No. Habitantes Cabecera: 31.761

No. Habitantes Zona Rural: 5.811

Total: 37.572

Distribución por sexo:

No. Hombres: 18935

No. Mujeres: 18637

4.1.4. Actividad económica

Según (Alcaldía de Segovia) Se concentra principalmente en la exploración y explotación del material aurífero, el municipio produce el 39,4% del total de la región en oro y el 6,66% de la producción nacional.

El Comercio. Se desarrolla principalmente en el área urbana y gira en torno a la industria extractiva del material aurífero con los entables, las compras de oro, la provisión de víveres, la venta de licores, y almacenes de misceláneas.

4.1.5. Actores involucrados

Multinacionales; según (LAS2ORILLAS, 2014)

4.1.5.1. Minerales Andinos de Colombia, Gran Colombia Gold.

Gran Colombia es una compañía de exploración de oro y plata, con su foco principal en el país. Actualmente es el mayor productor de oro y plata bajo tierra en Colombia, con varias minas subterráneas en operación en Segovia y Marmato

4.1.5.2. AngloGold Ashanti Colombia S.A

Es la tercera productora de oro en el mundo. La Gigante Sudafricana tiene asignados 406 títulos mineros en el país, distribuidos en cinco proyectos que abarcan 781 hectáreas divididas así: La Colosa en el Tolima, Quebradona y Gramalote en Antioquia, Salvajina en el Cauca, la Llanada en Nariño, Chaparral en el Tolima y Rio dulce en Antioquia.

4.1.5.3. Negocios Mineros S.A

Tiene 88 títulos que comprenden 35 mil hectáreas en los departamentos de Antioquia, Chocó, Risaralda, Cauca y Tolima. Esta firma hace parte del Grupo Allen cuyo Gerente y representante legal es el ingeniero Robert William Allen, también Director de Grupo de Bullet SA.

4.1.5.4. Continental Gold De Colombia

Ésta firma también hace parte del Grupo Allen. Tiene asignados 67 títulos repartidos en 79 mil hectáreas en los municipios de La Vega y La Sierra en el Cauca, Bagadó y Lloró en Chocó, Suratá y Vetan en Santander, Silos y Mutiscua en Norte de Santander y en Antioquia.

4.1.5.5. Mineros S.A

Es una firma conformada con capital Nacional que tiene adjudicados 67 títulos mineros. Sus mayores accionistas son el Grupo Colpatria de la familia Pacheco y la Corporación Financiera Colombiana, controlada por Carlos Ardila Lulle, sus operaciones se extienden en 116 mil hectáreas en los municipios del Bagre, Zaragoza y Nechí, Bajo Cauca Antioqueño y tiene una producción anual de 120 mil onzas aproximadamente.

- Pequeños mineros
- Campesinos
- Bandas criminales (Urabeños, Rastrojos, Paisas)

- Comerciantes



Imagen 2 Casco Urbano

Fuente: Elaboración propia basada en la guía de observación (2014)

Las principales características de los entables o plantas de beneficio en la zona de Segovia y Remedios son:

- Se ubican en especial dentro de los cascos urbanos de la zona.
- Se abastecen de aguas subterráneas y superficiales.

4.1.6. Proceso de Producción (Ver Figura 1. Diagrama de proceso)

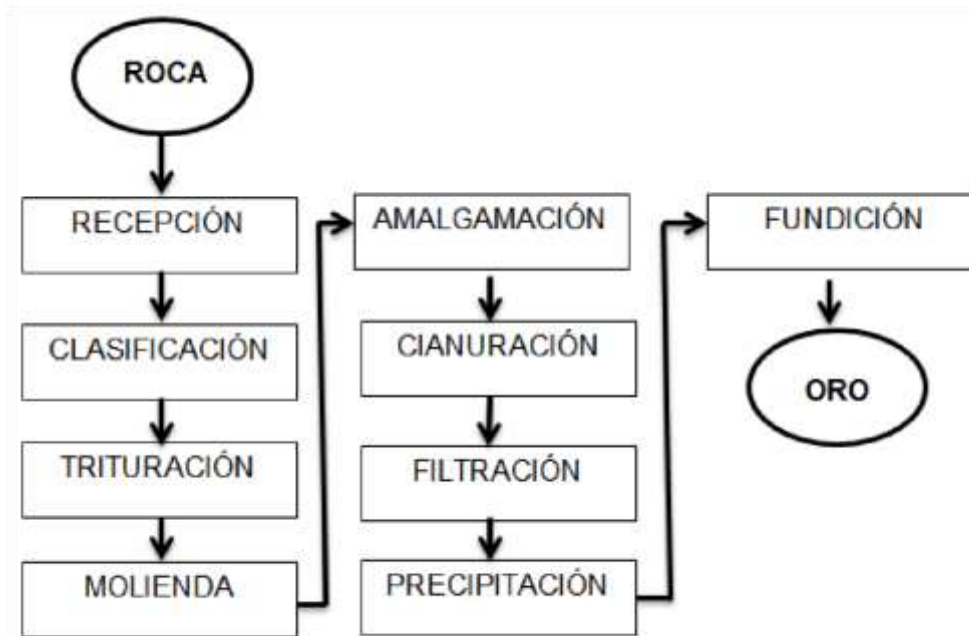


Figura 1. Diagrama de proceso

Fuente: Elaboración propia basada en la guía de diagramación de proceso (2014)

4.1.7. Descripción del Proceso Productivo

Fuente: Elaboración propia basada en la Observación del proceso

1. El mineral es extraído de la mina y posteriormente transportado a los entables para su almacenamiento y proceso de transformación.
2. El mineral es clasificado dependiendo de su tamaño
3. El mineral ingresa a una máquina trituradora de quijada y una vez terminado su proceso se determina que cantidad pasa a molienda y que cantidad se debe re-procesar.
4. El mineral triturado pasa un proceso de molienda, donde se disminuye su tamaño a malla 200 (75 μ m).
5. Posteriormente el mineral triturado pasa al proceso de amalgamación en una maquina denominada "cocos" con (Limón, melaza y mercurio), con una oscilación de tiempo entre 2 a 4 horas, el fin de este proceso es obtener partículas más pequeñas para la búsqueda del oro.
6. El mineral es extraído de los cocos, tiene un subproceso llamado relave donde el minero con la reutilización del mercurio e implementos como bateas, tanques o marraneras y tela impermeable, separa una cantidad de amalgama con partículas de oro, este proceso tiene una duración de 1 a 2 horas; también es usual el subproceso de retortas puesto que al material particulado denominado "jaguas" por medio de esta máquina permite extraer los excesos de mercurio y separarlos del oro, esta funciona llevándola a una temperatura de más 360°C

- grados y un recipiente de agua que condensa el mercurio evaporado convirtiéndolo nuevamente en líquido.
7. El restante del mineral particulado pasa a unos tanques de agua donde es cianurado (proceso de lixiviación), donde se separan los componentes solubles del material sólido inerte.
 8. El mineral se asienta con el fin de separar el cianuro del sólido y posteriormente es filtrado.
 9. El mineral pasa a un proceso de precipitación por medio de una reacción química con Zinc a un tanque agitador; se necesitan 0,166 gramos de Zn para recuperar (1g) un gramo de oro, Según los mineros del entable.
 10. Finalmente el material precipitado pasa al proceso de fundición en un horno donde se obtiene Oro; la cantidad obtenida depende en gran parte del volumen precipitado.
- Como síntesis de información (ver Tabla 2. Datos de las etapas del proceso)

Tabla 2. Datos de las etapas del proceso

DATOS DE LAS ETAPAS DEL PROCESO		
Proceso	Minutos	Cantidad Material
Almacenamiento	N/A	3.5 toneladas diarias
Trituración	(2-5 min)	
Molienda	(1':45")	50 Kilos cada máquina de cocos
Amalgamación	Oscila entre 120-240 min con adición de mercurio(Hg) (1-2 min)	425,24 gr Mercurio 1000 litros agua* 65 kg
Sub proceso "Relave"	1 a 2 horas	30-35 gr Mercurio 30-40 litros agua
Cianuración	10 a 24 horas	10 Kilos de cianuro 3.5 Toneladas de lodo 7 Toneladas de agua
Filtración	60 minutos	N/A
Precipitación	60 Minutos	0,166 gramos para un gramo de oro.
Fundición	30 minutos	N/A

Fuente: Elaboración propia basada en la guía de observación (2014)

4.1.8. Datos del proceso

Fuente: Elaboración propia basada en la guía de observación

- Los entables realizan su proceso en dos fases, la primera, trituración y molienda en barriles amalgamadores, en donde se usa mercurio, principalmente, y la segunda; percolación a través de los tanques de cianuración y una red de recuperación del mineral de las aguas residuales del lavado de amalgamas.

- Los entables pequeños desarrollan tan solo la primera parte del proceso, trituran y amalgaman en la molienda y luego extraen el oro libre, los residuos van a un tanque en donde se sedimentan para ser nuevamente molidos y amalgamados.
- En estos entables se hace poco manejo de los residuos cianurados, y generalmente son dispuestos en cualquier zona cerca del entable puesto que no tiene un sitio fijo para su adecuado depósito; contaminando de esta manera las aguas de ríos y quebradas del municipio.
- La mayoría de los entables no poseen normas de industrialización y su maquinaria, al igual que toda su infraestructura es artesanal.
- El manejo de químicos de alta toxicidad (mercurio, cianuro, lodos cianurados) y la fundición, se hacen sin las normas de seguridad industrial y salud ocupacional adecuada y los trabajadores son empíricos en su accionar.
- Un entable o planta de beneficio está conformado por molinos de bolas, tanques de almacenamiento de agua, tanques de cianuración, red de captura de material y cajas de precipitación.
- Una maquina granuladora necesita 60 kilos de bolas de manganeso para accionar; cada bola pesa 1.5 kilos y su ciclo de vida es aproximadamente 4 meses.
- Una maquina granuladora necesita una (1) banda para accionar, y su ciclo de vida aproximadamente es de 2 meses.
- Una maquina granuladora (Cocos) tiene una vida útil de 8 meses
- El proceso de concentración necesita 10 kilos de cianuro, 3.5 toneladas de lodo y 7 toneladas de agua para su accionar.
- El tiempo total del proceso varía dependiendo del tenor del mineral, oscila de 8 a 24 horas.
- Un entable minero paga a EPM aproximadamente entre \$4.000.000- \$ 6.000.000 de consumo de energía que es de 12.400 Kwh

4.1.9. Materia Prima y recursos de los entables mineros

Tabla 3. Tabla de imágenes

Imagen 3. Arrume de materia prima
Fuente: Elaboración propia

Imagen 4. Máquina Trituradora
Fuente: Elaboración propia



Imagen 5. Maquina Granuladora
Fuente: Elaboración propia





Imagen 6. Bolas de manganeso
Fuente: Elaboración propia



Imagen 7. Maquina marranera
Fuente: Elaboración propia



Imagen 8. Tanque de Precipitación
Fuente: Elaboración propia



Imagen 9. Tolva y banda transportadora
Fuente: Elaboración propia



Imagen 10. Mesa Wifley
Fuente: Elaboración propia



Imagen 11. Maquina JIG
Fuente: Elaboración propia



Imagen 12. Baldes
Fuente: Elaboración propia



Imagen 13. Minero
Fuente: Elaboración propia

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Simulación

Es una representación ficticia de una situación real, que se experimentan mediante modelos que son abstracciones de la realidad, el conocimiento adquirido en la simulación se aplica en el mundo real. La primera acción y requisito previo a cualquier simulación, es un buen conocimiento del sistema real que tenga en cuenta parámetros, variables relacionados en el proceso.

En los últimos años, la simulación de procesos ha llegado a ser una herramienta adecuada y oportuna de apoyo para el diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de procesos industriales. Para aplicar estas simulaciones existen en la actualidad una gran variedad de Simuladores de Procesos. Según (ALFONSO VALENZUELA, 2009) Para mayor comprensión del marco teórico (ver Imagen 14. Ejemplo esquemático de categoría de análisis)

4.2.2. Ejemplo esquemático de categoría de análisis

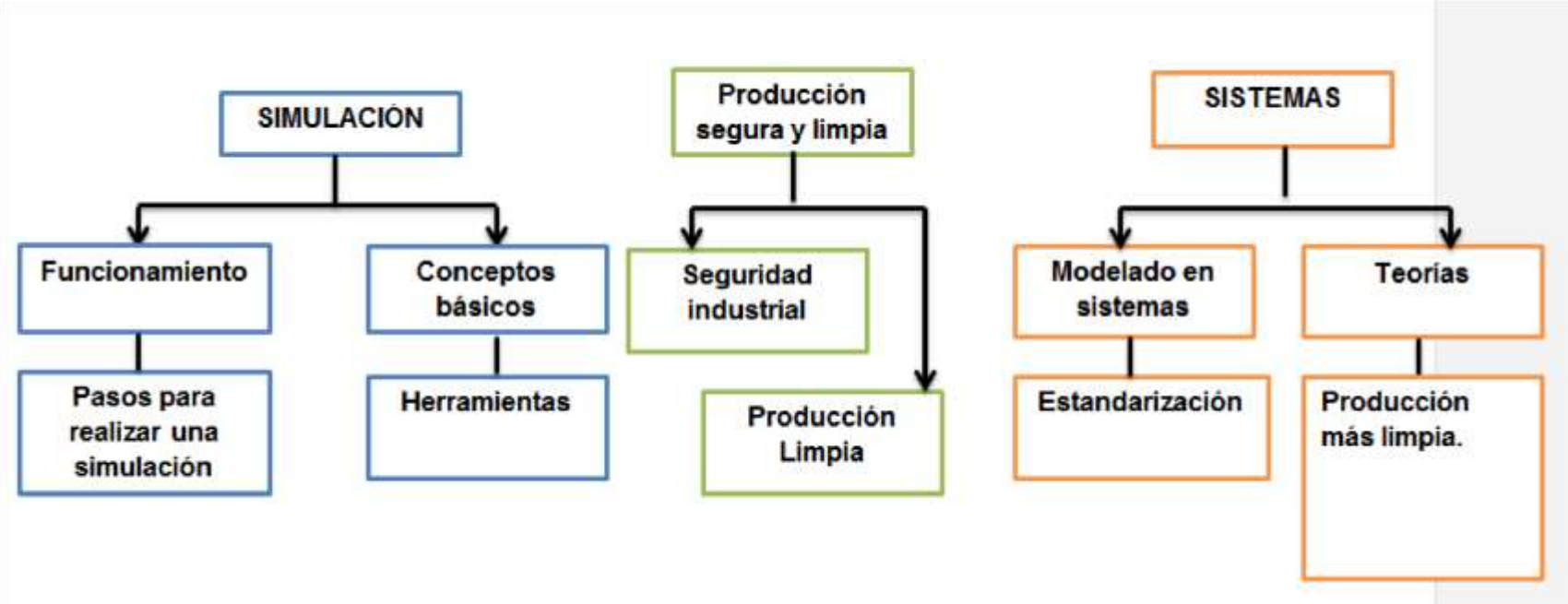


Imagen 14. Ejemplo esquemático de categoría de análisis
Fuente: Elaboración propia

4.2.2.1. Aplicaciones de la simulación

En principio, la simulación de procesos puede ser útil en todas las etapas del desarrollo de un proyecto industrial. En las diferentes etapas de un proyecto, puede haber necesidad de realizar simulaciones con diferentes niveles de sofisticación. La simulación de procesos puede usarse en las siguientes etapas del desarrollo de un proyecto industrial (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2001)

- **Investigación y desarrollo:** Una simulación sencilla se puede usar para probar la factibilidad técnica y económica del proyecto.
- **Etapla crítica en la toma de decisiones:** Se prueban diferentes alternativas de proceso y condiciones de operación y se toman decisiones.
- **Planta piloto:** Simulación con modelos más sofisticados para obtener mejores estimaciones de las condiciones de operación a escala industrial.
- **Diseño:** La simulación proporciona todos los datos de proceso requeridos para el diseño detallado de los diferentes equipos.
- **Simulación de plantas existentes:** Puede ser muy útil cuando es necesario cambiar las condiciones de operación, o cuando se quieren sustituir materias primas.

4.2.2.2. Ventajas de la simulación

- Detección de cuellos de botella en la producción.
- Predicción de los efectos de cambios en las condiciones de operación y capacidad de la planta.
- Optimización de las variables de operación.
- Optimización del proceso cuando cambian las características de los insumos y/o las condiciones económicas del mercado.
- Análisis de nuevos procesos para nuevos productos.
- Evaluación de alternativas de proceso para reducir el consumo de energía.
- Análisis de condiciones críticas de operación.
- Transformación de un proceso para desarrollar otras materias primas.
- Análisis de factibilidad y viabilidad de nuevos procesos.
- Optimización del proceso para minimizar la producción de desechos y contaminantes.
- Entrenamiento de operadores e ingenieros de proceso.
- Investigación de la factibilidad de automatización de un proceso.

4.2.2.3. Pasos para realizar una simulación

Para realizar una simulación hay que identificar primero el producto o servicio que se va a simular. Un proceso de simulación se puede entender como un proyecto compuesto por tareas y recursos requeridos. Según (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2001) ver Tabla 4. Proceso de ejecución de una simulación

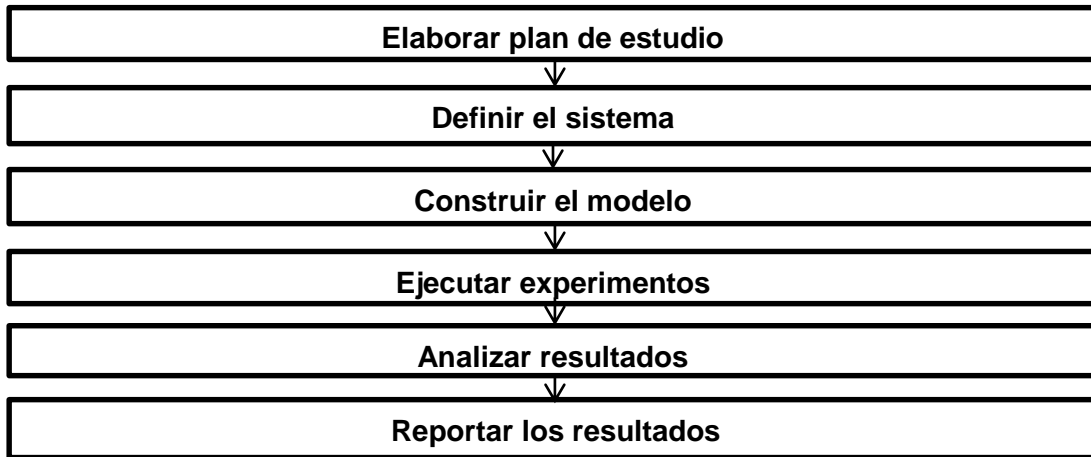


Tabla 4. Proceso de ejecución de una simulación
Fuente: (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2001)

a) Paso 1. Elaborar un plan de estudio. La planeación de la simulación involucra las siguientes tareas:

- Definir los objetivos
- Identificar las limitaciones o restricciones (Económicas, tiempo, información)
 - Conocer las especificaciones (Alcance, nivel de detalle, grado de exactitud)
 - Desarrollar la planeación y definir los resultados.

b) Paso 2. Definir el sistema. Después de definir con claridad los objetivos y la organización del proyecto, se debe entrar a definir detenidamente el sistema, para lo cual hay que tener presente los siguientes aspectos:

- **Determinar la información requerida:**
 1. ¿Cómo está distribuida la planta (Layout) y cuáles son sus dimensiones?
 2. ¿Cuántos centros de trabajo (Locations) tiene el proceso?
 3. ¿Cuáles son los tiempos de proceso de cada centro de trabajo?
 4. ¿Cuántos productos o subproductos (Entities) Se requieren incluir en el modelo?

