



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



SIMULACIÓN DE UN CIRCUITO DE CHANCADO USANDO IDEAS™

POR

René Augusto Felipe Guevara Bain

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero(a) Civil Electrónico(a)

Profesor(es) Guía
Dr. Daniel Gerónimo Sbarbaro Hofer

Septiembre 2022
Concepción (Chile)

©2022 René Augusto Felipe Guevara Bain

©2022 René Augusto Felipe Guevara Bain

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

In loving memory of my parents.

Agradecimientos

A Marcia Bain, mi madre y a Juan José Guevara, mi padre, por darme la vida, la crianza, los valores y las oportunidades necesarias para llegar hasta este momento.

A Karina, a Tío Ricardo, a Panchito, a Lore, y a Emi, a Jean Pierre Sáez, a Eduardo Rivas y a Dianela Gómez. A Tía Mirta, a Tío Gustavo, a Tía Mirza, a Tía Cati, a Tío Pedro, a Laura, a Darío, a Eduardo E., a Viviana Sáez, Mauricio Sáez, Ivonne Sáez y a Gonzalo Sabath,

Al Profesor Daniel Sbárbaro H., a Inés Lillo, al Jefe de Carrera Mario Medina, a Don Pato, y a la comisión conformada por el Profesor José Espinoza y el Profesor Alejandro Rojas.

A todo ellos agradezco por su tremendo apoyo y paciencia en este proceso.

Sumario

En este trabajo se realizó una simulación de un circuito de chancado de Minas “El Romeral”, esta mina está ubicada al norte de la ciudad de La Serena, Región de Coquimbo. Sus coordenadas geográficas son: 29°43’ S y 71°14’ W. La altura media sobre el nivel del mar es de 270m. En la mina se producen los siguientes productos: Pellet Feed, Granzas y Finos.

La planta de chancado consta de tres etapas de chancado: Chancado Primario, Chancado Secundario y Chancado Terciario. En el Chancado Primario se utiliza un chancador de mandíbulas de 250[HP], en el Chancado Secundario se utiliza un chancador de cono estándar de 300[HP] y en el Chancado Terciario se utilizan dos chancadores de cono cabeza corta de 300[HP].

La simulación se realizó sobre el programa IDEAS™ de Andritz. El programa consta de una gran variedad de librerías las cuales contienen los objetos a utilizar. Los objetos, en el caso de las librerías relacionadas a minería, corresponden a (simulan) dispositivos reales tales como: chancadores, correas transportadoras, stock pile, alimentadores, poleas electromagnéticas, etc. Estos objetos son puestos en una hoja de trabajo (Worksheet) y se unen de manera tal que forman una planta; en el caso de esta simulación, una planta de chancado de hierro.

La ventaja de este simulador sobre otros es su simpleza, ya que basta con conectar objetos (y configurarlos) para formar la planta que se desee simular en cambio la desventaja es su limitación con respecto a la cantidad de librerías dadas, ya que estas están limitadas a las áreas de pulpa kraft, arenas petrolíferas, procesamiento de minerales, industrias de energía y agua.

Luego de haber simulado la planta, se le efectuaron algunas optimizaciones, tales como: control On/Off sobre la tolva de repaso y control PID sobre las tres etapas de chancado. Esta optimización resultó en un mayor flujo de mineral de baja granulometría hacia la siguiente etapa, con el consiguiente consumo extra de energía.

Se concluye entonces que es posible realizar la simulación de este circuito de chancado en el

simulador IDEAS™. Incluso es posible optimizar el circuito al incluir exitosamente distintas estrategias de control.

Summary

In this document, a simulation of a crushing circuit of “El Romeral” mines was carried out, this mine is located north of the city of La Serena, Coquimbo Region. Its geographical coordinates are 29°43' S and 71°14' W. The average height above sea level is 270m. The following products are produced at the mine: Pellet Feed, Granzas and Fines.

The crushing plant consists of three crushing stages: Primary Crushing, Secondary Crushing and Tertiary Crushing. A 250hp jaw crusher is used in Primary Crushing, a 300[HP] standard cone crusher is used in Secondary Crushing, and two 300[HP] short-head cone crushers are used in Tertiary Crusher.

The simulation was carried out using Andritz's IDEAS™ program. The program consists of a great variety of libraries which contain the objects to be used. The objects, in the case of mining-related libraries, correspond to (simulate) real devices such as: crushers, conveyor belts, stockpiles, feeders, electromagnetic pulleys, etc. These objects are placed in a worksheet (Worksheet) and are joined in such a way that they form a plant; in the case of this simulation, an iron crushing plant.

The advantage of this simulator over others is its simplicity, since it is enough to connect objects (and configure them) to form the plant that you want to simulate, while the disadvantage is its limitation with respect to the number of given libraries, since these are limited to the areas of kraft pulp, oil sands, mineral processing, power and water industries.

After having simulated the plant, some optimizations were carried out, such as: On/Off control on the transfer hopper and PID control on the three crushing stages. This optimization resulted in a greater flow of low granulometry ore to the next stage, with the consequent extra energy expenditure.

It is then concluded that it is possible to simulate this crushing circuit in the IDEAS™ simulator. It is even possible to optimize the circuit by successfully including different control strategies.

Tabla de contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. TRABAJOS PREVIOS	1
1.1.1 Minería	1
1.1.2 Circuito de Chancado, Mina “El Romeral”	2
1.1.3 Simulador IDEAS™.....	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES	3
1.4. TEMARIO Y METODOLOGÍA	4
CAPÍTULO 2. PLANTA DE CHANCADO DE MINA “EL ROMERAL”	5
2.1. MINA “EL ROMERAL”	5
2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	6
2.2.1 Operaciones.....	6
2.2.2 Productos.....	7
2.3. PLANTA DE CHANCADO	9
2.3.1 Descripción del Proceso.....	9
2.3.2 Equipos Principales.....	12
2.3.3 Diagrama Planta	15
CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN EN IDEAS™	17
3.1. INTRODUCCIÓN	17
3.2. LIBRERÍAS Y OBJETOS.....	19
3.2.1 Librería Analog Controls 600.LIX.....	19
3.2.2 Librería Executives 600.LIX.....	22
3.2.3 Librería Macro Primitives 600.LIX.....	24
3.2.4 Librería Material Properties 600.LIX	27
3.2.5 Librería Material Transport-G 600.LIX.....	31
3.2.6 Librería Mineral Processing-B 600.LIX.....	32
3.2.7 Librería Plotters 600.LIX	33
3.2.8 Librería Separation-G 600.LIX	35
3.2.9 Librería Size Reduction-S 600.LIX.....	38
3.2.10 Librería Tanks Dynamic 600.LIX.....	39
3.2.11 Librería Tools 600.LIX.....	41
3.2.12 Librería Transmitters 600.LIX.....	43
3.3. WORKSHEET	46
3.4. CONDICIONES INICIALES COMUNES EN LAS SIMULACIONES	49
3.4.1 Distribución de mineral.....	49
3.4.2 Flujo de entrada	49
3.4.3 Granulometría de entrada	51
3.5. SIMULACIÓN ESCENARIO 1.1	53
3.6. SIMULACIÓN ESCENARIO 1.2	54
3.7. SIMULACIÓN ESCENARIO 2	55
3.7.1 Control On/Off.....	56
3.7.2 Control PID de P80.....	58
3.7.3 Worksheet Escenario 2 – Control On/Off + Control PID	70
3.8. RESULTADOS	71
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES	74
4.1. SUMARIO	74
4.2. CONCLUSIONES.....	74
4.3. TRABAJO FUTURO.....	75

GLOSARIO 76

REFERENCIAS	77
ANEXO A. CIRCUITO DE REDUCCIÓN DE TAMAÑOS CERRADO – INVERSO	1
A.1. INTRODUCCIÓN	1
A.2. INICIALIZAR APLICACIÓN Y AGREGAR OBJETOS	2
4.4. CONSTRUIR PLANTA EN WORKSHEET Y CONFIGURAR OBJETOS	5
4.5. CORRER SIMULACIÓN	17
ANEXO B. CÓDIGO MATLAB	1
B.1. CARGA DE DATOS DESDE EXCEL	1
B.2. GRÁFICOS	4