5. ¿Quién requiere un recurso y cuando y donde lo necesitan?
6. ¿Qué se desea medir?
7. ¿Cuáles son los indicadores que se deberán tener en cuenta?
8. ¿Cuánto tiempo se simulara el proceso?
9. ¿Qué tan variable es el proceso? ¿Se podría estandarizar?

- **Usar apropiadamente las fuentes de información.** La información se puede obtener de las siguientes fuentes:

1. Diagramas de procesos
2. Estudios de tiempos
3. Planos de la planta
4. Diagramas de flujo
5. Historial

- c) **Paso 3 Construir el modelo.** Una vez se tenga la información, para empezar a construir el modelo, se deberá dimensionar el proceso y el alcance que tendrá la simulación. El modelo se deberá ajustar progresivamente, por lo que se le podrán hacer mejoras en los tiempos, en las actualizaciones de los datos etc. Por esta razón es fundamental definir muy bien el alcance que se requiere lograr con el modelo. Cuando se está construyendo un modelo es muy útil dividirlo por etapas; estas se pueden realizar en diferentes épocas o simultáneamente, es necesario que cada etapa tenga unas condiciones iniciales y unas finales. Esto es útil para trabajar en forma paralela y evitar problemas cuando se decida ensamblar el modelo. Entre las condiciones que se deben definir en las etapas están: nombre de variables, entidades, puestos de trabajo y atributos. (Ver Imagen 15. Proyecto por etapas)

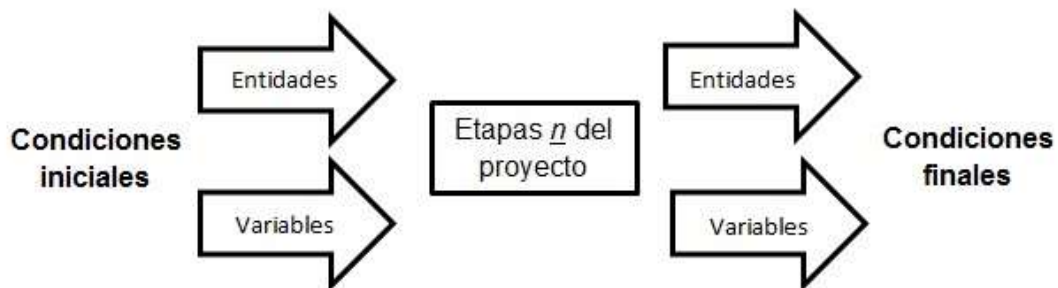


Imagen 15. Proyecto por etapas
Fuente: Simulación con Promodel®®

- d) **Paso 4: Ejecutar experimentos.** Para ejecutar varios experimentos, es necesario definir el tiempo que durara la simulación, el número de replicaciones por ejecutar,

y tener claro el objetivo y la precisión de los resultados de la simulación. Existen dos tipos de simulación

- **Terminales:** Modelos en los cuales el proceso está definido en el tiempo. El comienzo y el final están perfectamente determinados por un estado o por un número.
- **No terminales:** Modelos en los cuales el proceso nunca termina. Para finalizar el proceso, por lo general debe determinarse el tiempo de la simulación. Teóricamente el proceso nunca termina, aunque puede tener interrupciones como cambio de turnos, tiempos muertos, etc.

e) Paso 5. Analizar los resultados. Después de tener el modelo y de ejecutarlo, se para a analizar los resultados alcanzados. Esta fase es una de las más importantes, ya que se debe ser muy crítico con la información que arroja el modelo. El mayor beneficio de un modelo es lograr que el experimento muestre cómo funciona el modelo simulado.

Infelizmente, los errores se detectan cuando se analizan los resultados y no cuando se está ejecutando la simulación. Es fundamental saber interpretar la información que arrojan el programa, ya que mediante el análisis de los resultados se pueden identificar los cuellos de botella del proceso y de la simulación.

f) Paso 6. Reportar los resultados. Para finalizar, es necesario realizar un reporte con los resultados, es necesario que se presenten gráficos con su interpretación. en el modelo es importante documentar aspectos como los siguientes:

- De qué manera se construyo
- De donde se sacó la información
- Como almacenar la información original
- Documentar las rutinas del programa
- Identificar variables y atributos utilizados
- Personas involucradas en la realización de la simulación
- Establecer fecha de la simulación

Los simuladores están dedicados fundamentalmente a la industria, con el objetivo de mejorar e incrementar la eficiencia de las mismas, estos permiten hacer simulaciones de diferentes procesos antes de que ocurran en realidad, las cuales producen resultados que pueden ser analizados para una futura realización de los mismos. Existe una gran variedad de simuladores de procesos comerciales, algunos de las cuales son poderosas herramientas de cálculo, con inmensos bancos de datos que contienen las propiedades físicas de miles de compuestos y sustancias químicas, selección de modelos termodinámicos, cálculos de equipos (teórico y real), análisis de costo, estado de agregación y condiciones de operación, que le dan al simulador la ventaja de una gran versatilidad; a continuación se presentan el simulador industrial Promodel®.

4.2.3. Simulador Promodel®

Es un programa de simulación de procesos industriales, permite simular cualquier tipo de proceso de manufactura, además de procesos logísticos, procesos de manejo de materiales y contiene excelentes simulaciones de talleres, grúas viajeras, bandas de transporte y mucho más.

En teoría, cualquier sistema de procesos puede ser modelado en computadora, solo se necesita de esfuerzo e ingenio, además de las herramientas que nos permitan plasmar nuestro pensamiento en un modelo computarizado, una de esas herramientas es “Promodel®”, en el cual se puede crear un modelo computarizado de todo proceso de manufactura y una vez realizado el modelado, se podrá simular sobre una gran cantidad de situaciones como Justo a Tiempo, Teoría de Restricciones, Sistemas de Empujar y Jalar, Logística y muchas otras más. Además de permitir el simulado de acciones, nos enseña como optimizar los procesos en la misma, y así obtener los mejores con el consumo mínimo de recursos, para dicha tarea, el sistema cuenta con 2 optimizadores. (PROMODEL, 2014)

4.2.3.1. Conceptos básicos de Promodel®

Promodel® permite representar la realidad de una fábrica, con las entregas de materia prima, operadores, factores de calidad, aleatoriedad en los tiempos de proceso, en la duración y frecuencia de los mantenimientos, de tal manera que se pueda calcular la capacidad de la planta (Capacity Planning), Takt Time, Lead Time. Muchos de los usos actualmente van hacia la manufactura esbelta. (Promodel®, 2014)

4.2.3.2. Herramientas básicas de Promodel®

Según (Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita, 2001)

- **Build:** Especifica las características del modelo
- **Locations:** representan el lugar donde la entidad realizara un proceso o algún otro tipo de actividad.
- **Entities:** La entidad es la materia prima de un producto o servicio que va procesada en una location.
- **Path Networks:** Todo proceso necesita un diagrama de recorrido para los recursos (Personas, maquinas, etc.) que se utiliza para movilizar las entidades. También para informar al modelo cuanto tiempo se demora de una locación a otra.
- **Resources:** Un recurso puede ser una persona, un equipo o un vehículo que puede desempeñar o realizar diferentes operaciones a las entidades.
- **Processing:** En este menú se programa la operación. Normalmente todo proceso tiene un diagrama de operaciones, esta información se transcribe del diagrama al computador.
- **Operation:** Se puede crear un gran número de instrucciones para simular los procesos.

- **Arrivals:** Todo sistema tiene un punto de partida a donde llega el material (Información, personas, etc.) para que el proceso pueda empezar a desarrollarse.
- **Variables:** Se pueden emplear variables de tipo global y local. Las variables son útiles para calcular o guardar información numérica, ya sea real o entera.

4.2.4. Estandarización de procesos.

Los pasos para producir se simplifican y estandarizan hasta hacerlos simples, repetitivos y de sencilla ejecución con un mismo nivel de competencia. Este método presupone organizaciones que desarrollan procesos rutinarios, de bajo valor agregado o producción seriada. (Bernardez M, 2007)

Se pretende que los productos se fabriquen conforme a unos estándares prefijados a fin de que, con independencia del lugar y momento en que se hayan sido efectuados, sus piezas y componentes puedan ser intercambiados, si fuera necesario sin afectar el funcionamiento normal del producto. Con ello se evita que las piezas y componentes tengan que ser fabricados a medida para cada producto, eliminando esfuerzos costosos e innecesarios. (Griollo, 1998)

La estandarización es considerada la más fundamental de las herramientas gerenciales en una empresa moderna. "El control no existe sin la estandarización." "Sólo es posible mantener el dominio tecnológico de un sistema a través de la estandarización" Según (J, Dominguez M, & Garcia S, 1995)

4.2.4.1. *Ventajas de la Estandarización*

Según (J, Dominguez M, & Garcia S, 1995) los estándares de trabajo ofrecen varias ventajas, tanto para el empleado como para el empleador. Algunas de ella son:

- La instalación de estándares conduce a muchas mejora operativas
- Mejora el desempeño
- Se puede presupuestar las cargas de trabajo
- Es posible determinar la eficiencia de los trabajadores
- Se eliminan procedimientos innecesarios
- Se evitan errores costosos eligiendo el procedimiento correcto

- Se requiere de menos supervisión
- Se evita la pérdida de tiempo
- Minimizar el número de cambios necesarios en los equipos de producción.
- Simplificar los procedimientos operativos y de control.
- Minimizar los problemas de servicio y reparación.
- Facilitar la fabricación de largas series de producción y la automatización del proceso.
- Justificar un mayor gasto en el perfeccionamiento del diseño y en la mejora de los procedimientos del control de calidad

4.2.4.2. Diagramas de procesos objetivos y alcance

Según (Griollo, 1998)

Para mejorar un trabajo se debe saber exactamente en que consiste y, excepto en el caso de trabajos muy simples y cortos, rara vez se tiene la certeza de conocer todos los detalles de la tarea. Por lo tanto, se debe observar todos los detalles y registrarlos.

4.2.4.3. Registro y análisis de proceso

El análisis de procesos trata de eliminar las principales deficiencias existentes en ellos y lograr la mejor distribución posible de la maquinaria, equipo y área de trabajo dentro de la planta. Para lograr estos propósitos, la simplificación del trabajo se apoya en dos diagramas: el diagrama de procesos y el diagrama de flujo o circulación.

- **Diagrama de procesos:** los diagramas son herramientas muy útiles en cuanto a modificaciones de procesos se refiere, puesto que estos identifican claramente el proceso en estudio y además ayuda a dar una idea de cómo quedara el método a implementar representado de forma gráfica los cambios a realizar, estos diagramas utilizan simbología universal. (ver Imagen 16. Simbología de procesos)

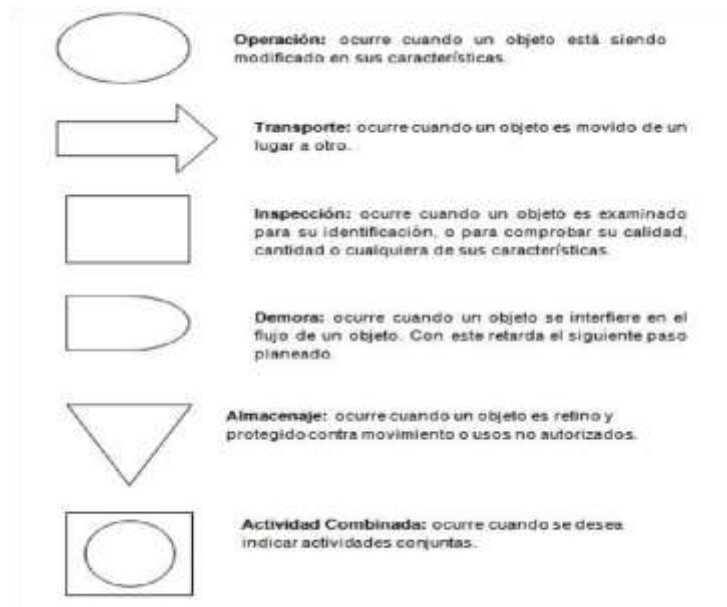


Imagen 16. Simbología de procesos
Fuente: Diagramas de procesos

- **Cursograma analítico del proceso:** es un cuadro general de cómo suceden las principales operaciones e inspecciones, también muestra la trayectoria de un producto o procedimiento señalando todos los hechos sujetos a un examen mediante el símbolo que corresponde. (Ver Imagen 17. Representación de cursograma)

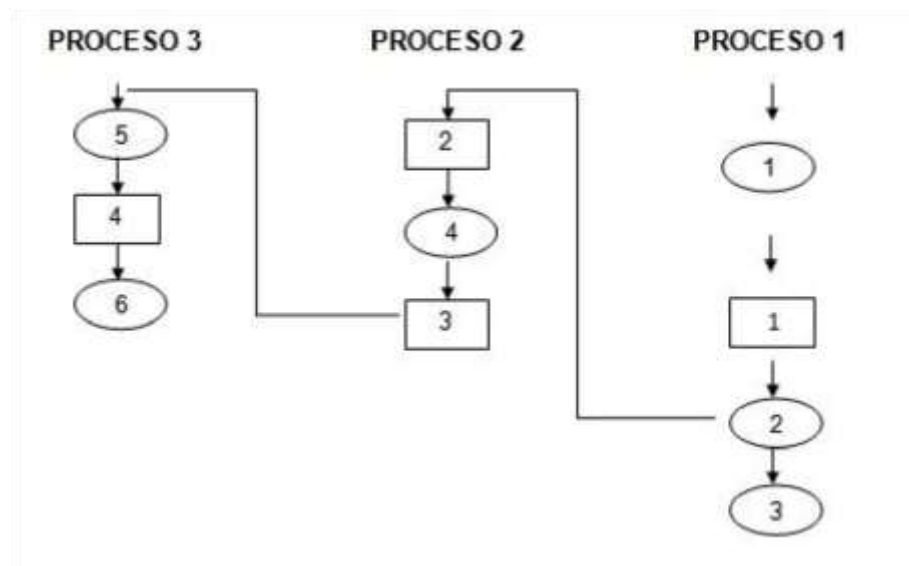


Imagen 17. Representación de cursograma
Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Distribución de planta

Según (Griollo, 1998)

La optimización de los recursos disponibles mediante el empleo de herramientas o técnicas probadas en el transcurso del desarrollo fabril. Por ello, podemos utilizar la simplificación del trabajo, la planeación sistemática de distribución de planta y aprovechar el espacio horizontal y vertical de nuestra fábrica, taller, almacén u oficina, colocar de acuerdo con el proceso y necesidades nuestra maquinaria e incorporar las limitaciones prácticas y condiciones modificadoras que pudieran afectar el diseño del sistema completo de distribución de la fábrica.

En síntesis, **distribución de planta** es la colocación física ordenada de los medios industriales, tales como maquinaria, equipo, trabajadores, espacios requeridos para el movimiento de materiales y su almacenaje, además de conservar el espacio necesario para la mano de obra indirecta, servicios auxiliares y los beneficios correspondientes.

4.2.5.1. *Objetivos de la distribución de planta*

Según (Griollo, 1998)

El objetivo de una distribución de planta bien planeada e instalada es reducir los costos de fabricación como resultado de las siguientes mejoras:

Reducción de riesgo para la salud, incremento de la seguridad y aumento de la moral y satisfacción del trabajador, incremento de producción, disminución de los retrasos en la producción, reducción del manejo de materiales y maximización del manejo de la maquinaria, mano de obra y servicios. También reducción de material en proceso, la implementación de una supervisión más fácil y eficaz, de la disminución del congestionamiento, de materiales y aumento de calidad, así como mayor facilidad de ajuste a los cambios requeridos.

4.2.5.2. *Principios para la distribución de planta*

Según (Griollo, 1998)

- **Principio de la integración global.** Se debe integrar de la mejor forma a los hombres, materiales, maquinaria, actividades auxiliares.
- **Principio de distancia mínima a mover.** Minimizar en lo posible los movimientos de todas las operaciones.
- **Principio de flujo.** Se debe lograr que la interrupción entre los movimientos de los elementos sea mínima.

- **Principio de espacio.** Utilizar el espacio en la forma más eficiente posible tanto en lo horizontal como lo vertical, para evitar los movimientos innecesarios.
- **Principio de flexibilidad.** Debe diseñarse para poder ajustarse o regularse a costos bajos.

4.2.5.3. Estudio de distribución en planta

- Recopilar información
- Se consideran los datos obtenidos y se plantean las distribuciones parciales.
- Se plantea la distribución general
- Se comprueba la circulación y se proyecta la distribución definitiva.

4.2.5.4. Información requerida.

- **Productos:** Es necesario conocer los productos que se fabrican, cantidad, embalaje, peso.
- **Materiales:** Conocer los materiales que intervienen en la fabricación, dimensiones, formas de almacenamiento.
- **Ciclo de fabricación:** ciclo completo, operaciones, circulación, esperas, inspecciones etc.
- **Maquinaria:** Maquinaria que interviene, sus características de producción, dimensiones, peso, necesidades de fuerza, herramientas.
- **Operadores:** cantidad de hombres y categoría profesional
- **Movimiento de materiales y productos terminados:** medios mecánicos para traslados, estanterías, armarios, para almacenamiento o espera.

4.2.5.5. Tipos de distribución en planta

- Distribución fija:** esta distribución se establece cuando hombres, materiales y equipo se llevan a un lugar y allí la estructura final toma la forma de un producto acabado. Este tipo de distribución requiere de menos inversión en equipos y herramientas y la supervisión y control de la producción tienden a hacer más fáciles.

- b) **Distribución por proceso:** este tipo de distribución, que se adapta bien a la producción de un gran número de productos similares, está conformado por varios departamentos bien definidos cada uno de los cuales está dedicado a uno sola o muy pocas tareas.
- c) **Distribución por producto:** comúnmente conocida como fabricación en línea o continua, esto es el material físico se coloca en el transportador que avanza y en el camino se le van añadiendo componentes hasta que el producto se acaba. Lo caracteriza que hay menos material de transporte y menos inspección para asegurar la calidad del producto, cada línea de producción debe contar con un tiempo equilibrado entre operaciones, y los paros de maquina hacen que el proceso se detenga.
- d) **Grupos tecnológicos:** agrupa piezas de características comunes en familias y asigna una línea de producción capaz de producir cualquiera de las piezas de esta familia. La ventaja inmediata de este sistema pues se puede fabricar cualquier cosa, asignándole a su grupo correspondiente donde comparte las características comunes. En el sistema de producción por línea, la maquinaria se coloca de acuerdo a la secuencia de operaciones que necesite el proceso.

4.2.6. Producción segura

Seguridad en el proceso. Según (Eilon S., 1980)

La planificación de métodos de trabajo asegura una mejor utilización de los recursos, así como unas condiciones de trabajo más convenientes y menos extenuantes. La selección de procesos productivos: mejora la realización de las operaciones que la componen, determinando la secuencia de las fases correspondientes a seguir.

Las condiciones del proceso: abastecimiento, tiempo, y la actividad de los operarios, deben incluirse en las instrucciones del proceso. Para que se realice en una forma adecuada. Establecer un sistema eficiente de manipulación de materiales.

- **Seguridad industrial.** Es una ciencia multidisciplinaria que se encarga de la prevención de accidentes de trabajo. Está constituida por el conjunto de medidas técnicas destinadas a conservar la vida, la salud y la integridad física de los trabajadores. Dichas medidas tienden a conservar los materiales e instalaciones exentos de peligro o deterioro y en las mejores condiciones, tanto de servicio como de productividad.
- **Panorama de riesgos.** Es una forma sistemática de identificar, localizar, valorar y jerarquizar las condiciones de riesgo laboral a las que están expuestos los

trabajadores y que permite el desarrollo de las medidas de intervención. Es considerado como una herramienta de recolección, tratamiento y análisis de datos.

- **Factores de riesgo.** Según la Universidad del Valle, se entiende bajo esta denominación la existencia de elementos, fenómenos, ambiente y acciones humanas que encierran una capacidad potencial de producir lesiones o daños materiales, y cuya probabilidad de ocurrencia depende de la eliminación y/o control del elemento agresivo.

4.2.7. Producción limpia

La Producción Más Limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente. (ONUDI, 2015)

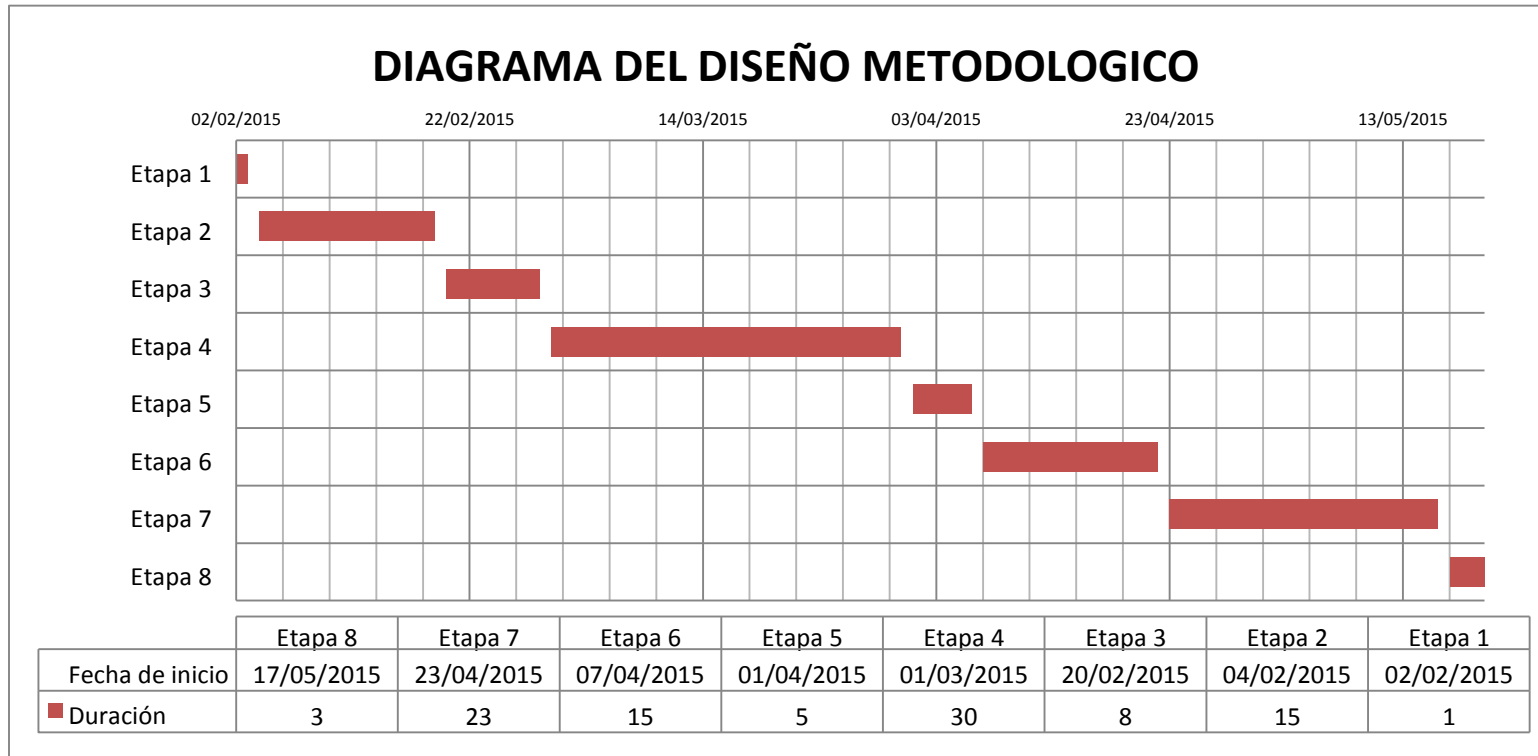
Los objetivos de producción más limpia son entre otros:

Según (UPME, 2007)

- Aumentar la eficiencia operativa de los equipos y hacer uso racional de la energía.
- Prevenir, evitar, corregir y mitigar cargas contaminantes y disminuir riesgos.
- Minimizar costos y lograr el máximo beneficio económico del material extraído mediante optimización del proceso.
- Optimizar los recursos naturales y las materias primas, minimizando o eliminando residuos o aprovechando estos para crear subproductos.
- Involucrar a la comunidad para mejorar las condiciones de seguridad industrial y salud laboral.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Tabla 5. Diagrama de Gantt del diseño metodológico



Fuente: Elaboración propia

5.1. DEFINICIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE METODOLÓGICO

El tipo de investigación del proyecto es descriptivo y como unidad de análisis se eligen los “entables de producción minera en el sector de Segovia“, en donde se pretende analizar los diferentes aspectos con el fin de desarrollar una solución idónea.

La investigación descriptiva permitirá un mejor análisis del problema, separando e indagando en cada una de las causas la falta de aplicación de estrategias industriales dentro de los entables, también, entender los rasgos de la situación de estudio y la percepción de este desde los diversos actores involucrados; de tal manera, tener la capacidad de construir un modelo estratégico industrial adecuado para las necesidades de los entables.

Esta temática industrial, será abordada con un enfoque metodológico tipo mixto, puesto que es pertinente hacer uso de la recopilación de datos cuantitativo y cualitativo, para comprender el proceso general de producción e individualizar cada actividad. Particularmente, se podrá observar, analizar y comprender las prácticas y parámetros en la ejecución de tareas, como también los tiempos y criterios de toma de datos, centros de trabajo, productos, recursos y variables. Por último se enfoca el análisis mixto, para la comprensión total del proceso productivo.

5.2. ETAPAS O SECUENCIA LÓGICA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE EXACTITUD.

5.2.1. Etapa 1: Observación del proceso.

La investigación de trabajo de campo comienza por visitar las diferentes plantas del proceso de beneficio del sector minero de Segovia donde se deben:

- a) Hacer observaciones continuas del proceso, así se dará más claridad en el enfoque del modelo industrial.
- b) Presentarse al operario en caso tal que no se conozca y socializar la actividad realizada con él.
- c) Estar en el proceso o en los ciclos de procesos productivos de principio a fin.
- d) Tomar nota de las actividades realizadas en el proceso, en caso tal de desconocer actividades realizadas, herramientas o métodos aplicados al proceso, preguntar a la persona encargada directamente del proceso.

Nota: *Para esta observación se hace necesario hacer uso de herramientas de fuentes primarias que se presentan a continuación.*

5.2.2. Etapa 2: Identificación de información general del proceso

Identificar las etapas del proceso productivo de los entables mineros a las cuales se realizara la simulación. Por ende es necesario elaborar una serie de herramientas que permitan recopilar la información la cual se puede obtener de las siguientes fuentes:

Fuentes primarias: Son eje central de información, en este punto es donde la metodología del conocimiento empírico toma protagonismo en el proceso y el trabajo de campo se hace indispensable. Con la información digerida y organizada se realiza la estructura y el contenido como tal del modelo actual de producción.

La recolección de la información tendrá tres pasos importantes:

- a) Evaluación y análisis del proceso
 - Diagramas del proceso
 - Identificación general de los tiempos de producción □
Distribución de recursos
- b) Videos del proceso
- c) Anexo 1. Check List o Entrevista

Se tendrá en cuenta tres aspectos importantes:

- La necesidad inmediata de los entables mineros.
- Priorizar los procesos críticos o con altas desviaciones.
- Escoger un orden coherente de procesos

Fuentes secundarias son aquellas que permiten ampliar el rango de conocimiento de un proceso o área del conocimiento. Para seleccionar los datos recopilados es importante filtrar la información más concreta que se necesita para no cargar la simulación del modelo industrial de producción de una gran cantidad de información que termine por ir en contra del el objetivo.

Si los datos obtenidos de las fuentes primarias dificultan la obtención de la información, se dará prioridad a una búsqueda exhaustiva de fuentes secundarias y confiables; En la recolección de esta información se tendrán en cuenta:

- Estados de arte sobre información industrial del sector minero.
- Documentales de minería.
- Ensayos de laboratorio del semillero de investigación ambiental (SIA) □
Normatividad ambiental colombiana

5.2.3. Etapa 3: Selección de la información específica requerida para la simulación.

NOTA: La selección de esta información será producto del análisis y promedios de los datos recopilados en las fuentes primarias y secundarias.

1. ¿Cómo está distribuida la planta (Layout) y cuáles son sus dimensiones?
2. ¿Cuántos centros de trabajo (Locations) tiene el proceso?
3. ¿Cuáles son los tiempos de proceso de cada centro de trabajo?
4. ¿Cuántos productos o subproductos (Entities) Se requieren en el modelo?
5. ¿Quién requiere un recurso y cuando y donde lo necesitan?
6. ¿Qué se desea medir?
7. ¿Cuáles son los indicadores que se deberán tener en cuenta?
8. ¿Cuánto tiempo se simulara el proceso?
9. ¿Qué tan variable es el proceso? ¿Se podría estandarizar?

5.2.4. Etapa 4: Construcción del modelo actual de producción

Una vez se tenga la información recopilada, se puede empezar a construir el modelo actual de producción se debe tener en cuenta:

a) Condiciones iniciales:

- Nombre de variables
- Entidades
- Puestos de trabajo
- Atributos.

b) Condiciones secundarias:

- Alcance de las etapas del proceso productivo
- Ajustes del modelo
- Tiempo que durara la simulación

- Numero de replicaciones

5.2.5. Etapa 5: Análisis de los resultados obtenidos en el proceso actual

Después de tener el modelo y de ejecutarlo, se deben analizar los resultados alcanzados. Esta fase es una de las más importantes, ya que se debe ser muy crítico con la información que arroja el modelo. Por ende evaluar la información estadística que ejecuta el programa de Promodel® una vez finalizada la simulación.

5.2.6. Etapa 6: Determinación de las alternativas industriales que se adapten al nuevo modelo de producción.

A partir de la información arrojada, se podrá visualizar las restricciones del sistema actual de producción en cuellos de botellas, tiempos de ejecución, capacidad de planta, consumo de recursos, entre otros, por ende se sugerirán alternativas nuevas industriales que permitan optimizar la actividad productiva en la recuperación del mineral.

Para ello se evaluara mediante la teoría de producción más limpia la adaptación a las necesidades del proceso, esta teoría contiene los siguientes análisis:

- Análisis de flujo de materiales: es un inventario sistemático de la forma en que un elemento químico, compuesto o material está transitando a través de su ciclo de vida natural o económica.
- Análisis de indicadores: Los indicadores ayudan a condensar los datos para proporcionar la información exacta y útil sobre los esfuerzos de dirección, el impacto medio ambiental de las actividades del entable o el estado del ambiente. Las referencias son escogidas como un medio para presentar un estimado, o datos de calidad, o información en forma entendible y útil. Esta información puede proporcionarse en forma absoluta o relativa, normalizada o sólo indicarse.
- Búsqueda de opciones, Factibilidad: este análisis permite vislumbrar las alternativas de solución para la mitigación del impacto a partir de la recolección de información en el análisis del flujo de materiales y el análisis de indicadores.

5.2.7. Etapa 7: Construcción de un modelo propuesto de producción ideal

Elegidas las alternativas de producción que solucionan las restricciones en el sistema se construye un nuevo modelo en Promodel®®, que tenga en cuenta la siguiente información:

1. Nueva distribución en planta (Layout)
2. Nuevos centros de ubicación de trabajo (Locations)
3. Tiempos supuestos del proceso mejorado
4. Cantidad de productos y subproductos a partir del nuevo sistema (Entities)
5. Requisitos de recursos, ¿dónde? y ¿cuándo?
6. Puntos de medición
7. Nuevos indicadores
8. Variables del proceso.

5.2.8. Etapa 8: Construcción de una matriz de comparación de resultados

A partir de los resultados lanzados por ambas simulaciones (Actual y propuesta), se realizará una matriz donde se evidencien las ventajas y desventajas como los beneficios de las simulaciones.

6. RESULTADOS

6.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

6.1.1. Observación de proceso

Se realizó una visita al Nordeste Antioqueño municipio de Segovia con el objetivo de conocer el proceso productivo en las plantas de beneficio. Donde se identifican las etapas del proceso mencionadas a continuación:

- Recepción
- Almacenamiento
- Clasificación
- Trituración

- Molienda
- Amalgamación
- Cianuración
- Filtración
- Precipitación □ Fundición

El resultado del proceso es general para todos los entables mineros.

6.1.2. Identificación y recolección de la información

Como se mencionó anteriormente en el diseño metodológico, dada la complejidad de y particularidad del proceso, se analizaron dos fuentes para la recopilación de la información pertinente al proceso; fuentes primarias, recaudadas en las visitas a los entables mineros y fuentes secundarias consultadas en la literatura relacionada a la minería, documentales, resultados de investigación del Grupo de Investigación e Innovación Ambiental GIIAM de la Institución Universitaria Pascual Bravo y normatividad ambiental colombiana.

6.1.2.1. Fuentes primarias

La información se recopiló en 5 formatos en los cuales se identifica el proceso y los tiempos de ejecución de cada actividad, distribución física de los recursos en un entable minero general, un diagrama de flujo que explica gráficamente el procedimiento y por último una entrevista elaborada a 6 entables que se encuentran en el área de estudio.

6.1.2.2. Diagramas del proceso

Ver (Imagen 18. Diagrama del proceso)

DIAGRAMA ANALITICO DE PROCESO								
Diagrama N° 1 Proceso Productivo de extracción de Oro de los Entables Mineros								
	Actividad		Actual	Propuesta	Economía			
Proceso: Extracción de oro Entable minero.	Operación	●	1339					
	Transporte	➡						
Actividad:	Espera	D						
	Inspección	■	10					
Método: Actual	Almacenamiento	▼	10					
	Tiempo		1359					
Realizado por: Ximena Villalobos Marco Tulio Mesa	Distancia							
Descripción del proceso	Símbolo					Distancia	Tiempo	
	●	➡	D	■	▼			
Recepción de la roca (Mineral)	X						10	min
Almacenamiento de mineral					X		10	min
Clasificación de mineral				X			10	min
Pesaje de mineral en costal	X						3	min
Trituración del mineral	X						53	min
Molienda de piedra triturada	X						105	min
Amalgamación en cocos	X						253	min
Cianurar mineral amalggado	X						765	min
Filtración del mineral asentado	X						60	min
Precipitar por medio de reacción química con Zinc	X						60	min
Fundir en horno y obtener Oro	X						30	min
Total							1359	min

Imagen 18. Diagrama del proceso
Fuente: Elaboración propia (2015)

6.1.2.3. Análisis de Check List

Las tablas son realizadas en base a los datos proporcionados en las Check List o entrevistas hechas a los cinco entables del municipio de Segovia, en ella se analiza la cantidad de máquinas, el tiempo empleado de producción, la capacidad de las máquinas y la capacidad teórica total del proceso. Ver Tabla 6. Análisis entable el diamante Tabla 7. Análisis entable San Nicolás Tabla 8. Análisis entable mina la valencia corazones N° 1 Tabla 9. Análisis Entable Mina la valencia corazones No.1 Tabla 10. Análisis entable granuladores El trébol

Tabla 6. Análisis entable el diamante

PRODUCCIÓN ENTABLE EL DIAMANTE									
Cantidad Material Recibido (Mes) (grs)	Maquinas	# Maquinas	grs/min	Tiempo Empleado(min)	PCC * Máquina(grs)	PCC Total(grs)	Min Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas
2000000	Machadora	1	12.500,00	6	75.000,00	75.000,00	480	80,00	6.000.000,00
	Granuladoras	64	629,63	135	85.000,00	5.440.000,00		3,56	19.342.222,22
	Marrano	1	21.666,67	30	650.000,00	650.000,00		16,00	10.400.000,00
	Tinas	6	555,56	750	416.666,67	2.500.000,00		0,64	1.600.000,00

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 7. Análisis entable San Nicolás

PRODUCCIÓN ENTABLE SAN NICOLAS									
Cantidad Material Recibido (Mes) (grs)	Maquinas	# Maquinas	grs/min	Tiempo Empleado(min)	PCC * Máquina(grs)	PCC Total(grs)	Min Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas
5000000	Machadora	1	12.500,00	5	62.500,00	62.500,00	480	96,00	6.000.000,00
	Granuladora	48	472,22	180	85.000,00	4.080.000,00		2,67	10.880.000,00
	Agitadores (tinajas)	3	833,33	1.440	1.200.000,00	3.600.000,00		0,33	1.200.000,00

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 8. Análisis entable mina la valencia corazones N° 1

PRODUCCIÓN ENTABLE MINA LA VALENCIA CORAZONES No. 1									
Cantidad Material Recibido (Mes)	Maquinas	# Maquinas	grs/min	Tiempo Empleado(min)	PCC * Máquina(grs)	PCC Total(grs)	Min Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas
4625000	Machadora	1	12.500,00	60	750.000,00	750.000,00	480	8,00	6.000.000,00
	Mesa Wiffley	1	26.041,67	120	3.125.000,40	3.125.000,40		4,00	12.500.001,60

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 9. Análisis Entable Mina la valencia corazones No.1

PRODUCCIÓN ENTABLE MINA LA VALENCIA CORAZONES No. 1									
Cantidad Material Recibido (Mes) grs	Maquinas	# Maquinas	grs/min	Tiempo Empleado(min)	PCC * Máquina(grs)	PCC Total(grs)	Horas Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas
4625000	Machadora	1	12.500,00	60,00	750.000,00	750.000,00	480	8,00	6.000.000,00
	Mesa Wiffley	1	26.041,67	120,00	3.125.000,40	3.125.000,40		4,00	12.500.001,60