Lista de Tablas

Tabla 2.1:	Chancadores.....	12
Tabla 2.2:	Harneros vibratorios	13
Tabla 2.3:	Alimentadores vibratorios	13
Tabla 2.4:	Correas transportadoras	14
Tabla 3.1:	Descripción de conectores de objeto “Controller On/Off”	19
Tabla 3.2:	Descripción conectores objeto “Controller PID”	21
Tabla 3.3:	Descripción de los conectores objeto “Discrete/Continuous Executive”	22
Tabla 3.4:	Descripción conectores objeto “Solver Fluid Flow”	24
Tabla 3.5:	Descripción de conectores de objeto “Mixer”	25
Tabla 3.6:	Descripción conectores objeto “Separator”	26
Tabla 3.7:	Descripción de conectores objeto “Splitter”	27
Tabla 3.8:	Distribución de material	28
Tabla 3.9:	Granulometría A	28
Tabla 3.10:	Granulometría B	29
Tabla 3.11:	Descripción de conectores de objeto “Sink”	30
Tabla 3.12:	Descripción objeto “Stream Source”	31
Tabla 3.13:	Descripción conectores objeto “Feeders”	32
Tabla 3.14:	Descripción conectores objeto “Plotter, I/O Scan”	33
Tabla 3.15:	Descripción conectores objeto “Screen Primitive”	36
Tabla 3.16:	Descripción de conectores de objeto “Crusher”	38
Tabla 3.17:	Descripción conectores objeto “Tank-Incompressibles	40
Tabla 3.18:	Descripción de conectores de objetos operadores aritméticos	42
Tabla 3.19:	Descripción conectores objeto “Constant_c”	42
Tabla 3.20:	Descripción conectores objeto “Input function”	43
Tabla 3.21:	Descripción de conectores del objeto “Transmitter-Flow”	44
Tabla 3.22:	Descripción de conectores del objeto “Transmitter PSD”	44
Tabla 3.23:	Descripción de conectores de objeto “Transmitter-Component Flow”	45
Tabla 3.24:	Escenarios a simular	48
Tabla 3.25:	Distribución de mineral d entrada	49
Tabla 3.26:	Granulometría de entrada	51
Tabla 3.27:	Etapas comunes a los 4 escenarios	53
Tabla 3.28:	Close Side Setting Escenario 1.1	53
Tabla 3.29:	Close Side Setting Escenario 1.2	54
Tabla 3.30:	Parámetros PID’s	63
Tabla 3.31:	Setpoints E2	63
Tabla 3.32:	Etapas de Simulación	72
Tabla 3.33:	Potencias utilizadas por los 3 procesos de chancado durante cada etapa de cada escenario	72
Tabla 3.34:	Flujos de salida en cada escenario durante cada etapa.	72
Tabla 3.35:	Comparación Energía utilizada y flujo de salida; Escenario 1.1 vs Escenario 2.....	73
Tabla A.1:	Granulometría de entrada	7
Tabla A.2:	Características chancador	9

Lista de Figuras

Figura 2.1:	Pellet Feed	8
Figura 2.2:	Granzas	8
Figura 2.3:	Finos	8
Figura 2.4:	Mina “El Romeral”	10
Figura 2.5:	Mina “El Romeral”	11
Figura 2.6:	Mina “El Romeral” – Imagen satelital	11
Figura 2.7	Diagrama Planta de Chancado.....	15
Figura 2.8	Cancha de Almacenamiento Intermedio.....	16
Figura 3.1:	Pantalla de carga simulador IDEAS™	17
Figura 3.2:	Pantalla inicial IDEAS™	18
Figura 3.3:	Diagrama a Simular	18
Figura 3.4:	Objeto “Controller On/Off”	19
Figura 3.5:	Objeto “Discreto/Continuo”	22
Figura 3.6:	Objeto “Display Errors”	22
Figura 3.7:	Objeto Global Units	23
Figura 3.8:	Objeto “Solver Fluid Flow”	23
Figura 3.9:	Objeto “Mixer”	24
Figura 3.10:	Objeto “Separator”	25
Figura 3.11:	Objeto “Splitter”	26
Figura 3.12:	Objeto “Material Properties”	27
Figura 3.13:	Objeto “Sink”	30
Figura 3.14:	Objeto Stream Source	30
Figura 3.15:	Objeto “Conveyor”	31
Figura 3.16:	Objeto “Feeders” 3 vistas	32
Figura 3.17:	Objeto “Plotter, I/O Scan”	33
Figura 3.18:	Ejemplo de gráfico en objeto “Plotter, I/O Scan”	34
Figura 3.19:	Ventana “Export Plots”	35
Figura 3.20:	Objeto “Screen Primitive”	35
Figura 3.21:	Pestaña “Separation” dentro de objeto “Screen Primitive” que simula a harnero RA-26A	37
Figura 3.22:	Objeto “Crusher”	38
Figura 3.23:	Usos conector S	39
Figura 3.24:	Objeto “Tank-Incompressible”	39
Figura 3.25:	Íconos de objetos operadores aritméticos: “Add_c”, “Substract_c”, “Multiply_c” y “Divide_c”	41
Figura 3.26:	Ícono de objeto “Constant_c”	42
Figura 3.27:	Objeto input function	42
Figura 3.28:	Objeto “Switch”	43
Figura 3.29:	Objeto Transmitter-Flow	43
Figura 3.30:	Transmisor de Granulometría	44
Figura 3.31:	Objeto “Transmitter-Component Flow”	45
Figura 3.32:	Worksheet Planta Circuito de Chancado Mina el Romeral	46
Figura 3.33:	Abertura de alimentación y Close Side Setting	47
Figura 3.34:	Abertura de Alimentación y Open Side Setting	48
Figura 3.35:	Flujo de entrada de material a la planta de chancado	50

Figura 3.36:	Granulometría de entrada	52
Figura 3.37:	Respuesta a entrada escalón	54
Figura 3.38:	Respuesta a entrada escalón	55
Figura 3.39:	Tolva de repaso y alimentadores	56
Figura 3.40:	Objeto de control On/Off.....	57
Figura 3.41:	Señal de control enviada a la entrada para ejecutar el control sobre el flujo de entrada. 57	
Figura 3.42:	a) Respuesta con PID sintonizado y b) Estructura planta identificada; Chancador Primario	58
Figura 3.43:	Características PID sintonizado; Chancador Primario	59
Figura 3.44:	A) Respuesta con PID sintonizado y B) Estructura planta identificada; Chancador Secundario	59
Figura 3.45:	Características PID sintonizado; Chancador Secundario	60
Figura 3.46:	A) Respuesta con PID sintonizado y B) Estructura planta identificada; Chancador Terciario	61
Figura 3.47:	Características PID sintonizado; Chancador Terciario.....	61
Figura 3.48:	Respuesta a entrada escalón	64
Figura 3.49:	a) Flujo en Chancador Primario RA-3, b) Granulometría de entrada (F80) c) Setpoint y Granulometría de salida (P80) d) Close side setting Chancador Primario.....	65
Figura 3.50:	a) Flujo en Chancador Secundario RA-11, b) Granulometría de entrada (F80), c) Setpoint y Granulometría de salida (P80), d) Close side setting Chancador Primario.	66
Figura 3.51:	a) Flujo en Chancador Terciario RA-12A, b) Granulometría de entrada (F80) c) Setpoint y Granulometría de salida (P80), d) Close side setting Chancador Terciario.....	67
Figura 3.52:	a) Flujo en Chancador Terciario RA-12B, b) Granulometría de entrada (F80) c) Setpoint y Granulometría de salida (P80), d) Close side setting Chancador Terciario.....	68
Figura 3.53:	Worksheet Planta Controlada – Control On/Off – Control PID.....	70
Figura 3.54:	a) Flujos, b) Granulometrías, c) Potencia consumida.....	71
Figura A.1:	Diagrama Circuito de reducción de tamaños cerrado - Inverso	1
Figura A.2:	Pantalla inicio IDEAS™.....	2
Figura A.3:	Worksheet	3
Figura A.4:	Worksheet	4
Figura A.5:	Worksheet	5
Figura A.6:	Pestaña Displays de objeto “Solver Fluid Flow”.....	5
Figura A.7:	Pestaña “Primary selection” de objeto Global Unit Selector	6
Figura A.8:	Pestaña Components	7
Figura A.9:	“Define Bin Information” en Pestaña “Set PSD”	8
Figura A.10:	Pestaña “State Variables” de objeto “Stream Source”	8
Figura A.11:	Pestaña “Displays” dentro del objeto “Crusher”.....	9
Figura A.12:	Pestaña “inputs” en objeto “Crusher”	10
Figura A.13:	Pestaña “Classification” en objeto “Crusher”	11
Figura A.14:	Pestaña “inputs” en objeto “Crusher”	11
Figura A.15:	Pestaña Displays de objeto “Screen Primitive”.....	12
Figura A.16:	Pestaña “Separation” en objeto “Screen Primitive”	13
Figura A.17:	Worksheet Planta.....	13
Figura A.18:	Objeto “Scan Class Plotter I/O”	14
Figura A.19:	Pestaña “Displays” objeto “Transmitter-Flow”	14
Figura A.20:	Pestaña “Inputs” objeto “Transmitter-Flow”	15