Fuente: Elaboración propia (2015)

Tabla 10. Análisis entable granuladores El trébol

PRODUCCIÓN ENTABLE GRANULADORAS EL TREBOL									
Cantidad Material Recibido (Mes) grs	Maquinas	# Maquinas	grs/min	Tiempo Empleado(min)	PCC * Máquina(grs)	PCC Total(grs)	Horas Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas
3500000	Machadora	1	12.500,00	2,00	25.000,00	25.000,00	480	240,00	6.000.000,00
	Granuladoras	72	0,47	180,00	85,00	6.120,00		2,67	16.320,00
	Marrano	1	21,67	30,00	650,00	650,00		16,00	10.400,00
	Tinas	3	833,33	930,00	775.000,00	2.325.000,00		0,52	1.200.000,00
	Tanques	2	4.557,29	768,00	3.500.000,00	7.000.000,00		0,63	4.375.000,00

Fuente: Elaboración propia (2015)

6.1.2.4. Identificación General de los tiempos de producción

(Ver Imagen 19.Tiempos de producción)

DATOS DE FUENTES PRIMARIAS										
PROCESO PRODUCTIVO		Tiempo del proceso								
Operación	Descripción	Entable el diamante		Entable San nicolas		Entable Molino la valencia corazones 1		Entable de granuladores el Trebol		Tiempo Promedio General
Trituración	El mineral ingresa a una máquina trituradora de quijada y una vez terminado su proceso se determina que cantidad pasa a molenda y que	Tiempo en minutos								18,25
		2	10	5	60	1	3			
		Promedio de tiempos								
		6		5		60		2		
PROCESO PRODUCTIVO		Tiempo del proceso								
Operación	Descripción	Entable el diamante		Entable San nicolas		Entable Molino la valencia corazones 1		Entable de granuladores el Trebol		Tiempo Promedio General
Molienda y Amalgamación	El mineral triturado pasa un proceso de molenda, donde se disminuye su tamaño a malla 200. Posteriormente el mineral triturado pasa al proceso	Tiempo en minutos								123,75
		90	180	120	240			120	240	
		Promedio de tiempos								
		135		180		0		180		
PROCESO PRODUCTIVO		Tiempo del proceso								
Operación	Descripción	Entable el diamante		Entable San nicolas		Entable Molino la valencia corazones 1		Entable de granuladores el Trebol		Tiempo Promedio General
Cianuración	El restante del mineral particulado pasa a unos tanques de agua donde es cianurado es decir utilizando en el proceso de lixiviación, donde se	Tiempo en minutos								780
		600	900		1440	0	720	1140		
		Promedio de tiempos								
		750		1440		0		930		

Imagen 19.Tiempos de producción

Fuente: Elaboración propia (2015)

PROCESO PRODUCTIVO		
Operación	Descripción	Tiempo Promedio
Recepción y Almacenamiento	El mineral es extraído de la mina y posteriormente transportado a los entables para su	20

PROCESO PRODUCTIVO		
Operación	Descripción	Tiempo Promedio
Clasificación	El mineral es clasificado dependiendo de su tamaño	10

PROCESO PRODUCTIVO		
Operación	Descripción	Tiempo Promedio
Precipitación	El mineral pasa a un proceso de precipitación por medio de una reacción química con Zinc a un tanque agitador; se necesitan 0,166 gramos de Zn para recuperar (1) un gramo de oro.	60

PROCESO PRODUCTIVO		
Operación	Descripción	Tiempo Promedio
Filtración	Se extrae el material particulado de los residuos de agua.	60

PROCESO PRODUCTIVO		
Operación	Descripción	Tiempo Promedio
Fundición	Finalmente el material precipitado pasa al proceso de fundición en un horno donde se obtiene Oro; la	30

Imagen 20. Continuación de tiempos de producción

6.1.2.5. Diagrama de flujo del proceso productivo

(Ver Imagen 21. Diagrama de flujo entable típico)

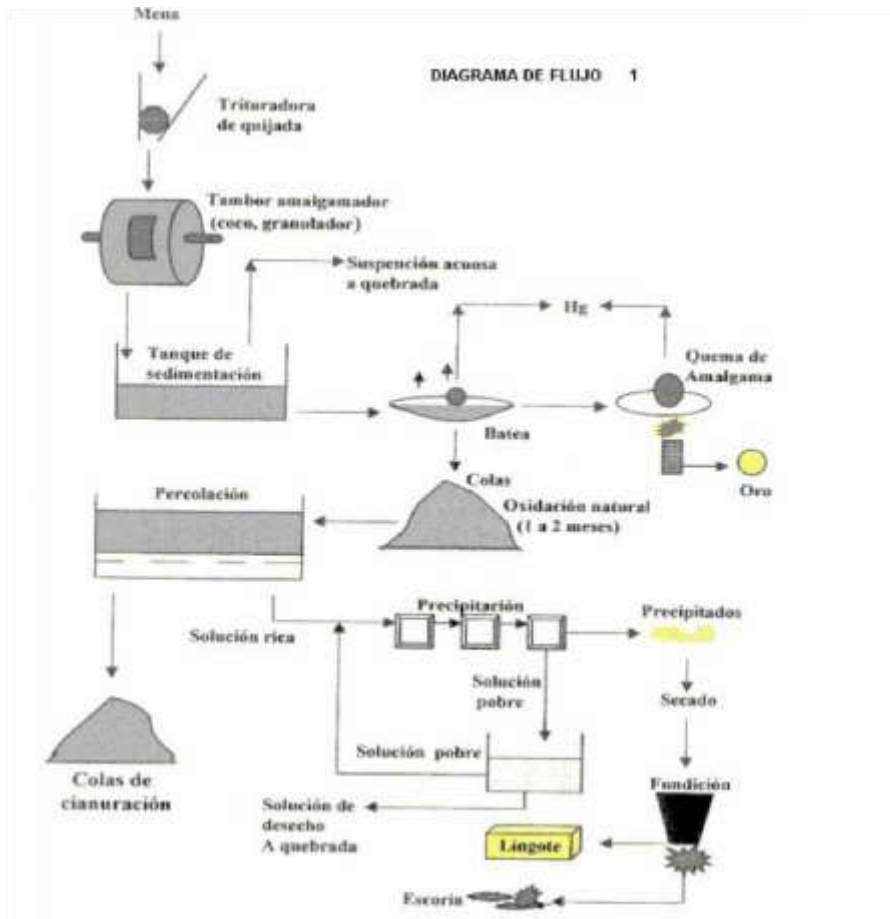


Imagen 21. Diagrama de flujo entable típico

Fuente: (UPME, 2007)

5.1.2.2. Fuentes secundarias

Según. (Osorio , Serna, & Ospina , 2015)

Tenor de la mena de Oro

Para determinar la cantidad de oro que se extrae de una tonelada de mineral se tomó como fuente principal algunos de los resultados obtenidos de las investigaciones del grupo GIIAM, realizadas en el laboratorio de la caracterización de minerales.

Las muestras que se llevaron al proceso de disolución, debido a su refractariedad y su contenido de oro, suministrados por el Centro Provincial Minero de Segovia, denominadas M2 y M3, tienen las siguientes características:

- M2. Mineral refractario: Tenor 6.8 g de oro /ton
- M3, Mineral refractario con alto contenido de oro: para esta muestra, se determinó el tenor de la muestra inicial entregada por el Centro Provincial minero y al mineral concentra en el laboratorio:
 - Tenor mineral: 59.0 g de oro /Ton
 - Tenor concentrado: 87.9 g de oro /Ton

Se puede observar un mayor contenido de oro en el mineral concentrado del cual se toman las muestras para el proceso de lixiviación. Con los tenores de cada mineral, se determina la cantidad posible a recuperar de oro. Así, para la muestra de mineral M2, la cual presenta un tenor de 6.8 g de oro/Ton, los gramos de oro a lixiviar por tonelada de mineral serian de **6.8 gramos por tonelada**, asumiendo una eficiencia del 100%. Así mismo, para la muestra de mineral M3, la cual presenta un tenor de 59 g de oro por tonelada mineral y un tenor de 87.9 g de oro por tonelada de concentrado

Nota 1: según (Hincapie, 2006, pág. 166) el tiempo de fundición es de 30 minutos

6.2. SELECCIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA REALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN

6.2.1. Distribución de planta

(Ver Imagen 22. Distribución de planta de un Entable típico minero)

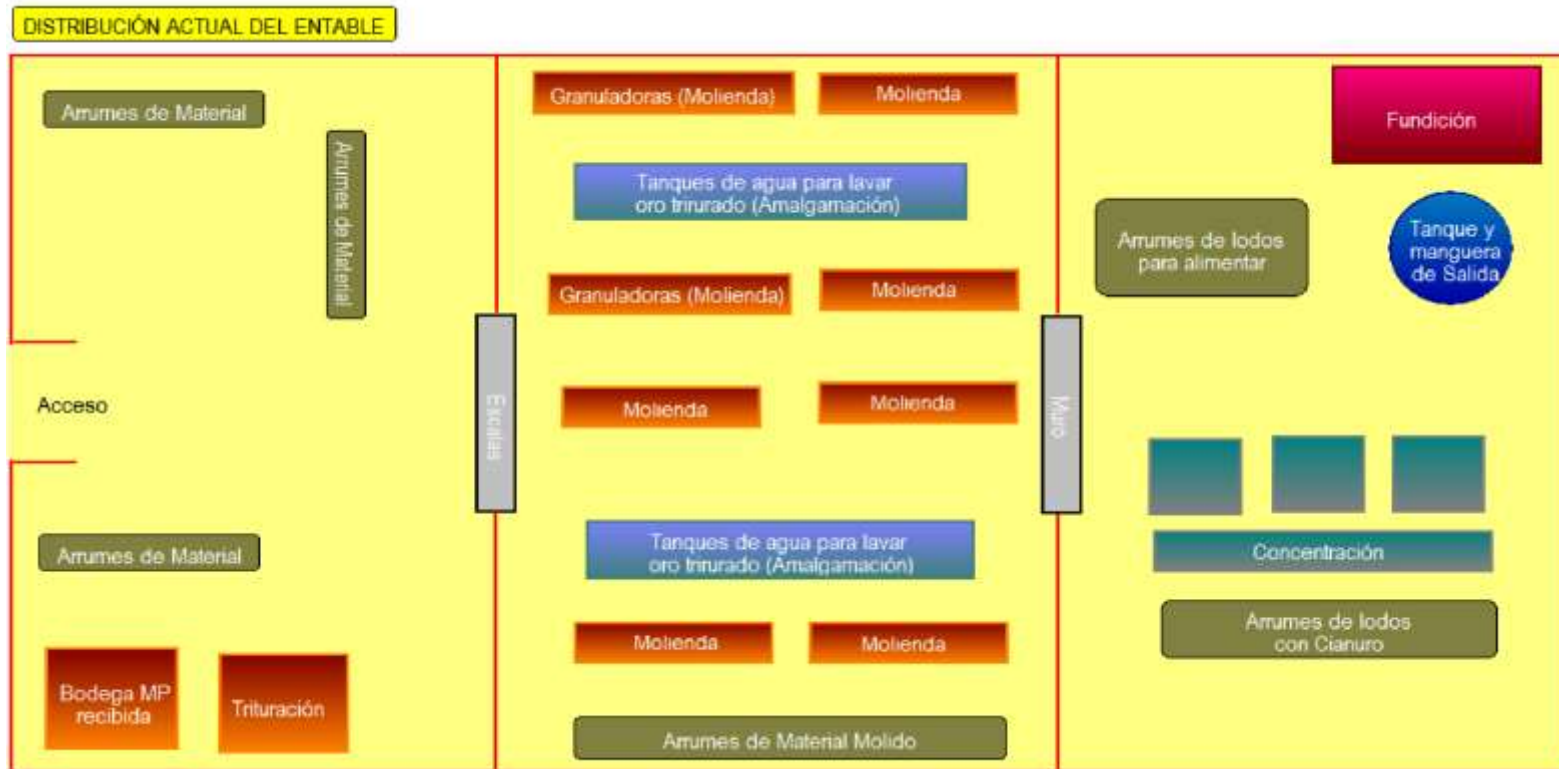


Imagen 22. Distribución de planta de un Entable típico minero
Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Centros de trabajo

(Ver Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio))

Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio)

PRODUCCIÓN ENTABLE (Promedio)									
Cantidad grs Material Recibido (Mes)	Maquinas	# Maquinas	grs/min	Tiempo Empleado(min)	PCC * Máquina(grs)	PCC Total(grs)	Min Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas
3.781.250	Machadora	1	12.500,00	18	228.125,00	228.125,00	480	26	6.000.000,00
	Granuladoras	61	524,69	180	94.444,44	5.792.592,59		3	15.446.913,58
	Marrano	1	21.666,67	30	650.000,00	650.000,00		16	10.400.000,00
	Tinas	5	740,74	930	688.888,89	3.100.000,00		1	1.600.000,00
	Tanques	2	4.557,29	768	3.500.000,00	7.000.000,00		1	4.375.000,00
	Mesa Wiffley	1	26.041,67	120	3.125.000,40	3.125.000,40		4	12.500.001,60

Fuente: Elaboración propia basado en los datos arrojados de la Check List

La Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio) A partir de los datos proporcionados por los entables evaluados, se decidió crear un entable promedio que especifique el número de máquinas que existe en el entable minero actual, la capacidad y el tiempo empleado para ejecutar la tarea, como el número de veces que se debe repetir el proceso para transformar la materia prima inicial, esto con el fin de representar la situación real de los entables en el software Promodel®.

6.2.3. Tiempos del proceso en cada centro de trabajo

Tabla 12. Tiempos de centros de trabajos

CENTRO DE TRABAJO	TIEMPO DE EJECUCIÓN
Machadora	62 minutos
Granuladora	180 min
Marranera (Opcional)	30 min
Tinas	43,200 minutos
Agitadores	768min
Mesa Wifley	120 min

Fuente: Elaboración propia basado en información de check list e (Hincapie, 2006)

Nota 2: Según (Hincapie, 2006, pág. 93) el proceso de cianuración tiene una duración de 30 días en tinas o tanques de cemento realizados artesanalmente dentro de los entables, en tanques agitadores trabaja un promedio de 13 horas.

Nota 3: Según (MADS, 2012) la mesa Wifley tiene una capacidad entre 5 y 20 toneladas por día, con uso de agua entre 3 y 15 galones por minuto

6.2.4. Evaluación del flujo de materias primas auxiliares (Entities)

El modelo de simulación se refiere a la extracción del oro por ende este será el producto que se obtendrá del proceso productivo, como se dijo anteriormente se obtendrían 6.8 gramos de oro por tonelada procesada aproximadamente, asumiendo una eficiencia del 100%. (Ver Tabla 13. Subproductos para cada centro de trabajo)

Tabla 13. Subproductos para cada centro de trabajo

SUBPRODUCTO	CANTIDAD	PROCESO
-------------	----------	---------

Agua	<ul style="list-style-type: none"> • 327 litros • 47,32 Litros • 1307 Litros • 25,000 Litros • 8,500 Litros • 8,500 Litros 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación • Concentración (Mesa Wiffley) • Amalgamación • Cianuración Percolación • Cianuración Agitación • Precipitación
Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> • 602,3 gramos • 35 gramos 	<ul style="list-style-type: none"> • Amalgamación • Relave
Cianuro	10 Kilos* 3,5 ton de lodo	Cianuración
Zinc	1,129 grs * 6,8 grs oro	Precipitación
Peróxido	desconocido	Precipitación
Bicarbonato	1 Libra*día	Amalgamación
Melaza	1 kilogramo*día	Amalgamación

Fuente: Elaboración propia basada en check list

Nota 4: según (Hincapie, 2006) se necesitan entre 5 y 20 onzas de mercurio por cada 60 kg de material, aproximadamente 354,38 gramos de mercurio, es decir que para 85kg de mineral (Capacidad promedio de los cocos en los entables) se necesita 463,4 gramos de mercurio.

Nota 5: Según (Hincapie, 2006) se necesitan 250 litros por cada 65 kg de mineral en el proceso de preparación y clasificación es decir que para el promedio general de 85 kg de mineral se necesitan 327 litros de agua, también el mismo autor recalca que para el proceso de cianuración el cual se puede hacer por dos métodos:

Cianuración por percolación, es decir en tinajas, se consumen 25 m³ por mineral sulfurado.

Cianuración por agitación, es decir tanques, se consumen 8,5 m³ por mineral sulfurado.

También dice que para el proceso de Amalgamación se necesitan 1000 litros de agua por cada 65 kg es decir que por los 85 kg promedio de los estables se necesita 1,307 litros.

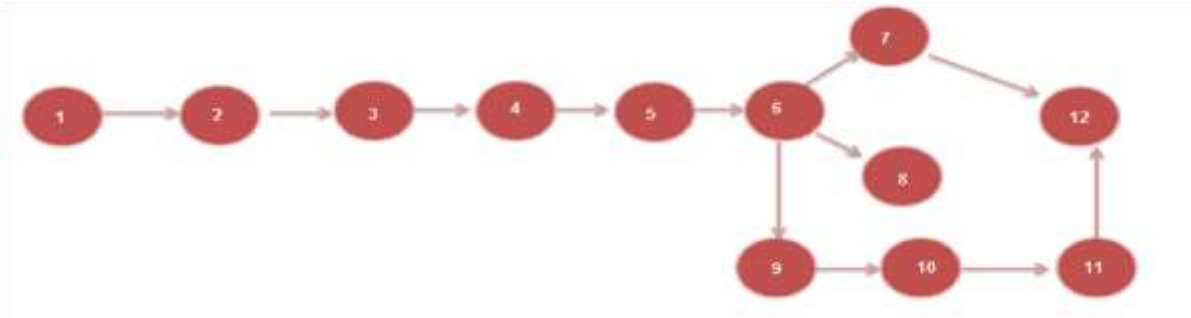
6.2.4.1. Diagrama de precedencias del proceso productivo de un entable típico minero

(Ver Tabla 14. Diagrama de precedencias)

Tabla 14. Diagrama de precedencias

ACTIVIDADES DEL PROCESO PRODUCTIVO	
1	Recepción y almacenamiento
2	Clasificación del mineral
3	Pesaje del mineral
4	Trituración
5	Molienda de mineral triturado
6	Amalgamación
7	Relave
8	Retortas
9	Cianuración
10	Filtración
11	Precipitación

12 Fundición



Fuente: elaboración propia basada en diagrama de procesos (2015)

6.2.5. Medición en el modelo de simulación del entable minero

La simulación en el software Promodel® se dividió en dos etapas, la primera abarca desde el ingreso de la materia prima hasta la trituración, ver *Imagen 23. Etapa 1 de Simulación* y la segunda desde el proceso amalgamación hasta fundición.

6.2.6. Resultados de Etapa 1 de la Simulación en Promodel®

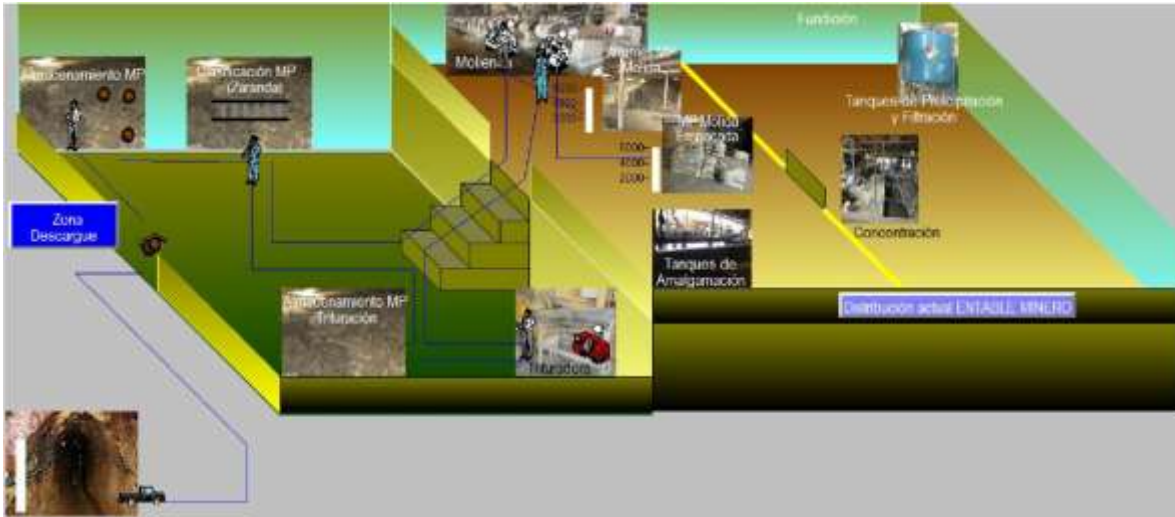


Imagen 23. Etapa 1 de Simulación

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

6.2.6.1. Porcentaje de ocupación de maquinaria etapa 1

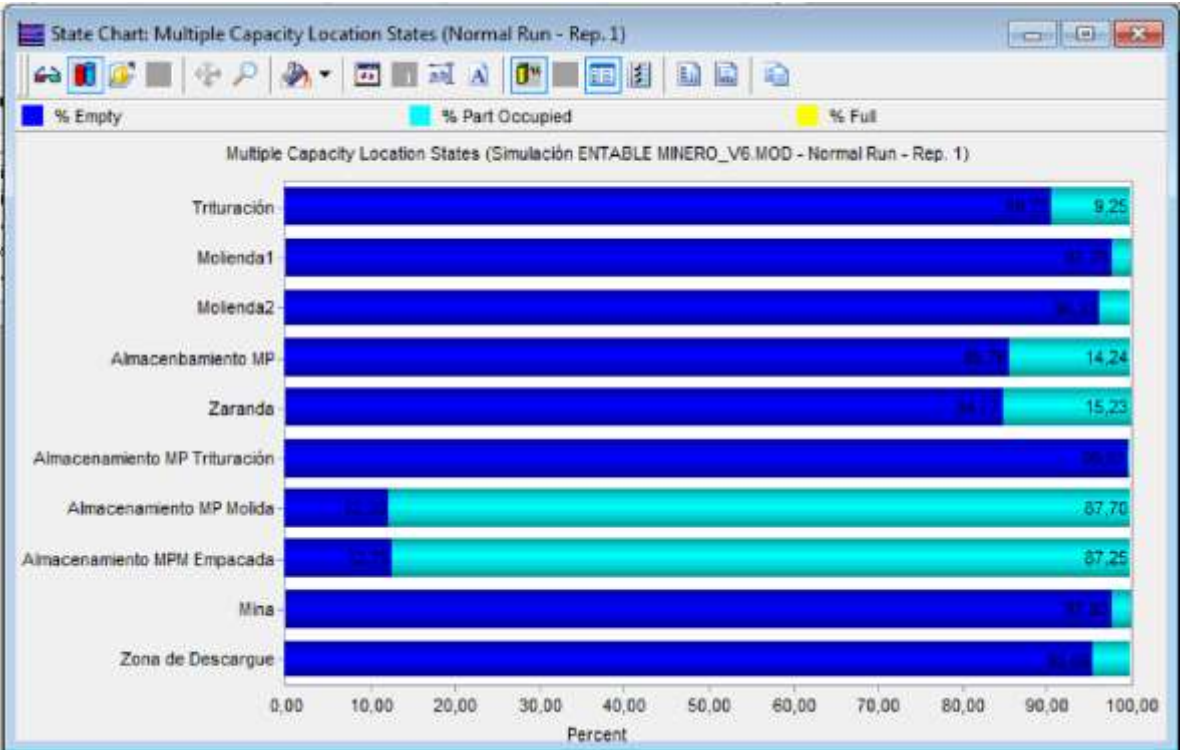
Tabla 15. Datos de Locaciones del entable etapa 1

General Report (Normal Run - Rep. 1)						
General	Locations:	Location States Multi	Resources	Resource States	Failed Arrivals	Entity Activit
Simulación ENTABLE MINERO_V6.MOD (Normal Run - Rep. 1)						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
Trituración	8,00	90,75	9,25	0,00	0,00	
Molienda1	8,00	97,76	2,24	0,00	0,00	
Molienda2	8,00	96,33	3,67	0,00	0,00	
Almacenamiento MP	8,00	85,76	14,24	0,00	0,00	
Zaranda	8,00	84,77	15,23	0,00	0,00	
Almacenamiento MP Trituración	8,00	99,81	0,19	0,00	0,00	
Almacenamiento MP Molida	8,00	12,30	87,70	0,00	0,00	
Almacenamiento MPM Empacada	8,00	12,75	87,25	0,00	0,00	
Mina	8,00	97,80	2,20	0,00	0,00	
Zona de Descargas	8,00	95,66	4,34	0,00	0,00	

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En la Tabla 15. Datos de Locaciones del entable se puede observar que el tiempo de trabajo programado para la maquinaria del entable es de 8 horas, en comparación con esto el porcentaje de ocupación de la maquinaria es aproximadamente de un 22,6% y el porcentaje de desocupación es de 77,38% en promedio de todas las locaciones, lo que nos indica que la capacidad de la maquinaria no es aprovechada a plenitud dado al porcentaje de desocupación.

6.2.6.2. Información estadística de uso de capacidad de locaciones



Grafica 1. Resultados de ocupación de locaciones
 Fuente: Elaboración automática basada en software Promodel® (2015)

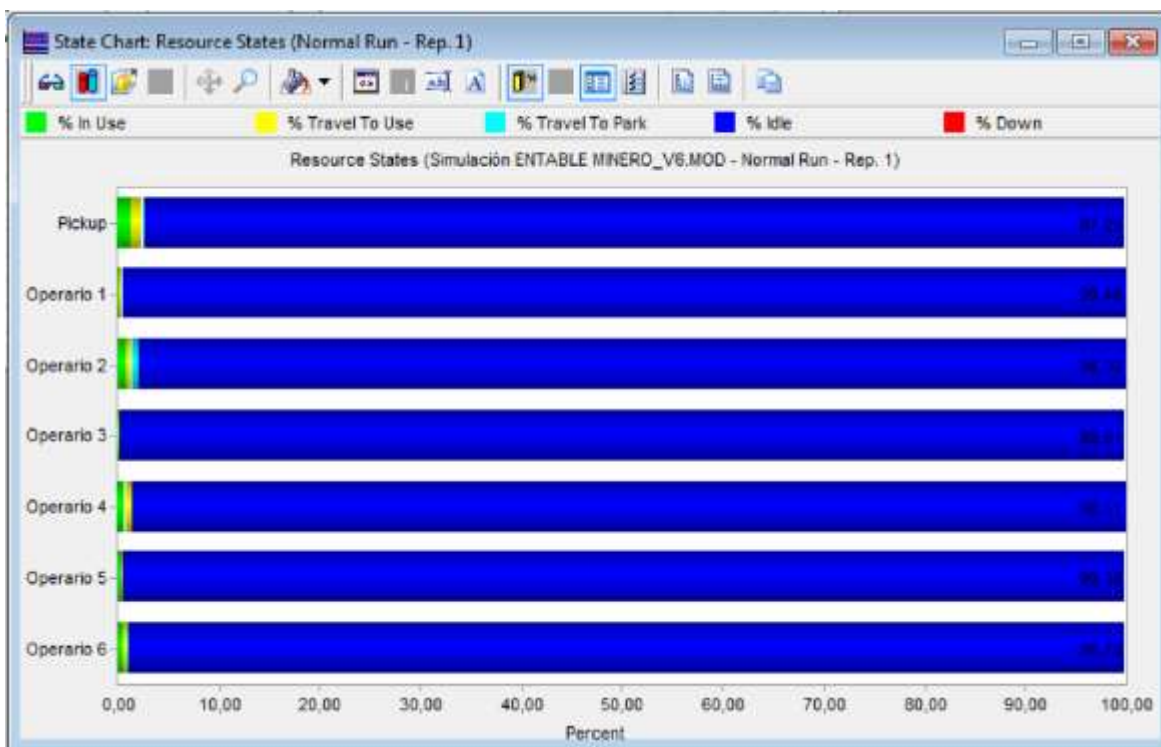
En la Grafica 1. Resultados de ocupación de locaciones se puede observar en color azul oscuro la representación porcentual de desocupación de la locación y el azul claro la representación de ocupación. A partir de esta información se observa la proporción de tiempo que la localización permanece vacía es el siguiente:

- Trituración: 90.75%

- Molienda 1: 97.76%
- Molienda 2: 96.33%
- Almacenamiento de MP: 85.76%
- Zaranda: 84.77%
- Almacenamiento de MP Trituración: 99.81%
- Almacenamiento de MP Molida: 12.3%
- Almacenamiento de MP Empacada: 12.75%

% **Partially Occupied**: Porcentaje de tiempo que la localización estuvo parcialmente llena corresponde a la diferencia con los datos del punto anterior

6.2.6.3. Información estadística del uso de recursos

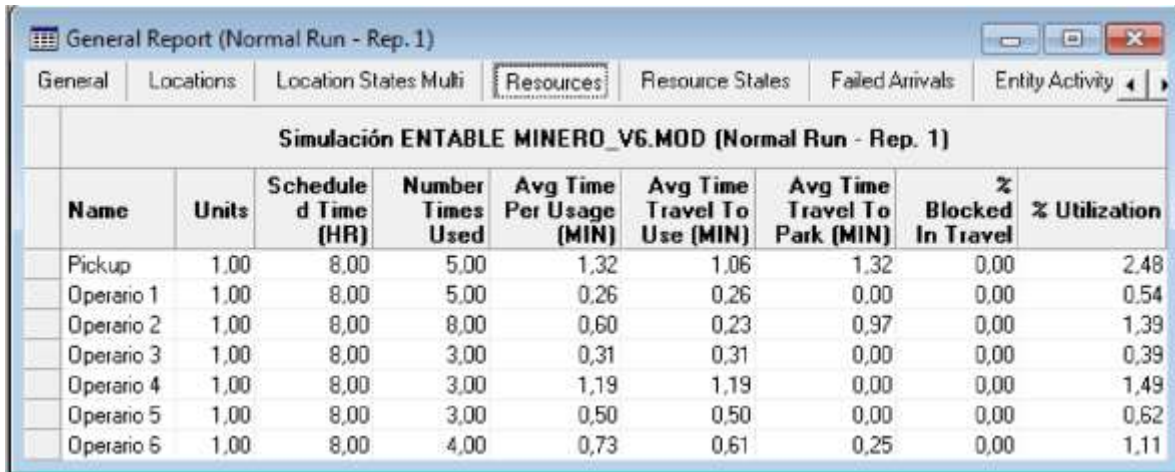


Grafica 2. Resultados de uso de Recursos etapa 1

Fuente: Elaboración automática basada en software Promodel® (2015)

En la *Grafica 2. Resultados de uso de Recursos* se puede observar en color verde el % de uso de los recursos (Operarios) donde aproximadamente el 1,28% corresponde a este ítem, y el 98,7% corresponde al tiempo ocioso que el operario esta sin realizar ningún tipo de actividad, en la *Tabla 16. Reporte de operación* se puede observar el número de veces que el operario realiza la actividad.

Tabla 16. Reporte de operación entable 1



Simulación ENTABLE MINERO_V6.MOD (Normal Run - Rep. 1)								
Name	Units	Schedule d Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	Avg Time Travel To Use (MIN)	Avg Time Travel To Park (MIN)	% Blocked In Travel	% Utilization
Pickup	1.00	8.00	5.00	1.32	1.06	1.32	0.00	2.48
Operario 1	1.00	8.00	5.00	0.26	0.26	0.00	0.00	0.54
Operario 2	1.00	8.00	8.00	0.60	0.23	0.97	0.00	1.39
Operario 3	1.00	8.00	3.00	0.31	0.31	0.00	0.00	0.39
Operario 4	1.00	8.00	3.00	1.19	1.19	0.00	0.00	1.49
Operario 5	1.00	8.00	3.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.62
Operario 6	1.00	8.00	4.00	0.73	0.61	0.25	0.00	1.11

Fuente: Elaboración automática basada en software Promodel® (2015)

Dónde:

- **Scheduled Time (MIN):** El tiempo de operación de la simulación del proceso de producción en el entable promedio del municipio de Segovia, el cual corresponde a 8 horas (Un turno).
- **Number of Times Used:** Es el número de ocasiones que se utilizó el recurso.
- **Avg Time Per Usage (MIN):** El Tiempo promedio que se utilizó el recurso.
- **Avg Time Travel To Use (MIN):** Tiempo promedio por viaje del recurso.
- **Avg Time Travel To Park (MIN):** El Tiempo promedio empleado por los recursos para dirigirse al nodo base (Puntos de Interrelación)
- **% Blocked In Travel:** Porcentaje de tiempo que el recurso estuvo bloqueado al final del viaje. *No existen bloqueos*

6.2.7. Resultados de Etapa 2 de la Simulación en Promodel®

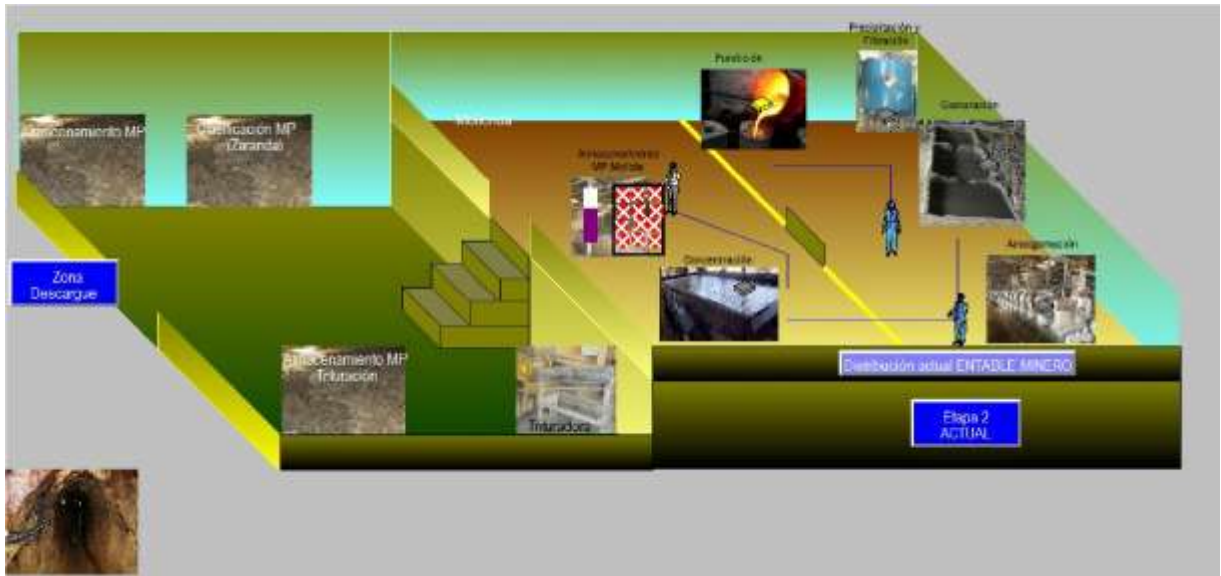


Imagen 24. Etapa 2 de Simulación

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

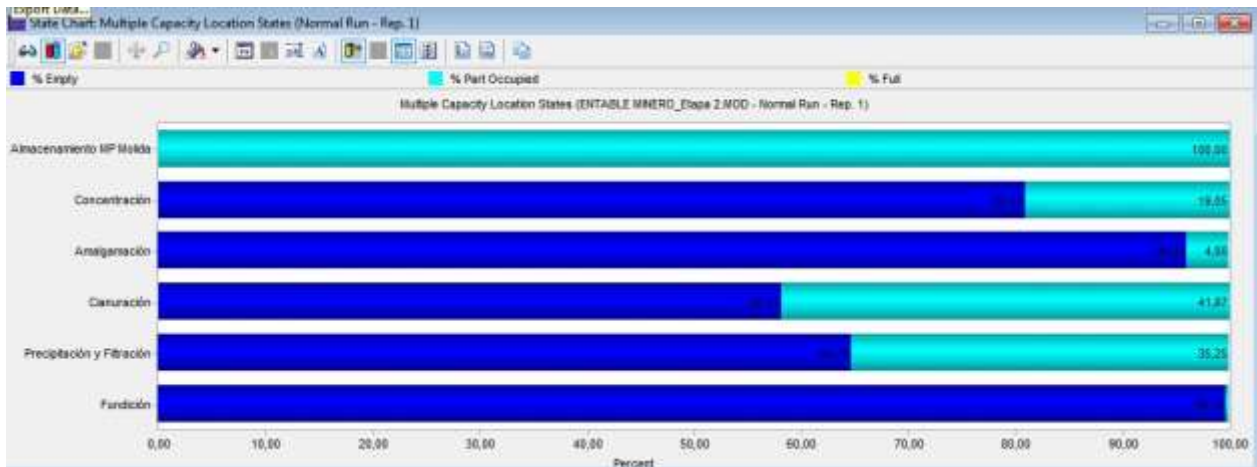
6.2.7.1. Porcentaje de ocupación de maquinaria etapa 2

Tabla 17. Datos de locaciones del entable Etapa 2

ENTABLE MINERO_Etapa 2.MOD (Normal Run - Rep. 1)						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
Almacenamiento MP Molida	8,00	0,00	100,00	0,00	0,00	
Concentración	8,00	80,95	19,05	0,00	0,00	
Amalgamación	8,00	96,00	4,00	0,00	0,00	
Cianuración	8,00	58,13	41,87	0,00	0,00	
Precipitación y Filtración	8,00	64,75	35,25	0,00	0,00	
Fundición	8,00	99,70	0,30	0,00	0,00	

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En la Tabla 17. Datos de locaciones del entable Etapa 2 se puede observar que el tiempo de trabajo programado para la maquinaria del entable es de 8 horas, sin embargo se puede observar que en promedio las máquinas tienen un tiempo de ocio de 79,90% y el 20,09% restante es el promedio de utilización de la capacidad de las maquinarias.