Figura A.21:	Pestaña “inputs” de objeto “Transmitter-PSD”	15
Figura A.22:	Pestaña Displays de objeto “Transmitter-PSD”	16
Figura A.23:	Objeto Switch	16
Figura A.24:	Escalar reader en worksheet	17
Figura A.25:	Pestaña displays “Scalar Reader”	17
Figura A.26:	Pestaña setup objeto “Simulation Septup”	18
Figura A.27:	Menú.....	18
Figura A.28:	Gráfico de flujos (de: entrada, sobre-tamaño, salida chancador y salida).....	19
Figura A.29:	Gráfico de granulometrías (de: entrada, sobre-tamaño, salida chancador y salida).....	19

Capítulo 1. Introducción

En nuestro país, la industria minera es una de las más importantes, esta aportó el 14.6% del PIB del país en 2021[13], (en especial la minería del cobre, la cual aportó un 13,3% del PIB en 2021). En este trabajo, nos concentramos en la minería del hierro, la cual tuvo exportaciones por 2.360 millones de USD en 2021, en particular la minera El Romeral, perteneciente a CMP (Compañía Minera del Pacífico) más conocida como CAP (Compañía de acero del Pacífico) la cual está ubicada en la cuarta región de Coquimbo, al norte de la ciudad de La Serena. Este trabajo se enfocará en la simulación de su circuito de chancado. Para esto se utilizará el software IDEAS™, de ANDRITZ Automation.

1.1. Trabajos Previos

En la realización de este proyecto se revisó bibliografía relacionada con el área de la minería y con la simulación de sus procesos. En particular todo lo relacionado con el circuito de chancado de la Minera el Romeral y con el software IDEAS™, de Andritz.

1.1.1 Minería

- ♣ (2022) Compañía Minera del Pacífico, dirección <https://www.cmp.cl>.

Página web oficial de CMP en la cual se puede encontrar información sobre la mina El Romeral y sus distintos productos.

- ♣ EducarChile, “*Conceptos básicos de preparación mecánica de minerales*”, Ministerio de Educación, Gobierno de Chile, Santiago, Chile, 2013 [Online] Disponible: http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_odas_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf

Corresponde a un informe realizado por EducarChile por parte del Ministerio de Educación del Gobierno de Chile, que entrega información sobre la reducción de tamaño de partículas de minerales, considerando la diferenciación que existe entre el mineral de interés y la ganga presente en una mena minera. Explica conceptos básicos sobre la fuerza mecánica que se le aplica a la roca minera para lograr la desintegración de esta. Además, entrega información preliminar sobre el proceso de chancado, considerando los distintos tipos de chancadoras presentes en la industria minera, y la diferenciación estructural existente entre chancadores primarios y secundarios, logrando así la optimización del tamaño del mineral. Particularmente, explica la importancia que debe existir al

momento de controlar el sobre-tamaño del chancado sobre el mineral, considerando que, de no existir un tamaño adecuado de chancado, se produce un exceso de sobre-tamaño o de ser ejercida mucha fuerza a la roca, esta presenta un estado de bajo-tamaño que produce una cantidad de finos que no logran contener la composición química para ser separado en etapas posteriores al proceso.

1.1.2 *Circuito de Chancado, Mina “El Romeral”*

- ♣ Raúl Pino Villalobos, “Desarrollo de software para el estudio y optimización de la planta de chancado de la mina El Romeral”, Memoria de Título, Ing. Civil Electrónica, Depto. De Ing Eléctrica, Universidad de Concepción, Chile, Sept. 1987.

En este trabajo se nos presentan las características de la minera El Romeral, más específicamente, las características y funcionamiento de la planta de Chancado. Desde que llega el camión con el mineral y lo deposita en el alimentador hasta que termina el proceso de chancado. Esta es la base del trabajo, ya que este es el circuito que se debe simular.

1.1.3 *Simulador IDEAS™*

- ♣ *IDEAS Gold Mineral Processing Tutorial*, ANDRITZ Automation, Decatur, Georgia, USA, Enero 2013.

Este es el tutorial, en inglés, de la versión Gold de IDEAS™, en este texto se nos enseña a crear un diagrama de un estanque, con bomba, y válvula de salida, controlando su nivel mediante un PID cuyo out maneja la válvula de salida del estanque. El objetivo de este texto es familiarizarnos con los modelos dinámicos en IDEAS™, y con características básicas, como abrir librerías, colocar objetos en el diagrama, realizar un gráfico, sintonizar un controlador PID, etc.

- ♣ *IDEAS Bronze Mineral Processing Tutorial*, ANDRITZ Automation, Decatur, Georgia, USA, Enero 2013.

Similar al Tutorial de la versión Gold. La versión Bronze también nos muestra características básicas de IDEAS™ incluyendo las mostradas anteriormente, con la salvedad de que el modelo a simular es más complejo, esto debido a que tiene más objetos. También se nos muestra cómo realizar un balance másico y como revisar si nuestro modelo converge o no. Se presenta el objeto PSD Data con el cual es posible definir la distribución del tamaño de las partículas. Este tutorial está enfocado

en las características de estado estacionario del software.

- ♣ *IDEAS User Manual*, ANDRITZ Automation, Decatur, Georgia, USA, Sept 6 2013.

Este es el manual de usuario, en inglés, del software a utilizar, en este se puede encontrar descripciones más detalladas de las librerías, objetos y distintas funcionalidades del software, incluidas las utilizadas en los tutoriales descritos anteriormente.

- ♣ Jonathan Nicolás López Sáez, “Simulación de Etapas de Chancado y Molienda de Planta Concentradora de Cobre con Software IDEAS™ Andritz Automation”, Memoria de Título, Ing. Civil Electrónica, Depto. De Ing Eléctrica, Univ de Concepción, Chile, Marzo 2018.

En este trabajo se utiliza el Software IDEAS™ Andritz Automation para la simulación de algunas etapas de una planta concentradora de Cobre. Se explica detalladamente el uso del software en la construcción de la simulación. De aquí se toma el conocimiento para utilizar el software en la simulación del circuito de chancado de la minera El Romeral.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Es posible simular el circuito de chancado de la minera “El Romeral” usando IDEAS™ de Andritz Automation.

1.3. Alcances y Limitaciones

El trabajo aporta una simulación de una planta de chancado lo cual es útil en términos de configuración de la planta y en términos económicos, ya que al cambiar la configuración de la misma es posible obtener mejores granulometrías y flujos de salida, haciéndole así el trabajo más simple a la etapa de molienda, este trabajo es realizado en el Laboratorio de Control, ya que ahí se encuentra el servidor de licencias de IDEAS™ Andritz Automation. Debido a la contingencia debida a la Pandemia de la COVID-19 este trabajo también fue realizado de forma remota conectándose al servidor de licencias a través del software AnyDesk. En la simulación se consideran las siguientes simplificaciones:

- Debido a la falta del objeto Tolva, esta se reemplaza con el objeto Tank.
- Debido a la falta de un objeto para el Stock de Rechazo, este se simula con el objeto Tank.

- Debido a la falta de un objeto harnero con doble cubierta, este se simula con dos harneros simples.
- Debido a la falta del objeto polea magnética, esta se reemplaza con el objeto Separator.

1.4. Temario y Metodología

El Capítulo 2 aborda la planta de chancado, se describe su ubicación, diagrama, los equipos utilizados y su funcionamiento. El Capítulo 3 es una breve descripción del simulador y las bibliotecas y objetos utilizados en las simulaciones. También se presenta el esquemático de IDEAS de la planta de chancado. También muestra la simulación de la planta completa y sus optimizaciones. Finalmente el Capítulo 4 muestra el sumario, las conclusiones y el trabajo futuro.

Capítulo 2. Planta de chancado de Mina “El Romeral”

2.1. Mina “El Romeral”

Compañía Minera del Pacífico, empresa del grupo CAP, es el principal productor de minerales de hierro en la costa americana del Pacífico. Sus principales operaciones se encuentran en las regiones de Atacama y Coquimbo, donde posee una fuerte identidad regional, con un 98% de dotación local.