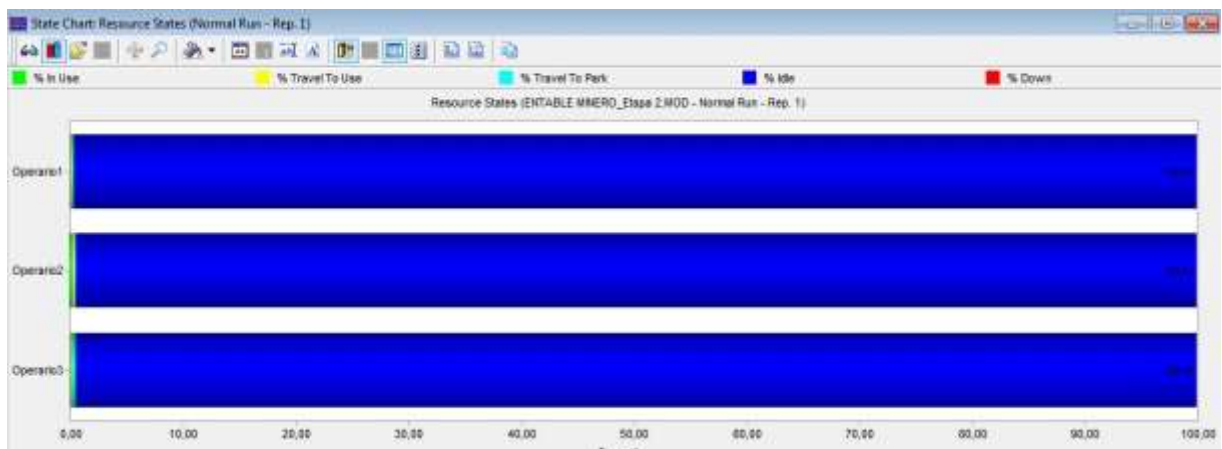
Grafica 3.Resultado de Ocupación de locaciones Etapa 2

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En la Grafica 3.Resultado de Ocupación de locaciones Etapa 2 puede observar en color azul oscuro la representación porcentual de desocupación de la locación y el azul claro la representación de ocupación. A partir de esta información se observa la proporción de tiempo que la localización permanece vacía es el siguiente:

- Almacenamiento de MP Molida: 0%
- Concentración: 80,95%
- Amalgamación: 96%
- Cianuración: 58,13%
- Precipitación y filtración: 64,75%
- Fundición: 99,7%

% **Partially Occupied**: Porcentaje de tiempo que la localización estuvo parcialmente llena corresponde a la diferencia con los datos del punto anterior



Grafica 4. Uso de recursos Etapa 2

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En la Grafica 4. Uso de recursos Etapa 2 se puede observar en color azul oscuro el porcentaje equivalente 99% donde operarios tuvieron tiempo ocioso.

6.2.8. Tiempo de simulación

El tiempo de simulación del entable es de 8 horas o 480 minutos.

6.2.9. Análisis de resultados de entable promedio actual

6.2.9.1. Información del & de utilización de maquina

Tabla 18. Análisis de % de utilización de maquina

Cantidad recibida mensual	Maquinaria	Capacidad total mensual	% de utilización de maquina
3.781.250,00	Zaranda	132.000.000	3%
	Machadora	132.000.000	3%
	Granuladoras	339.832.099	1%
	Marrano	228.800.000	2%
	Tinas	35.200.000	11%
	Tanques	96.250.000	4%
	Mesa Wiffley	275.000.035	1%

Fuente: elaboración propia (2015)

A partir de la *Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio)* y la *Tabla 18. Análisis de % de utilización de maquina* los datos arrojados mide la utilización de la capacidad total de las maquinas Vs. La cantidad de material recibida mensual, se puede determinar que:

- La zaranda es la maquina utilizada en el proceso de clasificación tiene un porcentaje de utilización del 3%, es decir que el 97% de su capacidad es improductiva.

- b. La máquina machadora tiene una utilización de máquina tan solo del 3% y el entable está inutilizando el 97% dado que la capacidad de la maquina es superior a la cantidad de material a procesar al mes.
- c. Las maquinas granularas tiene una utilización de maquina 1% para transformar la producción mensual, está inutilizando el 99% de su capacidad; este proceso determina la precedencia al proceso de *relave o retortas* en el caso del minero o al proceso de cianuración en el caso del entable y se debe determinar el factor tiempo.
- d. El marrano es una maquina con una capacidad de 650.000 gr por día y está utilizando tan solo el 2% de esta, por ende deja de utilizar el 98% de su capacidad restante.
- e. Las tinas son pertenecientes al proceso de cianuración, según la tabla aproximadamente el 86% de la capacidad no está siendo utilizada por el entable, dado que el de este es mayor que la cantidad de materia prima recibida en el mes.
- f. El rendimiento de los tanques tiene un uso del 4% por ende se puede concluir que tiene el 95% de capacidad extra para recibir mayor cantidad de producto.
- g. El 99% de la mesa wiffley es inutilizada por el entable.

En conclusión se puede diagnosticar que el entable promedio tiene un desnivel en su proceso productivo, puesto que el 96% de su capacidad no es utilizada a plenitud, mientras que el 4% restante es un claro ejemplo de la carencia de materia prima mensual para poder alcanzar el máximo rendimiento de la capacidad de producción instalada.

Tabla 19. Análisis de producción

Proceso	Tiempo requerido (Min)	gr/min	Producción día requerida (gr)	Cantidad maquinas	Producción día entable (gr)	% de capacidad utilizada
Machadora	14	12.500	171.875	1	6.000.000	3%
Zaranda	14	12.500	171.875	1	6.000.000	3%
Granuladoras	5	32.181	171.875	61	15.446.914	1%
Marrano	8	21.667	171.875	1	10.400.000	2%
Tinas	52	3.333	171.875	5	1.600.000	11%
Tanques	19	9.115	171.875	2	4.375.000	4%
Mesa Wiffley	7	26.042	171.875	1	12.500.002	1%

Fuente: elaboración propia (2015)

La *Tabla 19. Análisis de producción* nos permite visualizar la producción diaria en el entable equivalente a 171 Kg, también el tiempo requerido para realizar el proceso de transformación en cada una de las maquinarias y la cantidad con su respectiva capacidad mensual; esto nos arroja como resultado la comparación de producción día VS capacidad mensual, el porcentaje de la capacidad utilizada.

Tabla 20. Capacidades

Maquinas	Capacidad total en 8 horas (gr)	Cantidad Material Recibido (Mes) (gr)
Zaranda	6.000.000	3,781.250
Machadora	6.000.000	
Granuladoras	15.446.914	
Marrano	10.400.000	
Tinas	1.600.000	
Tanques	4.375.000	
Mesa Wiffley	12.500.002	
Total Capacidad	56.321,915	

Fuente: elaboración propia (2015)

En la *Tabla 20. Capacidades* se observa la capacidad de la maquina en un tiempo laboral de 8 horas y la cantidad de materia prima recibida al mes, todos los datos en gramos, por ende para determinar la capacidad de utilización de la planta y el “colchón” utilizamos las siguientes pasos:

1. Paso 1: Determinar la capacidad de utilización

Según (Carro Paz & Gonzales Gomez, 2015) es el grado en el que el equipo se emplea actualmente

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tasa de producción promedio}}{\text{Capacidad máxima}} \times 100\%$$

$$\text{Utilización} = \frac{3,781.250 \text{ gr}}{56.321,915 \text{ gr}} \times 100\% = 6,71\%$$

Según la formula anterior el entable basada en los datos de La *Tabla 19. Análisis de producción* tan solo utiliza el 6,71% de toda su capacidad es decir, que de los 56, 32 Toneladas que puede procesar tan solo transforma 4 toneladas aproximadamente, se está dejando de industrializar 52,32 toneladas más, lo que implica una significativa improductividad.

2. Paso 2: Determinar el “colchón” de capacidad

Según (Carro Paz & Gonzales Gomez, 2015) es la capacidad que una empresa mantiene como reserva para afrontar incrementos repentinos de la demanda.

$$\text{“Colchón de capacidad”} = 100\% - \text{Porcentaje de utilización (\%)}$$

“Colchón de capacidad” = $100\% - 6,71\% = 93,29\%$

La fórmula anterior nos determina que la empresa tiene un 93,29% extra de capacidad para amortiguar una demanda creciente futura.

6.2.10. Alternativas industriales para producción limpia que se adaptan al nuevo modelo de producción

6.2.10.1. Balanceo de líneas para optimizar la capacidad del entable.

- *Alternativa 1: Aumentar la cantidad de materia prima a procesar mensual con el fin de aumentar su capacidad en un 89%.*
- *Alternativa 2: Nivelar los cuellos de botella de las maquinas Lo que implica aumentar la capacidad de los más “lentos” o los cuellos a la capacidad del mayor.*
- *Alternativa 3: Estimar el tiempo real de producción en la jornada laboral de (8) horas y aumentarlo o disminuirlo según la conveniencia.*
- *Alternativa 4: Producción más limpia: Huella hídrica manejo de colas contaminadas y tanques de sedimentación.*

6.2.10.2. Alternativa 1 y 2

A partir de la información arrojada en el Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio) y el porcentaje de utilización de máquina con un promedio de 4%, se realiza un balanceo de líneas determinando los cuellos de botella; puesto que la capacidad de todas las maquinarias varía frente a la otra.

PRODUCCIÓN ENTABLE (Promedio)									
Cantidad Material Recibido (Mes) grs	Maquinas	# Maquinas	Tiempo Empleado(min)	PCC Total(grs)	Min Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas	Capacidad mensual grs	Utilización de maquina
	Zaranda	1	14	175.000,00		34	6.000.0000,00	132.000.000,00	3%
3.781.250	Machadora	1	18	228.125,00	480	26	6.000.000,00	132.000.000,00	3%
	Granuladoras	61	180	5.761.111,11		3	15.362.962,96	337.985.185,19	1%
	Marrano	1	30	650.000,00		16	10.400.000,00	228.800.000,00	2%
	Tinas	5	930	3.100.000,00		1	1.600.000,00	35.200.000,00	11%
	Tanques	2	768	7.000.000,00		1	4.375.000,00	96.250.000,00	4%
	Mesa Wiffley	1	120	3.125.000,40		4	12.500.001,60	275.000.035,20	1%

A continuación en la *Tabla 21. Entable Balanceado* se puede visualizar los cambios que equilibran las capacidades de las máquinas y el aumento del porcentaje de utilización de máquina.

Tabla 21. Entable Balanceado

ENTABLE BALANCEADO									
Cantidad Material Recibido (Mes) grs	Maquinas	# Maquinas	Tiempo Empleado(min)	PCC Total(grs)	Min Turno	Frecuencia por Turno	Capacidad Total en 8 horas	Capacidad mensual	Utilización de maquina
249.562.500	Zaranda	2	14	350.000,00	480	34	12.000.000,00	264.000.000,00	95%
	Machadora	2	18	456.250,00		26	12.000.000,00	264.000.000,00	95%
	Granuladoras	48	180	4.533.333,33		3	12.088.888,89	265.955.555,56	94%
	Marrano	1	35	758.333,33		16	12.133.333,33	266.933.333,33	93%
	Tinas	34	930	23.422.222,22		1	12.088.888,89	265.955.555,56	94%
	Tanques	5,5	768	19.250.000,00		1	12.031.250,00	264.687.500,00	94%
	Mesa Wiffley	1	120	3.125.000,40		4	12.500.001,60	275.000.035,20	91%

Fuente: elaboración propia (2015)

A partir de la Tabla 11. Centros de trabajo (Entable Promedio) en el proceso de Amalgamación con sus máquinas granuladoras se diagnosticó que este tiene la mayor capacidad, por ende, se determina nivelar el proceso de tal manera que la cantidad de material recibido mensual aumente y el proceso este equilibrado para recibir dicho incremento.

- a. La capacidad de la maquina granuladora aumentó, dado que se pasó a dos (2) el número de máquinas y su porcentaje de utilización incremento un 92%
- b. La capacidad de la maquina machadora aumentó, dado que se pasó a dos (2) el número de máquinas y su porcentaje de utilización incremento en un 92%
- c. La capacidad de las maquinas granuladoras disminuyó, dado que se pasó de (61) a (48) el número de máquinas y su porcentaje de utilización incremento en un 93%, puesto que este era el proceso que mayor capacidad tenia y generaba un cuello de botella.
- d. La capacidad de la maquina marrano se mantuvo, sin embargo se aumentó a 35 minutos su tiempo de ejecución y su porcentaje de utilización incremento en un 91%
- e. La capacidad de la tinas se aumentó, dado que se pasó de (5) a (34) el número de tinas, su porcentaje de utilización incremento en un 83%; sin embargo se recomienda pasar a tanques de cianuaracion por agitación, puesto que el tiempo del proceso disminuye de 30 días 13 horas, también porque un tanque de agitación cubre la capacidad de seis tinas.
- f. La capacidad de los tanques por agitación se aumentó, pasó de (2) a (5) y medio el número de máquinas y su porcentaje de utilización incremento en un 90%
- g. La capacidad de la maquina mesa wiffley se mantuvo sin ningún cambio.

Con los cambios propuestos en el entable promedio, en cada uno de los ítems mencionados con anterioridad, si su capacidad de maquinaria mensual se mantiene en unos 266, 647 Kg/mes y se incrementa su cantidad mensual recibida de materia prima a 249, 562 Kg/mes, en general el porcentaje de utilización de maquina aumenta en un 91%.

6.2.10.3. Alternativa 3

Tabla 22. Tiempo de producción

Producción diaria (gr)	Proceso	Tiempo requerido (Min)	Tiempo total requerido (Min)
171, 875.000	Machadora	14	118
	Zaranda	14	
	Granuladoras	5	
	Marrano	8	

Tinas	52
Tanques	19
Mesa Wiffley	7

Fuente: elaboración propia (2015)

Según información arrojada por *Tabla 22. Tiempo de producción* Para alcanzar la producción diaria de 0,17 Kg ó 171, 875.000 gramos es necesario que las maquinas trabajen 118 minutos, sin embargo para determinar el porcentaje de tiempo laborado en el día es necesario utilizar la siguiente formula:

% Tiempo laborado= $\frac{\text{Tiempo trabajado}}{\text{Tiempo turno}} \times 100$

% Tiempo laborado= $\frac{118}{480} \times 100 = 24,6\%$

Según la Tabla 22. Tiempo de producción todos los procesos en cadena trabajan 118 min para alcanzar la demanda diaria es decir que de los 480 min ó 8 horas de la jornada laboral 362 minutos son improductivos, representado un 24,6% con una inutilización de tiempo del 75,4%.

Según (Osorio , Serna, & Ospina , 2015) de una tonelada de material procesado se puede extraer aproximadamente 6,8 gramos de oro, y en el entable promedio se extraen aproximadamente 1,17 gramos de oro al día, en 0,171875 Toneladas.

Es decir que por no procesar una tonelada de material al día, se está dejando de obtener 5,63 gramos de oro al día, es decir 123,86 gramos al mes.

En la siguiente tabla se relación la capacidad de materia prima en toneladas para extraer una cantidad determinada de oro, suponiendo que de una tonelada se extraen 6,8 gramos y se determina el % de obtención.

Tabla 23. Obtención de oro

Cantidad de materia prima (Ton)/ mes	Cantidad extraída de Oro (grs)
3,78 ton (Materia prima Actual recibida)	25,74 grs
12,12 ton (Promedio capacidad propuesto)	84,416 grs
249,56 ton (Promedio materia prima propuesta)	1,693 grs

Fuente: elaboración propia (2015)

- a. Optimizando el tiempo de producción de la planta en un 75% extra, es decir trabajar los 362 minutos restantes de la jornada laboral, se podrían procesar en el mes 8,34

toneladas que siguen siendo el 6% de la capacidad de la planta, sin embargo aumenta a 123,86 grs/mes la cantidad extraída de oro.

- b. Si se realizan los cambios propuestos de la *Tabla 21. Entable Balanceado* donde se aumenta en un 91% el porcentaje de utilización de máquina y el ingreso de materia prima a 249,56 Ton/mes, el entable incrementaría a 1,693 grs/mensual de Oro es decir a 1,69 Kg/mes.
- c. Según el (BanRep, 2015) en la *Tabla 24. Precios de compra de metales preciosos* se puede determinar el valor de compra de un gramo de oro vs. La producción del entable promedio y balanceado.

Tabla 24. Precios de compra de metales preciosos

Precios de compra de metales preciosos para las operaciones propias del Banco de la República	
Cantidad (grs)	Precio de compra \$ (Pesos)
1 (gr)	\$ 83.435
25,74 (gr)	\$ 2.147,633
84,416 (gr)	\$ 6.876,380
123,86 (gr)	\$ 10,334,260
1,693 (gr)	\$141.256,538

Fuente: elaboración propia (2015)

Según los datos proporcionados por la *Tabla 24. Precios de compra de metales preciosos*, actualmente el entable está generando ingresos de \$ 2.147,633 extrayendo 25,74 (gr); si el entable aumenta en un 75% su tiempo laboral como se planteó en la alternativa 3, el ingreso sería de \$8.719.024 por los 104,5(gr) extraídos, si se acoge la alternativa 1 y 2 de balanceo de líneas y se ampliara a 1,693 (gr) la extracción de oro, el ingreso sería de \$141.256,538 al mes.