Desde sus yacimientos mineros y plantas, Compañía Minera del Pacífico elabora diferentes productos que son exportados y utilizados como materia prima para fabricar acero. El 99% del hierro que exporta Chile es producido por la compañía.

Los tres productos que representan el 96% de los despachos de la empresa son:

- El Pellet Feed, mineral de hierro comercializable de bajo tamaño con Ley entre 68% y 66% y dimensión de 44 micrones 75% min, es el principal producto de venta.
- El Pellet Autofundente, o *Pellet Básico*, tiene una Ley de 65% Fe y dimensiones de 9 a 16mm 85% Min.
- El Sinter Feed, o *Finos* tiene una Ley del 62% Fe y dimensiones de 5% máx. sobre 10mm. | 10 mm + 6,3mm 20% máx. | 150 micron 20% máx.

El hierro magnético o magnetita cuenta con ventajas con respecto a los minerales hematíticos, ya que contribuye a la sustentabilidad del proceso siderúrgico. Con este producto se requiere una menor cantidad de materias primas y energía en la producción de acero.

Minas “El Romeral” inició sus operaciones de extracción y procesamiento de minerales de hierro en 1956 bajo la propiedad de Bethlehem Chile Iron Mines Co., con una producción aproximada de un millón de toneladas por año de colpas, las cuales a partir de 1963, aumentarían a tres millones de toneladas de colpas y finos, siendo sus principales clientes: las acerías de Bethlehem Steel Co.(USA) y de Huachipato (hoy CAP Acero); las acerías japonesas NKK, Sumitomo, Kawasaki, Nippon Steel y Kobe Steel, desde 1960; Reiss Vicking de USA desde 1987, y las acerías chinas de Jinan Steel y Hangzhou Steel desde el año 2000.

En el año 1971 la faena fue adquirida por la Compañía de Acero del Pacífico (CAP), la cual implementó una etapa de expansión que permitió un aumento de la producción a cuatro millones de toneladas por año de Granzas y Finos.

La mina de El Romeral es una de las mayores explotaciones de hierro en Chile. Este mineral se ubica en la Región de Coquimbo, específicamente en la comuna de La Serena, a unos 20km al norte

de dicha ciudad. Este mineral forma parte de la *Franja ferrífera* que cruza longitudinalmente desde la Región de Antofagasta hasta la Región de Coquimbo. Minas “El Romeral” está ubicada en la región de Coquimbo, a 22 kilómetros al noreste de La Serena.

Los productos que se obtienen anualmente del procesamiento de los minerales son: 1 millón 700mil toneladas métricas ([TM]) de Pellet Feed, 400mil [TM] de Granzas (Producto de Ley: 61% Fe y dimensiones: 10 a 30 [mm]) y 300mil [TM] de Finos.

2.2. Descripción General

2.2.1 Operaciones

Las operaciones de Minas El Romeral se pueden agrupar en las siguientes actividades: alimentación del mineral desde acopios y cerro principal a Planta de Chancado, beneficio del mineral y manejo de productos.

A) La alimentación del mineral comprende las operaciones realizadas en la mina: carguío, transporte y desarrollo.

Carguío

La operación de carguío se realiza con dos cargadores frontales y una retroexcavadora.

Estos equipos están ubicados en distintos sectores de los acopios y/o cerro principal, según sean los requerimientos del plan minero.

Transporte de Mineral y Estéril

El material es transportado a la Planta de Beneficio y botaderos de estéril, según corresponda, por una flota de seis camiones.

Desarrollo

El equipo de desarrollo utilizado en las operaciones mineras está compuesto por dos tractores de oruga, dos tractores de ruedas, dos motoniveladoras y un camión regador con aljibe de 40 [m^3].

Estos equipos se usan en la construcción y mantención de caminos, construcción y mantención de botaderos y como apoyo necesario en los frentes de trabajo de los equipos de carguío.

B) El beneficio de los minerales comprende las operaciones requeridas para obtener los productos finales.

Planta de Beneficio

La planta de beneficio está compuesta por tres unidades: *Planta de Chancado*, Planta Concentradora y Planta de Molienda y Concentración.

El mineral proveniente de la mina es enviado a la Planta de Chancado, donde es reducido de tamaño a un 100% bajo 38[mm] y posteriormente almacenado en un stock intermedio.

La planta de Chancado consta de tres etapas: chancado primario, chancado secundario y chancado terciario.

El material proveniente del stock intermedio alimenta la Planta Concentradora, en ella se utilizan operaciones de conminución, harneo, concentración magnética en seco y concentración magnética húmeda, obteniendo Granzas, Finos y preconcentrados como productos.

En tanto, los preconcentrados requieren un proceso posterior en la Planta de Molienda y Concentración para obtener Pellet Feed y finos magnéticos.

2.2.2 Productos

Los productos finales, producidos por CAP Minería Minas *El Romeral*, son:

Pellet Feed



El Pellet Feed, Figura 2.1, es un mineral de hierro comercializable de bajo tamaño, que debe ser aglomerado en forma de pellets para utilizarlo como insumo en los altos hornos. Se utiliza regularmente para carga al proceso de aglomeración y producción de pellets.

Ley: 66%, 67%, 68% Fe.

Dimensiones: Menor a 44 micrones (1.000 micrones = 1milímetro) 75% Min.

Granzas



Figura 2.2: Granzas

La Granza, Figura 2.2, es uno de los productos tradicionales de las minas de hierro. Generalmente se le somete a un proceso de beneficio para separarlo de la ganga, aumentando así su ley de fierro. Se utiliza en la carga directa para producción de arrabio.

Ley: 61% Fe.

Dimensiones: 10 a 30 [mm].

Finos



Figura 2.3: Finos

Los Finos, Figura 2.3, son un mineral de hierro comercializable que debe ser generalmente aglomerado por sinterización para posteriormente alimentar un alto horno. Asimismo, es usado en el proceso de sinterización para producir nódulos (sinter) como carga directa a alto horno, para producción de arrabio.

Ley: 62% Fe.

Dimensiones: 5% máx. sobre 10 [mm]. / 10 [mm] + 6.3 [mm] 20% máx. / 150 micron 20% máx.

2.3. Planta de Chancado

2.3.1 Descripción del Proceso

El mineral extraído de la mina es transportado en camiones y vaciado a un buzón bajo el cual está instalado un alimentador hidráulico RA-1, que dosifica a razón de 1300[TPH] a una parrilla de barras vibratorias RA-2 con abertura de barras de 8". El material de sobre tamaño cae a un chancador de mandíbula RA-3, cuya descarga reducida a -8" junto con el bajo tamaño de la parrilla RA-2, es recibida por una correa transportadora RA-6, que descarga sobre la correa transportadora principal RA-7 que será, en definitiva, la encargada de llevar el mineral a la parte superior del edificio de chancado secundario y terciario. En este punto, la alimentación es separada en dos líneas mediante by-pass y harneada en dos harneros vibratorios RA-10A y RA-10B, equipados con dos parrillas, la primera de 3" x 3" y la segunda de 30[mm] x 30[mm] El bajo tamaño pasa directamente a la cancha de almacenamiento intermedio.

El mineral sobre 3" va a un chancador secundario de cono de 7' estándar RA-11, ajustado a 30[mm]. De abertura de descarga. El material comprendido entre -3" y +30[mm]. Proveniente del rechazo de la segunda parrilla, junto con la descarga del chancador RA-11, pasa por una etapa de chancado terciario.

La etapa de chancado terciario consiste en una tolva de almacenamiento, con tres alimentadores vibratorios RA-25A, RA-25B y RA-25C, y de chancadores de cono RA-12A y RA-12B de 7' cabeza corta. Los alimentadores dosifican a razón de 380[TPH] aproximadamente, a tres harneros vibratorios RA-26A, RA-26B y RA-26C, de 6' x 6" de doble cubierta, pero con las salidas

by-paseadas, que trabajan en circuito cerrado con los tres harneros y los dos chancadores terciarios. El bajo tamaño (-30[mm]) pasa a la cancha de almacenamiento transportado por la correa RA-27.



Figura 2.4: Mina “El Romeral”



Figura 2.5: Mina “El Romeral”

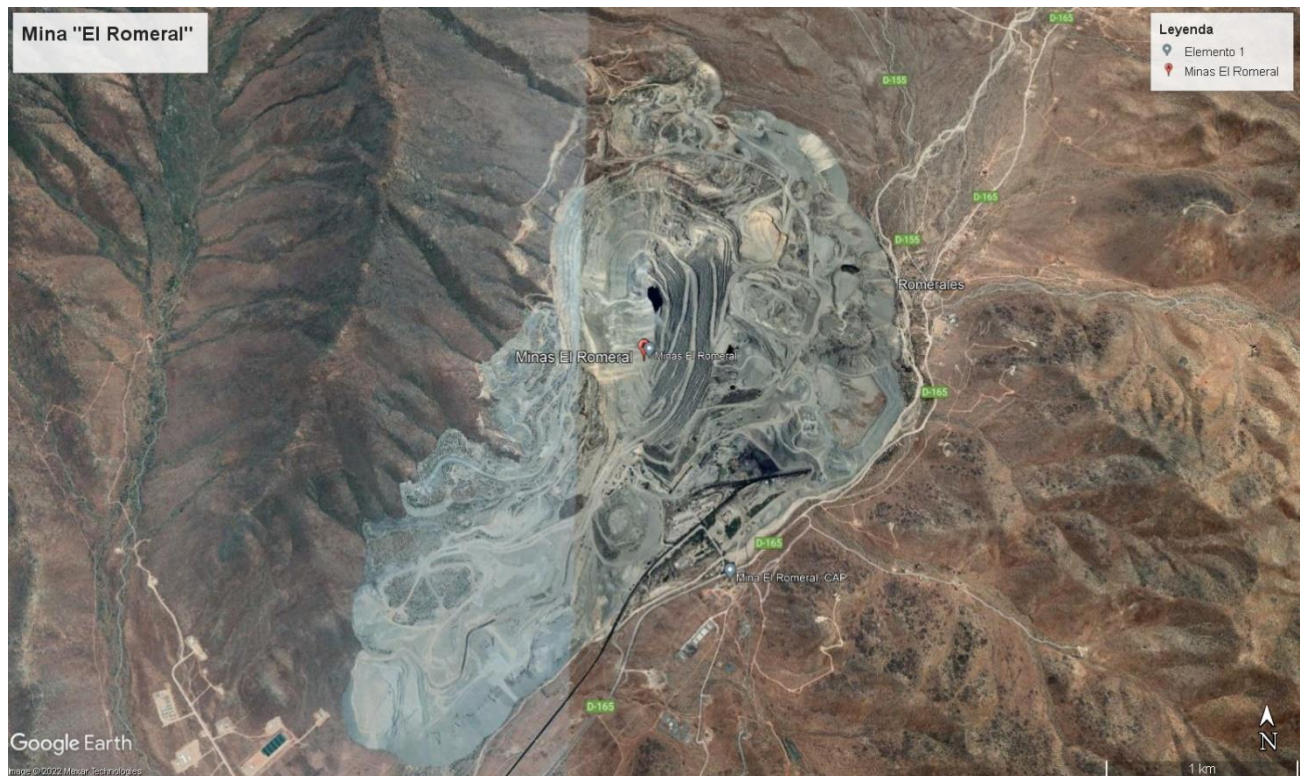


Figura 2.6: Mina “El Romeral” – Imagen satelital

2.3.2 Equipos Principales

Los equipos principales se dividen en tres tipos, Chancadores, Harneros Vibratorios o Alimentadores Vibratorios y Correas Transportadoras.

Tabla 2.1: Chancadores

Chancadores				
	Chancador Primario	Chancador Secundario	Chancadores Terciarios	
Tag	RA-3	RA-11	RA-12A	RA-12B
Tipo	Mandíbulas	Cono Estándar	Cono Cabeza Corta	Cono Cabeza Corta
Marca	Allis Chalmers 84"x60"	Nordberg Symons 7'	Nordberg Symons 7'	Nordberg Symons 7'
Potencia Instalada	185[kW](250[HP])	223,7[kW](300[HP])	223,7[kW](300[HP])	223,7[kW](300[HP])
CSS mínimo	70[mm](2,76")	17.78[mm](0,7")	6.47[mm](0,2547")	6.47[mm](0,2547")
CSS máximo	300[mm](11,81")	45,72[mm](1.8")	34.29[mm](1,35")	34.29[mm] (1,35")
Capacidad		1100 [TPH]@1 ½" CSS	720 [TPH]@ 7/8" CSS	720 [TPH] @ 7/8" CSS
Accionamiento		Directo	Directo	Directo
Velocidad del Motor		435 [RPM]	480 [RPM]	480 [RPM]

Tabla 2.2: Harneros vibratorios

Harneros Vibratorios					
Tag	RA-10A	RA-10B	RA-26A	RA-26B	RA-26C
Marca	Allis Chalmers	Allis Chalmers	Allis Chalmers	Allis Chalmers	Allis Chalmers
Tipo	6'x16' DDXH RIPL-FLO 5-5 MECH	6'x16' DDXH RIPL-FLO 5-5 MECH	6'x16' SH RIPL-FLO 4- MECH	6'x16' SH RIPL-FLO 4- MECH	6'x16' SH RIPL-FLO 4- MECH
Potencia Instalada [HP]	20	20	20	20	20
Capacidad [TPH]	650	650	387	387	387
Cubierta Superior	3'x3'	3'x3'	N/A	N/A	N/A
Cubierta Inferior	30 mm. X 30 mm.	30 mm. X 30 mm.	N/A	N/A	N/A
Accionamiento	Directo	Directo			

Tabla 2.3: Alimentadores vibratorios

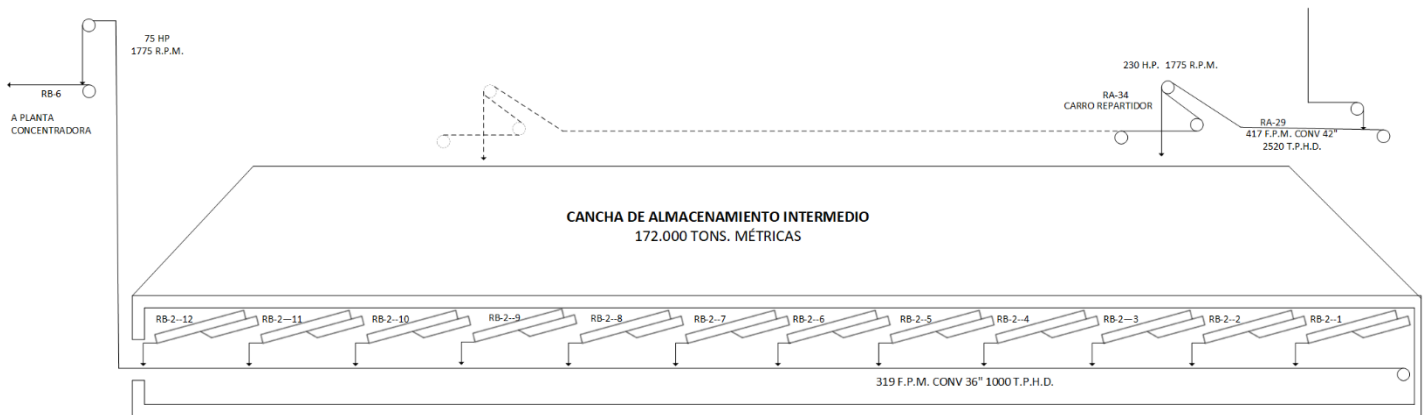
Alimentadores Vibratorios			
Tag	RA-25A	RA-25B	RA-25C
Marca	Paramount	Paramount	Paramount
Tipo	48"x6'	48"x6'	48"x6'
Potencia Instalada [HP]			
Capacidad [TPH]	450	450	450
Accionamiento	Aire	Aire	Aire
Velocidad [RPM]	870	870	870

Tabla 2.4: Correas transportadoras

Correas Transportadoras						
Tag	RA-7	RA-15	RA-17	RA-20	RA-22	RA-27
Potencia Instalada [HP]	450	400	100	150	200	200
Velocidad de Transporte [FPH]	417	369	371	454	491	394
Ancho [in]	48	36	36	36	36	42
Largo [m]	143.42	48.77	37.96	83.20	73.92	128.22
Capacidad [TPH]	2520	1692	1692	2174	2174	2520

En la Figura 2.7 se aprecia la parte medular de la Planta de Chancado, donde se desarrolla el proceso descrito en anteriormente. Desde que los camiones descargan el mineral hasta que el mineral es enviado a la cancha de almacenamiento intermedio. En la Figura 2.8 a continuación se muestra la parte restante del diagrama, la cual empieza en la cancha de almacenamiento intermedio y culmina con la correa transportadora RB-6 que lleva el material a la Planta Concentradora.