6.2.11. Simulación de entable propuesto

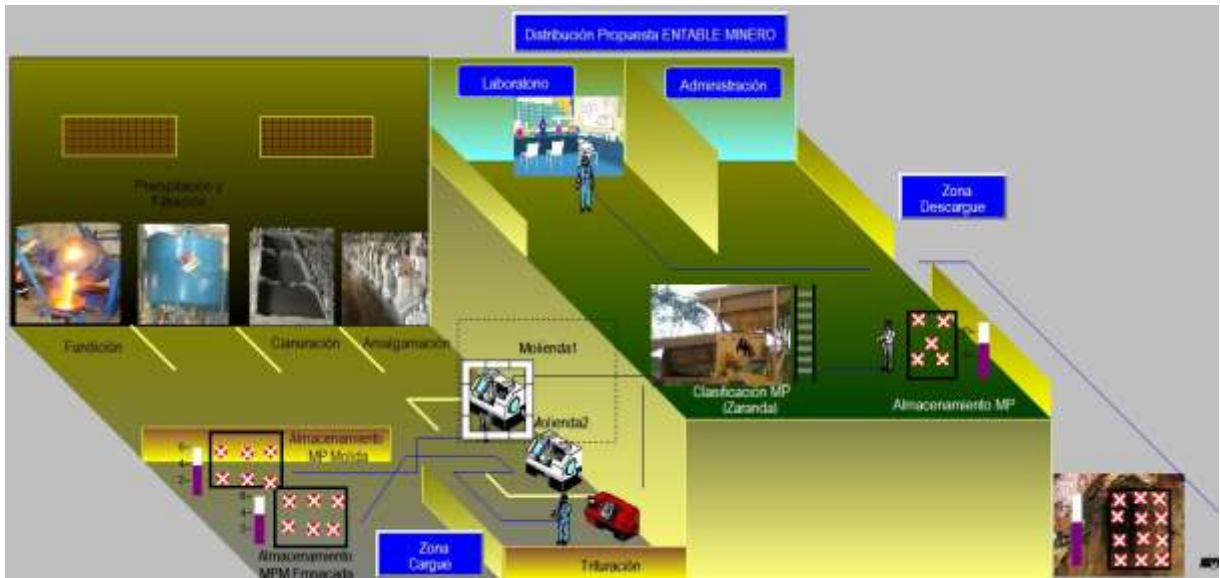
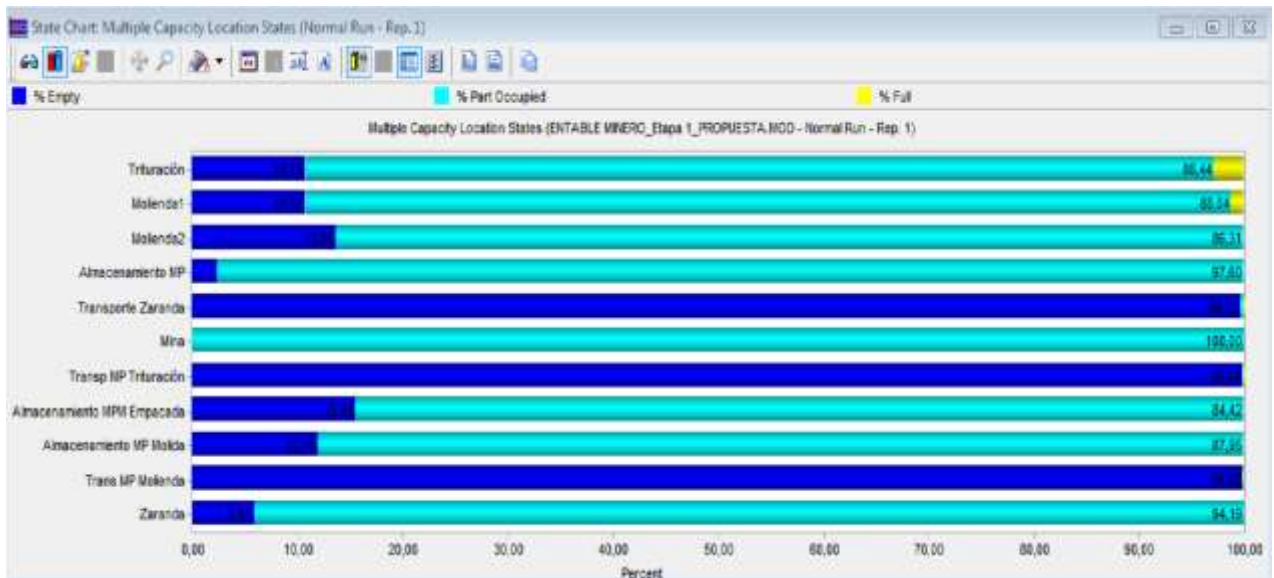


Imagen 25. Simulación entable propuesto Etapa 1
 Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En base a los resultados obtenidos en la alternativa 2 de solución, (ver Tabla 21. Entable Balanceado), Se decidió idear las sugerencias con el fin de tener un visión clara de los cambios postulados, utilizando como herramienta el software Promodel®.

También se re-organizo la distribución física del entable con el objetivo de utilizar pertinentemente los espacios y dar un mejor flujo sistemático a las operaciones y materiales en la Grafica 5. Porcentaje de ocupación de locación entable propuesto, Etapa 1, se observa la ocupación de la maquinaria a partir de las alternativas de solución.

6.2.11.1. Porcentaje de ocupación de maquina entable propuesto, Etapa 1



Grafica 5. Porcentaje de ocupación de locación entable propuesto, Etapa 1
Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

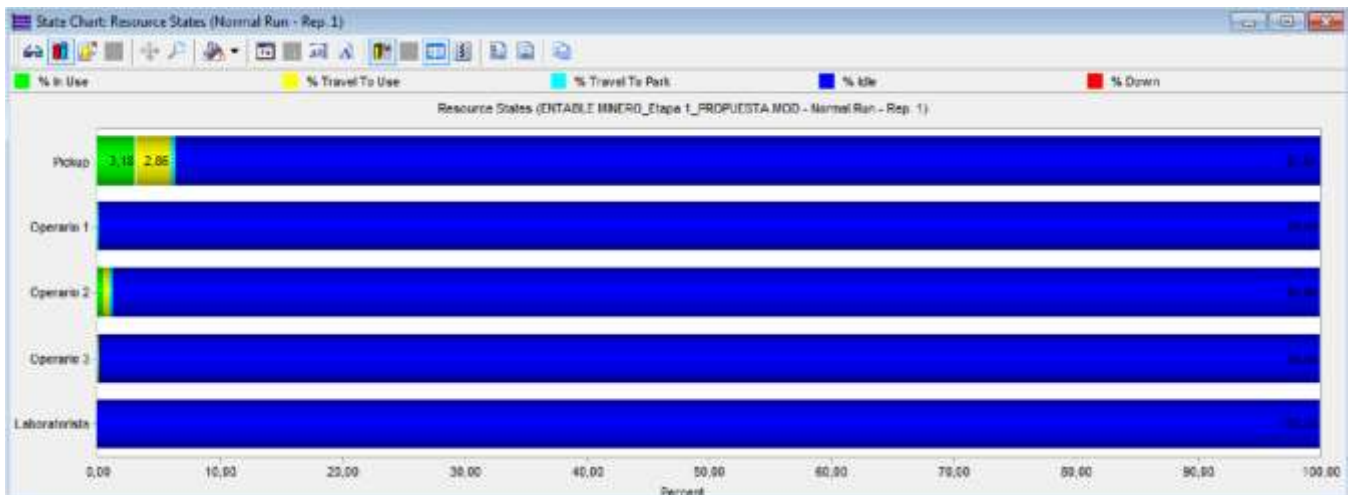
La grafica 5, se puede observar en color azul oscuro la representación porcentual de desocupación de la locación y el azul claro la representación de ocupación. A partir de esta información se observa la proporción de tiempo que la localización permanece vacía es el siguiente:

- Trituración: 86,44%
- Molienda 1: 88,04%
- Molienda 2: 86,31%
- Almacenamiento MP: 97,60%
- Mina: 100%
- Zaranda: 94,19%

% **Empty**: Porcentaje de tiempo que la localización estuvo parcialmente ociosa es el porcentaje restante de la representación de ocupación.

Aproximadamente según la gráfica anterior se utiliza el 90,61% la capacidad de las locaciones y el 9,38% es el porcentaje de desocupación de la máquina que se puede resumir en el tiempo ocioso o de espera por los desplazamientos y puesta en marcha de la maquinaria.

6.2.11.2. Uso de los recursos, entable propuesto Etapa 1

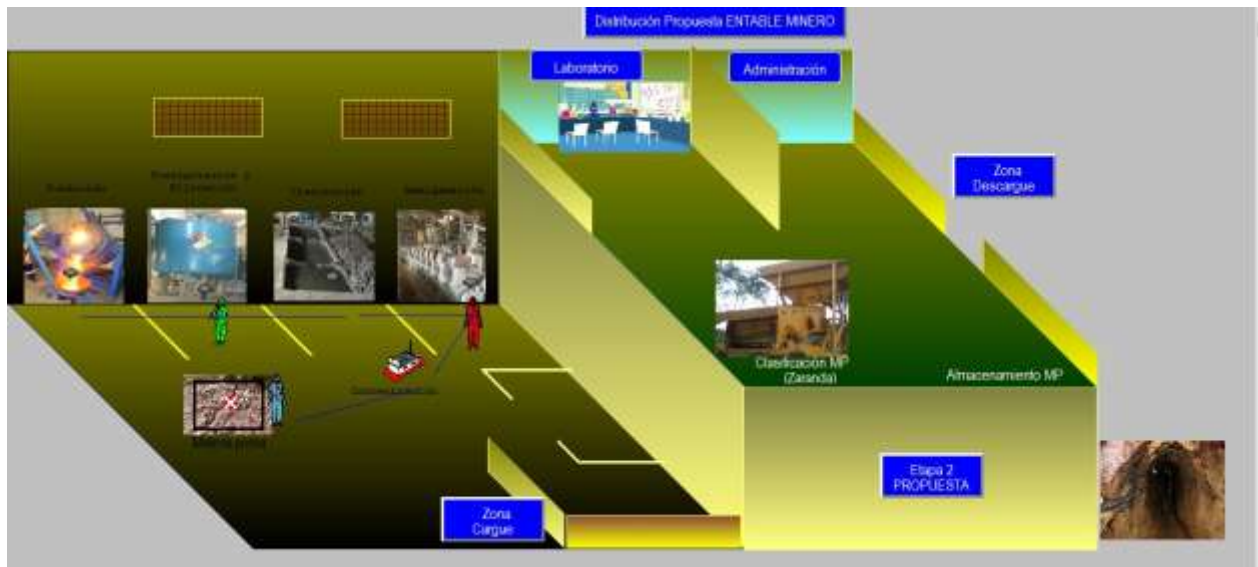


Grafica 6. Uso de recursos Entable propuesto, Etapa 1
Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

Según los datos arrojados por la Grafica 6. Uso de recursos Entable propuesto, Etapa 1 el porcentaje de desocupación promedio de los trabajadores del entable es de 98,38% y

el 1,62% restante es el promedio en el que los “recursos” u operarios mantienen ocupados o realizando desplazamientos.

6.2.12. Simulación de entable propuesto Etapa 2



Grafica 7. Simulación Propuesta, Etapa 2

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En la etapa 2 no se sugieren cambios, de tiempos, tan solo de nivelación de capacidades y utilización de maquinaria que se puede observar en la Tabla 21. Entable Balanceado, también una nueva distribución espacial de maquinaria con el fin de acotar los desplazamientos como lo demuestra la Grafica 7. Simulación Propuesta, Etapa 2.

6.2.13. Información estadística de interés

Dado que los tiempos de producción son variables y dependen la parte de la región de Segovia – Remedios se ha extraído el material y que el tenor y la dureza dependen de la refracteriedad o contenido de otros materiales asociados al oro; el análisis estadístico no es determinístico sino estocástico.

Los procesos estocásticos se refieren a una serie de variables aleatorias cuyos valores cambian a lo largo del tiempo y por lo tanto los valores de los tiempos se obtienen mediante un estudio.

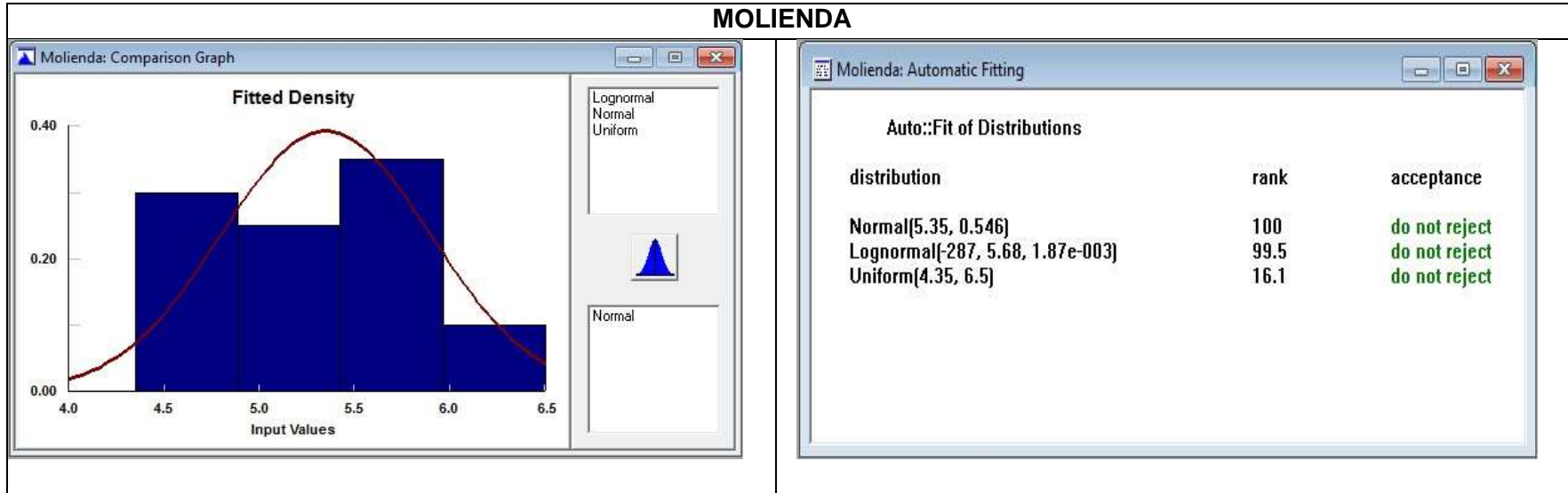
Para la simulación se determinaron los siguiente tiempos para cada uno de los procesos en estudio y una vez analizados en promodel, se determina que tienen un comportamiento normal, logaritmico normal o exponencial en Stat Fit. En la simulación se utilizo la distribución normal y arrojó los siguientes resultados: Tabla 25. Tiempos Usados en Promodel®

ESTUDIO DE TIEMPOS

No.	Zaranda	Machadora	Granuladora
1	13.75	13.75	5.37
2	14.5	14.5	5.37
3	13.75	13.75	4.75
4	13.5	13.5	4.85
5	14.75	14.75	5.75
6	12.7	12.7	4.75
7	15	15	5.75
8	13.5	13.5	5.35
9	13.75	13.75	5.5
10	12.75	12.75	5.7
11	13.6	13.6	6
12	14.8	14.8	6.5
13	12.75	12.75	5.75
14	13.75	13.75	5.75
15	13.5	13.5	4.75
16	13.6	13.6	4.5
17	13.8	13.8	4.35
18	15.5	15.5	5
19	12.75	12.75	5.4
20	13	13	5.86

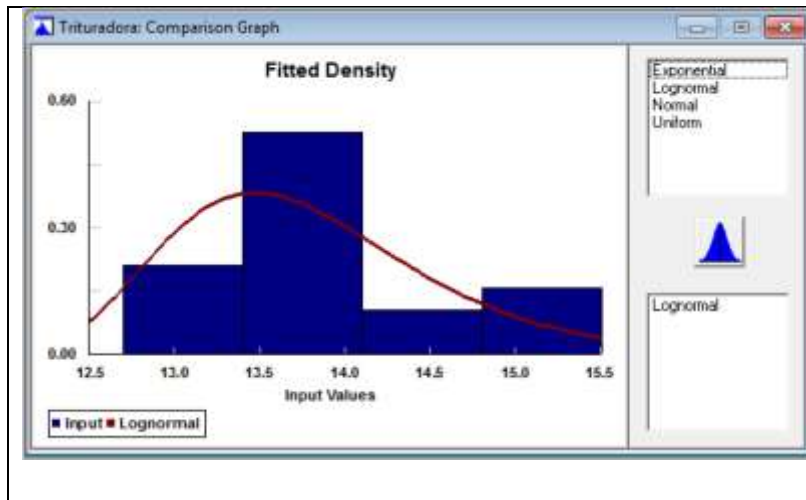
Fuente: elaboración propia basada en estudio de tiempos (2015)

Tabla 26. Stat Fit Molienda



Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015) Tabla 27. Stat Fit Trituración

TRITURACION



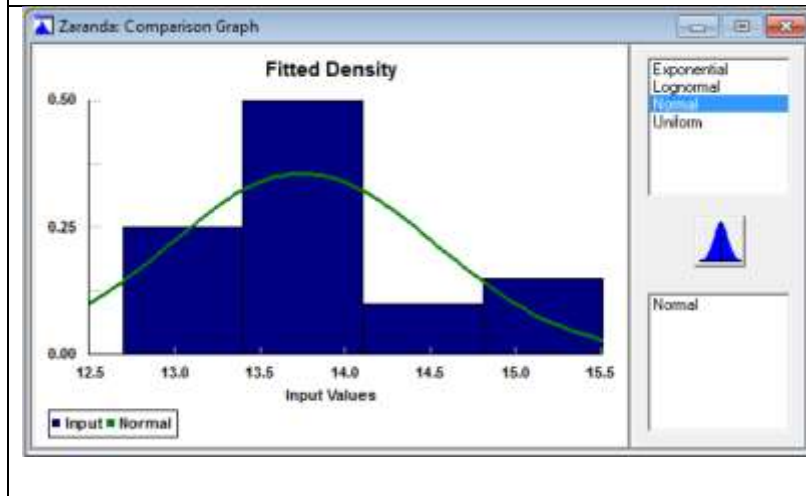
Trituradora: Automatic Fitting

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Lognormal[11., 0.976, 0.285]	100	do not reject
Normal[13.8, 0.781]	49.1	do not reject
Exponential[12.7, 1.09]	2.61	reject
Uniform[12.7, 15.5]	0.325	reject

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015) Tabla 28. Stat Fit Clasificación

CLASIFICACIÓN (ZARANDA)



Zaranda: Automatic Fitting

Auto::Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Lognormal[11.6, 0.71, 0.365]	100	do not reject
Normal[13.8, 0.781]	48.7	do not reject
Exponential[12.7, 1.05]	5.63	do not reject
Uniform[12.7, 15.5]	0.109	reject

Fuente: elaboración propia basada en software Promodel® (2015)

En la Tabla 26. Stat Fit Molienda, Tabla 27. Stat Fit Trituración, Tabla 28. Stat Fit Clasificación; se puede observar que el Software Promodel® analiza y determina el tipo de distribución de probabilidad del conjunto de datos de los tiempos obtenidos en los entables analizados. Esta herramienta permite comparar los resultados entre varias distribuciones mediante una calificación; además calcula los parámetros apropiados para cada tipo de distribución e incluye información estadística adicional como: media, moda, valor mínimo, valor máximo y varianza; entre otros datos, en los procesos analizados (Clasificación, trituración, Molienda,) se determinó realizar la simulación con una distribución normal.

6.2.14. Matriz de comparación de las simulaciones

Tabla 29. Comparativo Etapa 1

Comparativo Etapa 1 ACTUAL Vs. Etapa 1 PROPUESTA						
Nombre proceso	% de ocupación ACTUAL	% de ocupación PROPUESTA	% Optimización de ocupación	% Ocio ACTUAL	% Ocio PROPUESTO	% Optimización Ocio
Trituración	9,25	86,44	77,19	91	11	80
Molienda1	2,24	88,04	85,8	98	11	87
Molienda2	3,67	86,31	82,64	96	14	83
Almacenamiento Materia prima	14,24	97,6	83,36	86	2	83
Zaranda	15,23	94,19	78,96	85	6	79
Almacenamiento MP Trituración	0,19	87,95	87,76	100	12	88
Almacenamiento MPM Empacada	87,25	84,42	-2,83	13	16	-3
Mina	2,2	100	97,8	98	0	98

Fuente: elaboración propia basada en datos del software Promodel® (2015) Tabla 30. Comparativo Etapa 2

Comparativo Etapa 2 ACTUAL Vs. Etapa 2 PROPUESTA						
Nombre proceso	% de ocupación ACTUAL	% de ocupación PROPUESTA	% Optimización de ocupación	% Ocio ACTUAL	% Ocio PROPUESTO	% Optimización Ocio
Almacenamiento MP Molida	31,64	42,67	11,03%	68	54	15%
Concentración	39,22	46,23	7,01%	61	54	7%
Amalgamación	51,5	44,29	-7,21%	49	56	-7%
Cianuración	9,9	66,5	56,6%	90	34	57%
Precipitación y Filtración	0	64,17	64,17%	100	36	64%
Fundición	0	0	0	100	100	0

Fuente: elaboración propia basada en datos del software Promodel® (2015)

En la Tabla 29. Comparativo Etapa 1 se puede analizar en los ítems y Tabla 30. Comparativo Etapa 2 (% de Optimización de Ocupación y Ocio) la diferencia que genera en cada una de las etapas del proceso la aplicación de las alternativas mencionadas con anterioridad y el porcentaje de buscar la mejor manera de realizar la actividad.