Figura 2.8 Cancha de Almacenamiento Intermedio



Capítulo 3. Simulación en IDEAS™

3.1. Introducción

El simulador IDEAS™ tiene la capacidad de simular una gran cantidad de procesos relacionados con distintas áreas, como lo son la minería, la industria del papel y la pulpa, mediante el uso de objetos, tales como, chancadores, harneros, correas transportadoras, alimentadores, estanques, etc. Estos objetos se encuentran en librerías, ellos en su conjunto pueden representar una planta en condiciones de operación, tanto en régimen transiente como en estado estacionario. Este simulador se puede utilizar durante la etapa de diseño de una planta para así disminuir los costos asociados a su diseño y operación. También es posible ejecutar simulaciones en paralelo con el coste de acrecentar los tiempos de simulación. Otra ventaja del simulador es la posibilidad de hacer cambios en la configuración de los objetos mientras una simulación está corriendo.

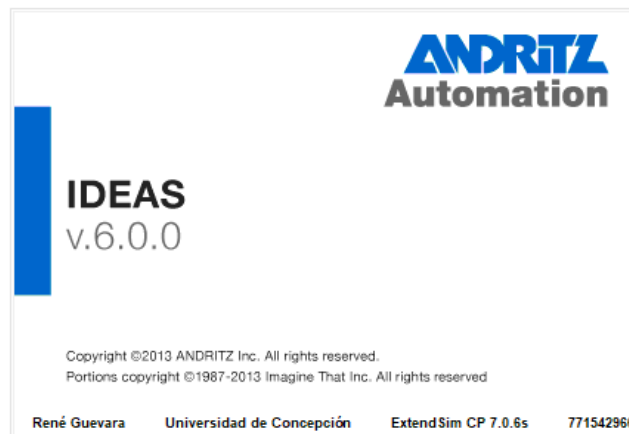


Figura 3.1: Pantalla de carga simulador IDEAS™

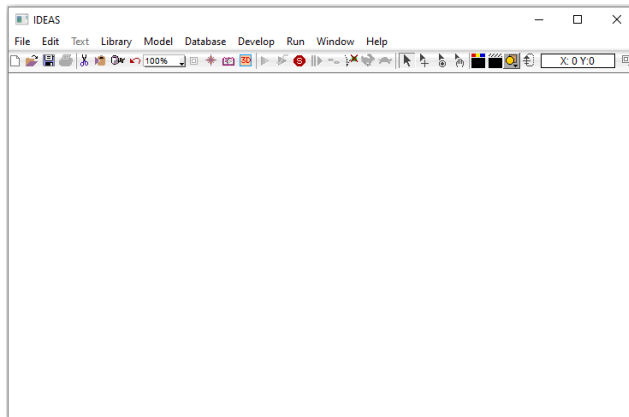


Figura 3.2: Pantalla inicial IDEAS™

Se simulará en IDEAS™ la planta de Chancado de mina “El Romeral”, esta se muestra en el diagrama de la Figura 3.3. En este caso la planta consta de 4 Chancadores, 5 harneros 1 parrilla vibratoria, 4 alimentadores, 1 polea electromagnética, stock de rechazos, etc.

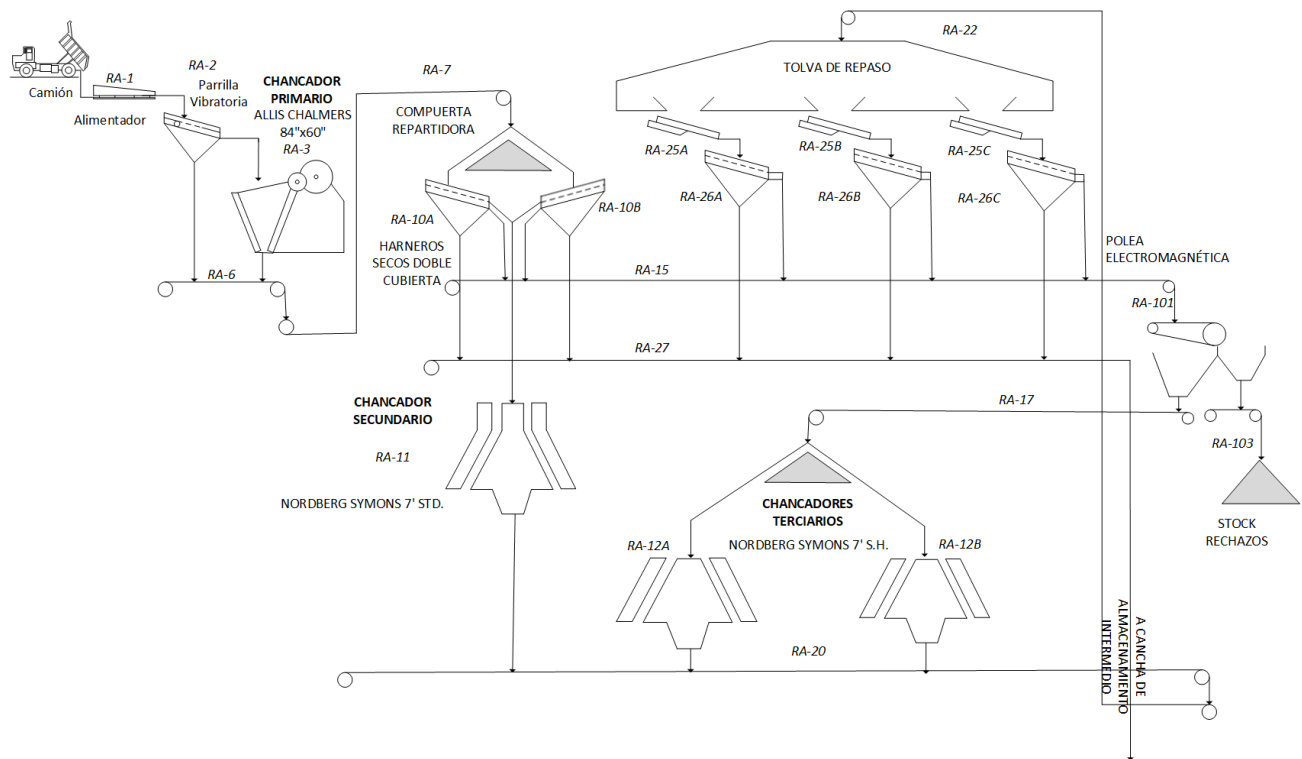


Figura 3.3: Diagrama a Simular

En el diagrama presentado en la Figura 3.3 se puede observar que el proceso a simular contempla desde la entrada de material a través de camiones, hasta el término del proceso de chancado

donde la correa transportadora RA-27 lleva el material ya chancado y seleccionado a la cancha de almacenamiento intermedio, para luego ser transportado a la siguiente etapa.

La extracción de datos desde el simulador se realizó utilizando el objeto *plotter*, en este existe una opción de exportar los datos, incluido el tiempo, a un archivo *.xlsx* desde el cual luego los importamos a *MATLAB*, con el fin de obtener gráficas/figuras de interés.

Los objetos utilizados en la simulación se listan a continuación, categorizados por librería.

3.2. Librerías y Objetos

3.2.1 Librería *Analog Controls 600.LIX*

A. *Controller On/Off*

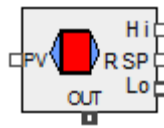


Figura 3.4: Objeto “Controller On/Off”

El objeto *Controller On/Off* modela la acción de un controlador *On/Off*. Se utiliza cuando no se requiere un control preciso del punto de ajuste. La variable de salida se mantiene dentro de una banda o rango especificado por un valor mínimo y máximo. Las variables manipuladas reciben una señal de encendido (1) o apagado (0) del controlador para mantener la variable de salida dentro del rango aceptable.

Tabla 3.1: Descripción de conectores de objeto “Controller On/Off”

Nombre	Tipo de dato	Descripción	Color
PV	Escalar	Valor de variable de proceso	N/A
RSP	Escalar	Entrada para valor de Setpoint	N/A
Hi	Escalar	Entrada para Valor alto de Setpoint remoto	N/A

Lo	Escalar	Entrada para valor bajo de Setpoint remoto	N/A
Out	Escalar	Salida de Controlador	N/A

En el caso de esta simulación se utilizó este objeto para controlar el nivel de llenado de material de la tolva de repaso, cuando este llega a un 80% el flujo de entrada disminuye al 20% y cuando el nivel de la tolva llega a un 2% el flujo de entrada aumenta al 100%.

B. Controller PID

El controlador PID se utiliza para modelar la función de un controlador PID.

El objeto “Controller PID” utiliza la forma estándar o paralela del algoritmo PID. La forma de velocidad de estos algoritmos PID se escribe de la siguiente manera:

Algoritmo PID estándar:

$$V_n = V_{n-1} + K_c \left[(e_n - e_{n-1}) + \frac{T}{\tau_I} e_n + \frac{\tau_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right]$$

Algoritmo PID Paralelo:

$$V_n = V_{n-1} + K_c \left[(e_n - e_{n-1}) + TK_i e_n + \frac{K_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right]$$

Donde:

V_n = salida del controlador en el instante de muestreo n

K_c = constante proporcional (ganancia)

e_n = desviación del punto de ajuste (error)

T = la tasa de muestreo (tiempo delta)

τ_I = la constante de tiempo integral (tasa de reinicio)

τ_D = la constante de tiempo derivada

Nota: Los dos algoritmos darán resultados idénticos siempre que los valores de τ_I y τ_D estén escalados con respecto a K_c .

De [14] vemos que una diferencia entre ambos algoritmos es que el algoritmo paralelo las acciones de control integral y derivativo son independientes, aunque exista un parámetro ganancia proporcional) que afecte las tres acciones. El algoritmo estándar fue empleado en los antiguos reguladores analógicos.

Descripción de conectores:

Tabla 3.2: Descripción conectores objeto “Controller PID”

Nombre	Tipo de dato	Descripción
PV	Escalar	Variable medida
Out	Escalar	Salida
bias	Escalar	Entrada de bias (parcialidad)
Mode	Escalar	Establecer modo del controlador: 1=Manual, 2=auto, 3=RSP
MO	Escalar	Salida de controlador deseada cuando el controlador está en manual
RSP	Escalar	Set-point remoto
EFB	Escalar	Retroalimentación externa
INT	Escalar	Usado para interlockings
SP	Escalar	Usado para setpoint
OutmaxIn	Escalar	Usado para controlar el límite máximo del rango de salida
OutMinIn	Escalar	Usado para controlar el límite mínimo del rango de salida

En el caso de esta simulación se utilizó este controlador para controlar las granulometrías de salida de las distintas etapas de chancado, esto se hizo tomando el p80 como PV y el CSS de cada chancador como el Out de cada controlador PID.

3.2.2 Librería Executives 600.LIX

C. *Discrete/Continuous Executive*



Figura 3.5: Objeto “Discreto/Continuo”

El objeto Discreto/Continuo provee manejo de tiempo para la simulación continua. El objeto Discrete/Continuos Executive permite a los objetos en el worksheet correr a distintas velocidades o tiempos de muestreo. El objeto Discrete/Continuous Executive debe ubicarse en el lado izquierdo del worksheet y debe ser uno de los primeros objetos ubicados en el worksheet.

Tabla 3.3: Descripción de los conectores objeto “Discrete/Continuous Executive”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción
DE (DelinkIn)	Escalar	Conexión a eventos discretos Objeto ejecutivo

D. *Display Errors*



Figura 3.6: Objeto “Display Errors”

El objeto “Display Errors” es usado para controlar las muestras de error. Los mensajes de error pueden ser mostrados en la pantalla o registrados en un archivo de texto el cual puede ser revisado después de que la simulación se complete.

Este objeto no necesita estar presente en el worksheet, en el caso de no estarlo, todos los mensajes de error serán mostrados en la pantalla con la simulación pausada hasta que el usuario reconozca el error.

Algunos errores siempre son mostrados en la pantalla. Estos son reportes de condiciones fatales de simulación generalmente detectadas antes de que la simulación comience.

E. Global Unit Selector



Figura 3.7: Objeto Global Units

El objeto “Global Unit Selector” define globalmente el tipo de unidad y los correspondientes factores de conversión a ser usados en un worksheet dado.

F. SOLVER-FLUID FLOW

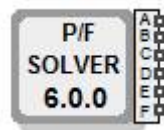


Figura 3.8: Objeto “Solver Fluid Flow”

El objeto “Solver-Fluid Flow” es usado para calcular las presiones y flujos másicos a través de la red de tuberías en cada paso de una simulación. Los cálculos son realizados en el Solver después de que todos los datos pertinentes han sido actualizados por cada uno de los objetos de presión/flujo. Este objeto debe ser puesto en el lado izquierdo de la hoja de trabajo (worksheet) junto con los objetos “Material Properties” y “Discrete/Continuous Executive”.

Descripción de los conectores:

Tabla 3.4: Descripción conectores objeto “Solver Fluid Flow”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción
A	Escalar	Iteraciones incompresibles
B	Escalar	Error máximo incompresible
C	Escalar	Nodo incompresible con error máximo
D	Escalar	Iteraciones comprimibles
E	Escalar	Error máximo compresible
F	Escalar	Nodo comprimible con error máximo

3.2.3 Librería Macro Primitives 600.LIX

A. Mixer

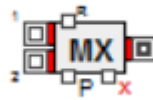


Figura 3.9: Objeto “Mixer”

El objeto “Mixer” es usado para combinar 2 flujos de entrada en un flujo de salida. El “Mixer” puede ser configurado para operar en distintos modos.

Puede ser usado como un simple mezclador donde los flujos de entrada son definidos aguas arriba. Alternativamente, el usuario podría especificar una composición/fase de salida. El objeto “Mixer” computa un balance másico y de energía; por lo tanto, podría ser utilizado para mezclar flujos de diferentes composiciones, tasas de flujos o temperaturas. El objeto puede realizar cambios de fase, pero solamente si la evaporación o condensación está completa.

La presión del mezclador se establece y se puede ajustar durante una ejecución de simulación mediante una entrada de campo del cuadro de diálogo o mediante el conector de entrada P que anula el valor en el cuadro de diálogo. La temperatura del flujo de salida se calcula a partir de las fracciones de masa y las entalpías de los dos flujos de entrada. La densidad y la entalpía del flujo de salida se calculan a partir de la temperatura, la presión y la composición del flujo de salida.

Descripción Conectores:

Tabla 3.5: Descripción de conectores de objeto “Mixer”

Nombre	Tipo de dato	Descripción	Color
Con1In	Vector	Flujo de entrada 1	Rojo/Verde*
Con2In	Vector	Fujo de entrada 2	Rojo/Verde*
Con1Out	Vector	Flujo de salida	Rojo/Verde*
P(Con3In)	Escalar	Presión del mezclador	N/A
R(Con4In)	Escalar	Razón de mezcla	N/A
X(TypeBControlIn)	Escalar	Control de entrada tipo B	N/A

*Los colores asignados a los conectores cambiarán entre rojo y verde de acuerdo al tipo de mezclador seleccionado.

En esta simulación el objeto Mixer fue utilizado para mezclar/unir flujos, tales como la salida del chancador primario con el bajo-tamaño del harnero RA-2.

B. Separator

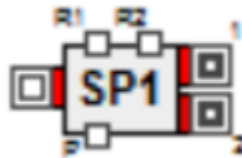


Figura 3.10: Objeto “Separator”

El objeto “Separator” es usado para dividir los componentes de un flujo de entrada en dos flujos de salida de acuerdo a la Eficiencia de Separación de cada componente o a una fase. La Eficiencia de separación de un componente es la fracción del flujo másico de entrada dirigido a la Salida 1. El flujo en la Salida 2 se compone de los componentes remanentes. No pueden existir cambios de fase en el “Separator”.

La presión del objeto se establece y ajusta durante una ejecución de simulación mediante una entrada de campo de cuadro de diálogo o mediante el conector de entrada P que anula el valor presente en el cuadro de diálogo. La temperatura de los dos flujos de salida es la misma que la del flujo de

entrada. La densidad y la entalpía de cada flujo de salida se calculan a partir de la temperatura, la presión y la composición del flujo de salida.

Descripción conectores:

Tabla 3.6: Descripción conectores objeto “Separator”

Nombre	Tipo de dato	Descripción	Color
Con1In	Vector	Flujo de entrada	Rojo
Con1Out	Vector	Flujo de salida 1	Rojo/Verde*
Con2Out	Vector	Flujo de salida 2	Rojo
R1(Split1In)	Escalar	Eficiencia de separación 1	N/A
R2(Split2In)	Escalar	Eficiencia de separación 2	N/A
P(Con3In)	Escalar	Presión de separador	N/A

En el caso esta simulación este objeto fue utilizado para realizar la acción de una polea electromagnética, la cual tiene la función de separar la magnetita (mineral de interés) del resto de los elementos.