La ingeniería busca la optimización de los recursos en los procesos de producción y el software de Promodel nos proporciona la posibilidad de hacer este tipo de análisis. Para nuestro caso, en la comparación de la utilización de los recursos en el entable minero "promedio" propuesto se puede observar una optimización en la utilización de los recursos, con incrementos importantes en los procesos

En la propuesta se sugiere la utilización de recursos como los Transportes Materia Prima de Trituración y Transporte Materia Prima Molienda que utilizan caída por gravedad, dado que se sugiere la ubicación de la Zaranda en un segundo nivel, que permita alimentar el proceso de trituración para aquel material de la mina que lo requiera, así como el proceso del material de la mina que por sus características, no requiere este proceso y pasa directamente a la molienda.

Los procesos de Trituración, Molienda 1, Molienda 2, Almacenamiento Materia Prima, Mina y Zaranda muestran optimizaciones importantes en los porcentajes, lo que significa la optimización de los recursos en un mismo periodo de tiempo (un turno de 8 horas).

6.2.15. Producción más limpia

6.2.15.1. Impacto en el recurso hídrico

Este impacto se presenta por el aumento de sólidos en suspensión generados por las labores de extracción del mineral y su acumulación en pilas o botaderos y por los sólidos residuales generados durante el proceso de beneficio del mineral, los cuales son transportados por las aguas superficiales de escorrentía a los drenajes aledaños. La presencia de materiales ricos en sulfuros y sulfatos que generan cambios en el pH de las aguas, se traduce en la acidificación de aguas y por ende la afectación de la fauna acuática. Así mismo, la presencia de los efluentes líquidos provenientes de las explotaciones mineras y que se vierten directamente a botaderos o a las corrientes de agua superficiales, son fuente de contaminación por la presencia de metales pesados que puedan contener. De otro lado, las aguas residuales del proceso de beneficio contienen sólidos en suspensión (lodos, arenas, sulfuros), sales disueltas, mercurio y cianuro, las cuales son vertidas directamente y sin tratamiento alguno a las corrientes de agua, aumentando así el volumen de sedimentos (sólidos suspendidos y partículas de arrastre).

6.2.15.2. Análisis de información de uso de recurso: agua

Tabla 31. Consumo diario de agua

CONSUMO DIARIO AGUA	
PROCESO	Consumo en Litros (Lts)
Clasificación	327
Concentración	47,32
Amalgamación	1,307
Cianuración percolación	25,000
Cianuración agitación	8,500
Precipitación	8.500
Agua utilizada en entable	43.681,32
Agua contaminada	43.307
% agua no contaminada	1%
% Agua contaminada	99%

Fuente: elaboración propia basados en check list (2015)

En la *Tabla 31. Consumo diario de agua* demuestra el consumo hídrico en cada uno de los procesos del entable promedio, la planta de beneficio utiliza aproximadamente 43.681 Litros de agua en el día, de los cuales el 99% es agua contaminada por su contacto con cianuro, mercurio, zinc, cal, entre otros y el 1% es agua no contaminada que se utiliza en el proceso de clasificación y concentración, sin embargo tiene contacto directo con el mineral el cual es refractario es decir, incluye otros mineral a parte del oro.

Tabla 32. Tratamiento de lodos

Entable	Tratamiento de Lodos	Tratamiento de aguas	Permisos	Recuperación de químicos	Proceso
El diamante	No	No	Si	Mercurio	Retortas
San Nicolas	No	No	Si	No	No
Mina la valencia 2	No	No	Si	Mercurio	Retortas
Molino la valencia Corazones 1	No	No	Si	No	No
Granuladores el trébol	Si	Si	Si	Mercurio	Retortas

Fuente: elaboración propia basados en check list (2015)

En la *Tabla 32. Tratamiento de lodos* extraída de los datos proporcionados por los entables entrevistados en el municipio de Segovia se puede determinar que tan solo el entable granuladores el trébol cuenta un adecuado tratamiento de lodos, aguas y

recuperación de químicos, los entables el Diamante y Mina la valencia 2, recuperan mercurio a través del proceso de Retortas, Todos los entables dicen tener activos los permisos (Concesión de aguas, Vertimientos, Licencia Ambiental, Usos del suelo).

6.2.15.3. **Alternativa 4: Huella Hídrica**

Por ende se recomienda hacer una medición de la huella hídrica donde se estime el impacto de la actividad en el recurso hídrico por medio de los indicadores (Verdes, azul y gris).

Según (Gonzales , Montoya , Botero, Arevalo, & Valencia, 2013)

A. Huella hídrica azul HHA: Es el consumo del agua o la cantidad de agua superficial o subterránea que se utiliza para un proceso o producto.

Para la estimación de agua hídrica azul, inicialmente se calcula un indicador que hace referencia al consumo de agua en m³ por Kg de oro producido, para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

Indicador HHA: $\frac{\text{Caudal entrada} - \text{Caudal de salida}}{\text{Producción}}$

La diferencia del caudal de entrada o de salida se puede dar por las siguientes características:

- Agua que se evapora durante el proceso
- Agua que es incorporada al producto
- Agua que no retorna a la misma cuenca de captación
- Agua retorna a la misma cuenca de captación pero en periodos climáticos diferentes.

B. Huella Hídrica gris HHG: Es un valor teórico que representa el volumen de agua necesario para diluir la concentración del contaminante hasta el punto en que se garantice la calidad ambiental del afluente receptor. Para este caso se calcula el indicador mediante la siguiente ecuación:

Indicador HHG: $\frac{(\text{carga contaminante})/(\text{producción})}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$

Dónde: la carga contaminante es $Q_{\text{efl}} \times C_{\text{efl}} - Q_{\text{ent}} \times C_{\text{ent}}$

- Q_{efl} : Caudal de vertimiento o de salida
- C_{efl} : Concentración contaminante en el efluente
- Q_{ent} : Caudal de entrada
- C_{ent} : Concentración del contaminante antes de ingresar al proceso
- C_{max} Concentración máxima del contaminante que no afecte la calidad del agua

- Cnat: Concentración natural del contaminante en la fuente hídrica

6.2.16. Estandarización de insumos en el proceso de producción

Tabla 33. Estandarización de insumos en el proceso de producción

Estándares para procesar material 1 Tonelada	
Insumo	Cantidad
Oro recuperado	6,8 gr
Agua	1,500 m3
Mercurio	5,452 gr
Cianuro	2,86 kg
Zinc	1,129 gr

Fuente: elaboración propia basados en el desarrollo del proyecto

SUGERENCIAS

A. Manejo de Colas contaminadas:

Según (UPME U. , 2007) Las colas contaminadas se pueden limpiar para recuperar el mercurio pero los Métodos existentes para ello son de eficiencia limitada, complicados o costosos. Por ello, en la mayoría de los casos, lo más aplicable y recomendable para la Minería a pequeña escala, es la acumulación en depósitos apropiados. Los requerimientos para estos son:

- Evitar el contacto con aguas subterráneas, construyendo una base y paredes impermeables utilizando materiales como arcilla, bentonita, caolinita, etc. Si está disponible, es recomendable utilizar un material con alto contenido de hidróxido ferroso (limonita presente en suelos lateríticos) debido a su alta capacidad de absorción de mercurio o utilizar plástico grueso (p.ej. HDPE Polietileno de Alta Densidad), que se consigue fácilmente cuando existen minas grandes en los alrededores. Mayor seguridad se obtiene cuando se combinan ambos materiales.
- Protección contra el arrastre de aguas de lluvia

- Protección contra arrastres del viento.

Otra medida de protección puede ser la cobertura de las colas contaminadas con una capa de varios centímetros de piritas no-contaminadas debajo de una capa de materiales impermeables (arcillas, etc.) El ambiente anaeróbico promueve estabilización del mercurio en forma de cinabrio (HgS) poco soluble y poco tóxico

B. Tanque de sedimentación.

El agua procedente de riachuelos y grandes manantiales contiene normalmente partículas en suspensión. Ya que la turbulencia de los caudales puede remover arcilla, limo, arena e incluso pequeñas piezas de grava. Tales partículas transportadas en el flujo pueden dar al agua una apariencia sucia y un sabor no apetecible y también contribuyen sustancialmente a la erosión del tubo PAD. Pero, si se deja reposar el agua tranquilamente en un tanque durante algún tiempo, muchas de estas partículas en suspensión pueden hundirse y asentarse en el fondo del tanque. Este proceso se llama sedimentación y se realiza en tanques de sedimentación, especialmente diseñados para este fin.

Cuando el agua cargada de sedimento se deja reposar tranquilamente sin ninguna turbulencia, las partículas en suspensión tenderán a hundirse bajo la influencia de la gravedad. Las velocidades comunes de asentamiento para las diversas partículas se dan a continuación:

Se recomienda leer el _Anexo 2. Tanques de sedimentación

C. Laboratorio de análisis

Según (ALS GLOBAL, 2015)La selección del método más apropiado para determinar el contenido de oro en una muestra depende de la naturaleza de la matriz de la muestra, la granulometría de la muestra y la distribución del oro y el uso final de los datos del ensayo. El objetivo de los ensayos y del análisis que se llevan a cabo de manera rutinaria en las plantas de oro por los laboratorios en terreno minero es proporcionar información para optimizar el proceso de minería:

- Reservas de mineral
- Alimentación de la planta
- Rendimiento de la planta
- Pérdida de relaves
- Pureza de producto
- Sanidad, Seguridad y Medioambiente (HSE).

El ensayo de fuego o la digestión ácida seguido de la determinación por medio de la espectroscopia, se usa para determinar el contenido de oro de sólidos para ayudar a

definir las reservas de minerales, alimentación de la planta, rendimiento de la planta y pérdida de relaves.

El conocimiento cuantitativo del mineral y su refractariedad, es decir la compañía del oro de Sulfuros, Óxidos de metales bases entre otras, permite modificar el flujo de la operación y estandarizar el proceso, puesto que se tendría una visión más específica de como extraer el oro y la cantidad optima de recursos a utilizar.

D. Otras sugerencias.

Según (UPME, 2006) la siguiente tabla es el esquema de la estrategia global de producción más limpia (PML), se recomienda hacer uso de estas sugerencias de solución.

Tabla 34. Esquematización de estrategia global producción más limpia

PROBLEMA MINERIA ARTESANAL	APLICACIÓN PML
Ausencia o uso limitado de mecanización y Gran demanda de trabajo físico.	Reorganización de las actividades y procesos para lograr mejores resultados en menor tiempo
Tecnología ineficiente/limitaciones técnicas	
Manejo y gestión administrativa ineficiente	
Falta de conocimiento, educación y capacitación (técnico y ambiental)	
Bajo nivel de seguridad industrial y salud ocupacional	Identificación, control y prevención de riesgos
	Mejoramiento del manejo de sustancias y materiales tóxicos
Ineficiencia en la explotación y procesamiento del mineral (bajo porcentaje de recuperación)	Introducción de mejores metodologías para extraer y procesar el mineral
Falta de acceso a la tecnología	
Falta de información sobre mejores prácticas	
Bajo nivel de productividad	Tecnologías más limpias y eficientes

Poca o nula consideración de aspectos ambientales	Aplicación de buenas prácticas para reducir los impactos en la fuente (residuos, Contaminación de suelos y aguas, etc).
Falta crónica de capital de trabajo e inversión. limitaciones económicas	Reducción de costos y maximización del beneficio por mejor uso de los recursos disponibles (usualmente requiere capacitación)
Poca calificación del personal en todas las etapas de la operación y bajos ingresos	

Fuente: (UPME, 2006)

CONCLUSIONES

Una vez concluido el desarrollo de nuestro proyecto y haciendo uso de las diferentes herramientas de ingeniería en los procesos de producción en los 5 entables entrevistados en Segovia y una vez determinado un entable promedio que incluya los procesos principales y necesario para la producción de oro, con el apoyo del software Promodel, se puede diagnosticar que en el entable promedio:

En la etapa 1 propuesta, que contiene los procesos de Almacenamiento de materia prima, Clasificación, Trituración, Molienda 1, Molienda 2, Almacenamiento de materia prima molida y Almacenamiento de materia prima empacada; la optimización de las locaciones alcanzo niveles que superan el 86%, logrando la reducción en la mano de obra utilizada, al pasar de 6 operarios a 3; lo anterior debido a:

- ✓ Se evitaron esfuerzos innecesarios en el transporte de la materia prima a los diferentes procesos de trituración y molienda con el personal de la planta.
- ✓ Se aprovechó la gravedad para alimentar la trituradora y la molienda, que reciben el material directamente de la zaranda (Clasificación).
- ✓ Se redujo el desplazamiento del personal al llevar a cabo una adecuada distribución de la planta.
- ✓ Se hizo un balanceo de líneas que permitió la optimización de los recursos y la eliminación de los cuellos de botella en el proceso de producción.

Para la etapa 2 del proceso, mediante la observación y la investigación; se logra la estandarización de los insumos necesarios para el procesamiento de un tonelada de material con un tenor de 6.8 gramos de oro.

Estrategias como estas, permiten determinar, mediante un simulación el estado actual de operación de un entable, contribuye parcialmente a incrementar los ingresos económicos en el sector minero, dado que arroja resultados de fácil interpretación y un punto de partida para tomar decisiones de mejora sencillas que permitan optimizar los recursos del entable y disminuir el impacto ambiental que genera la actividad.

Desde el punto de vista industrial estas tácticas pueden organizar en parte el sector minero, pueden coadyuvar a realizar una estandarización de los procesos, a tener un conocimiento más amplio en términos de seguridad industrial, de tiempos, capacidad de maquinarias, de uso de recursos hídricos, energéticos y mantener un registro que nos lleve acceder a información para tomar decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Segovia. (2014). *Alcaldía de Segovia*. Recuperado el 20 de Agosto de 2014, de <http://www.segovia-antioquia.gov.co/index.shtml>
- ALFONSO VALENZUELA, J. C. (2009). *MODELO DE SIMULACIÓN DE SERVICIO DE LA ESTACIÓN DE LA CALLE*. Recuperado el 26 de Marzo de 2015, de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15377/T40.09%20A28 m.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15377/T40.09%20A28%20m.pdf?sequence=1)
- ALS GLOBAL. (2015). Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de <http://www.alsglobal.com/en/Our-Services/Minerals/Mine-Site>
- BanRep. (12 de Mayo de 2015). *Banco de la Republica* . Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de http://www.banrep.gov.co/es/series-estadisticas/see_met_prec_dia.htm
- Bernardez M. (2007). *Concepto y herramientas para la mejora, creacion e incubacion de nuevas organizaciones "Desempeño organizacional"*. Itson Global Business Press.
- Blanco Rivero, L., & Fajardo Piedrahita, I. (2001). *Simulación con Promodel: Casos de Producción y Logística*. Colombia: Jireh Impresiones.
- Carro Paz, R., & Gonzales Gomez, D. (2015). *Capacidad y distribucion fisica*. Chile: Universidad Nacional de Mar de Plata.
- CINEP. (2012). *INFORME ESPECIAL MINERÍA-CONFLICTOS SOCIALES Y VIOLACIÓN DE DERECHOS HUMANOS EN COLOMBIA*.
- CPGMAE. (s.f.). *PROYECTO GLOBAL DE MERCURIO GPM-2*. MEDELLIN: GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA.
- Eilon S. (1980). *La Producción, Planificación, organización y Control* (2a ed ed.).
- El Tiempo. (17 de 09 de 2014). *PRODUCCIÓN DE ORO EN COLOMBIA*. Obtenido de [//www.eltiempo.com/Multimedia/infografia/produccionoro/](http://www.eltiempo.com/Multimedia/infografia/produccionoro/)
- FONADE. (2015). *Segovia*. Bogota : FONADE.

- Gonzales , J., Montoya , L., Botero, B., Arevalo, D., & Valencia, V. (2013). Aproximacion de la estimacion de la Huella hidrica de la mineria del oro en el municipio de Segovia (Antioquia). *Sostenibilidad, tecnologia y humanismo*.
- Griollo, R. G. (1998). En R. G. Griollo, *Estudio del trabajo* (págs. 43, 113,143). Mc Graw Hill.
- HAY, E. (2002). *Justo a tiempo. La tecnica japonesa que genera mayor ventaja competitiva*.
- HENAO, C., & VÉLEZ, J. (2002). *Manual del laboratorio diseño de procesos químicos - Uso del paquete de simulación HYSYS Process*. UPB-M.
- Hincapie, U. M. (2006). *INFORME FINAL CONTRATO 206-CC-35-030 DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE*. Medellin.
- J, D., Dominguez M, & Garcia S. (1995). *Direccion de operaciones "Aspectos tacticos y operativos en la produccion"*.
- LAS2ORILLAS. (17 de 09 de 2014). *Las 5 empresas dueñas del oro en Colombia*. Obtenido de [//www.las2orillas.co/estas-son-las-5-empresas-duenas-del-oro-se-extrae-en-colombia/](http://www.las2orillas.co/estas-son-las-5-empresas-duenas-del-oro-se-extrae-en-colombia/)
- MADS, M. (2012). *Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala*. Bogota.
- MINISTERIO DE MINAS. (2012). *Censo minero departamental colombiano*.
- ONUDI. (2015). *Introduccion a la produccion mas limpia*.
- Osorio , J., Serna, C., & Ospina , J. (2015). *CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE SULFUROS POLIMETÁLICOS PROVENIENTES DEL NORDESTE ANTIOQUEÑO Y SU INFLUENCIA EN PROCESOS DE ELECTRO-OBTENCIÓN DE ORO CON TIOSULFATO*. Medellin: XV Congreso colombiano de geología .
- PROMODEL. (17 de 09 de 2014). *Promodel*. Obtenido de [//www.promodel.com.mx/promodel.php](http://www.promodel.com.mx/promodel.php)
- REMEDIOS, A. D. (23 de Abril de 2008). *ALCALDIA DEL MUNICIPIO DE REMEDIOS ANTIOQUIA*. Recuperado el 15 de Agosto de 2014, de http://www.remediosantioquia.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1744512
- SIMIO. (17 de 09 de 2014). *SIMIO*. Obtenido de [//www.simio-simulacion.es/](http://www.simio-simulacion.es/)
- UPME. (2006). *Formulación de una iniciativa de producción más limpia para el sector de los metales preciosos en colombia*. Mayo: GeoMinas.
- UPME, U. (2007). *PRODUCCION MAS LIMPIA EN LA MINERIA DEL ORO EN COLOMBIA*. Bogota: Subdireccion de planeacion minera.
- WORLD COAL, A. (2011). *Gold Reuters Colombian*.

ANEXOS