C. *Splitter*

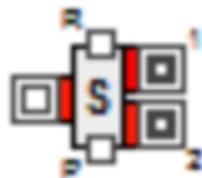


Figura 3.11: Objeto “Splitter”

El objeto Splitter es usado para dividir el flujo de entrada en 2 flujos de salida de acuerdo a un valor de razón de división dado o a un flujo definido por un objeto aguas abajo conectado al conector de salida 1. Los flujos de salida tienen la misma composición y temperatura que la alimentación. No pueden existir cambios de fase en el objeto “Splitter”.

La presión del objeto se establece y ajusta durante una ejecución de simulación mediante una entrada de campo de cuadro de diálogo o mediante el conector de entrada P que anula el valor presente en el cuadro de diálogo. Las propiedades de los dos (2) flujos de salida son las mismas que las del flujo de entrada.

Descripción conectores:

Tabla 3.7: Descripción de conectores objeto “Splitter”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción	Color
Con1In	Vector	Flujo de entrada	Rojo
Con1Out	Vector	Flujo de salida 1	Rojo/Verde
Con2Out	Vector	Flujo de salida 2	Rojo
P(Con3In)	Escalar	Presión de Splitter	N/A
R(Split1In)	Escalar	Razón o proporción de división	N/A

En esta simulación este objeto fue utilizado en varias ocasiones para dividir flujos másicos de mineral.

3.2.4 Librería Material Properties 600.LIX

A. Objeto Material Properties



Figura 3.12: Objeto “Material Properties”

El objetivo principal del objeto “Material Properties” (MP) es cargar y almacenar registros de componentes individuales con sus propiedades asociadas para crear una base de datos de componentes

específica de la hoja de trabajo disponible globalmente para todos los objetos del modelo. Al menos un objeto de propiedades del material debe estar presente en cada hoja de cálculo. Además, IDEAS permite múltiples objetos MP en la misma hoja de trabajo.

En este caso, se utiliza para cargar los elementos (minerales) a usar en la simulación con sus respectivas características de dureza, densidad, etc. En este objeto también se muestra su distribución porcentual con respecto al total de material. Estos son:

Tabla 3.8: Distribución de material

Fe_3O_4	63%
SiO_2	23%
Al_2O_3	5%
MnO	5%
TiO_2	4%

B. Objeto PSD Data

Este objeto (PSD: Particle Size Distribution) se utiliza para seleccionar los componentes que tienen una distribución del tamaño de partículas (Granulometría) y para definir las distribuciones de tamaño de partículas para los componentes seleccionados.

En este caso las granulometrías simuladas son las mostradas en la Tabla 3.9 y la Tabla 3.10:

Tabla 3.9: Granulometría A

Tamaño [mm]	% de masa
7.05	24.43
8.40	2.26
11.90	4.23
23.75	11.32
31.75	4.78
63.5	17.81
127.00	15.08
190.50	6.27
254.00	4.33
317.50	3.5

381.00	1.23
1016.00	4.76

Tabla 3.10: Granulometría B

Tamaño [mm]	% de masa
7.05	5
8.40	4
11.90	4
23.75	4
31.75	6
63.5	10
127.00	10
190.50	10
254.00	10
317.50	10
381.00	11
1016.00	16

Se simulan los tamices encontrados en la Granulometría A y B debido a que son similares a los encontrados vía toma de muestras en [2].

F80 es el diámetro máximo de partícula para el 80% de las partículas en la alimentación. En el caso de la granulometría A es 127.9[mm] y el de granulometría B es 357.9[mm], esto con el fin de simular ambas condiciones.

C. Objeto Sink



Figura 3.13: Objeto “Sink”

El objeto “Sink” se utiliza como punto de terminación o depósito sin fin para los flujos de salida de la hoja de trabajo. Normalmente, todos los flujos que salen de la hoja de trabajo eventualmente ingresan a un sumidero. La dirección preferencial del flujo es hacia el sumidero, aunque el objeto también puede manejar el flujo inverso.

Descripción de los conectores:

Tabla 3.11: Descripción de conectores de objeto “Sink”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción
Con1In	Vector	Flujo de entrada
P/F	Escalar	Presión de Flujo o Flujo

En el caso de esta simulación el objeto se usa como punto de terminación/depósito sin fin.

D. Stream Source

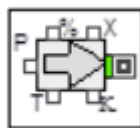


Figura 3.14: Objeto Stream Source

Este objeto se utiliza como fuente para los flujos que ingresan a una hoja de cálculo (Worksheet). Puede definirse como una fuente de flujo o una fuente de presión. Ambos tipos de fuentes son capaces de producir flujos por un período de tiempo indefinido.

Descripción de los conectores:

Tabla 3.12: Descripción objeto “Stream Source”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción
Con1Out	Vector	Flujo de salida
X	Escalar	Composición de Componente (0-100%)
%	Escalar	Consistencia del flujo (0-100%)
F/P	Escalar	Flujo o Presión
T	Escalar	Temperatura del flujo
K	Escalar	No funcional – no utilizar

En el caso de esta simulación el objeto Stream Source se utilizó como fuente de flujo de material. Se situaron 2 de estos objetos en la hoja de cálculo (Worksheet), con el fin de simular distintos flujos y granulometrías.

3.2.5 Librería Material Transport-G 600.LIX

A. Conveyor

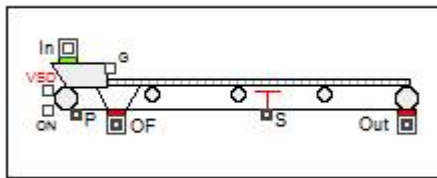


Figura 3.15: Objeto “Conveyor”

El objeto Transportador se utiliza para simular transportadores cortos con una diferencia entre las elevaciones de entrada y salida. Se supone que el perfil de elevación es lineal. La velocidad del transportador se puede cambiar dinámicamente durante una ejecución de simulación y dará como resultado un rendimiento variable del transportador.

En el caso de la simulación se utilizan 7 objetos “Conveyor” que simulan correas transportadoras con las características descritas anteriormente.

3.2.6 Librería Mineral Processing-B 600.LIX

A. Feeders

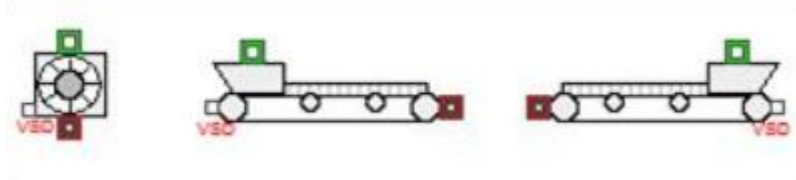


Figura 3.16: Objeto “Feeders” 3 vistas

El objeto Feeder representa un dispositivo mecánico que define las tasas de flujo de sólidos en las plantas de procesamiento de minerales.

El caudal de alimentación se define por el caudal máximo del alimentador y el valor VSD entre 0 y 100%.

El objeto calcula su flujo como:

$$Flow = MaxFlowRate \cdot VSD \cdot 0.01$$

El conector escalar acepta una señal VSD de 0 -100%

Descripción de los conectores:

Tabla 3.13: Descripción conectores objeto “Feeders”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción	Color
Inlet (Entrada)	Vector	Flujo de entrada	Verde
Outlet (Salida)	Vector	Flujo de Salida	Rojo
VSD (Variable Speed Drive) (Variador de Velocidad)	Escalar	0-100%	N/A

En el caso de esta simulación se utilizan los objetos feeder para manipular y/o limitar las alimentaciones en la entrada de material y también a la salida de la Tolva de Repaso.

3.2.7 Librería Plotters 600.LIX

A. *Plotter, I/O Scan*

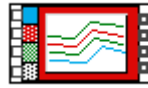


Figura 3.17: Objeto “Plotter, I/O Scan”

El objeto “Plotter, I/O Scan” proporciona gráficos y tablas de datos para hasta cuatro (4) entradas asociadas con el tiempo. Los conectores de salida permiten que los datos generados en una simulación se utilicen como entrada para otra simulación.

Descripción de conectores:

Tabla 3.14: Descripción conectores objeto “Plotter, I/O Scan”

Nombre	Tipo de dato	Descripción
Con0In	Escalar	Entrada – Gráfico 1
Con0In	Escalar	Entrada – Gráfico 2
Con0In	Escalar	Entrada – Gráfico 3
Con0In	Escalar	Entrada – Gráfico 4
Con0Out	Escalar	Salida – Gráfico 1
Con1Out	Escalar	Salida – Gráfico 2
Con2Out	Escalar	Salida – Gráfico 3
Con3Out	Escalar	Salida – Gráfico 4

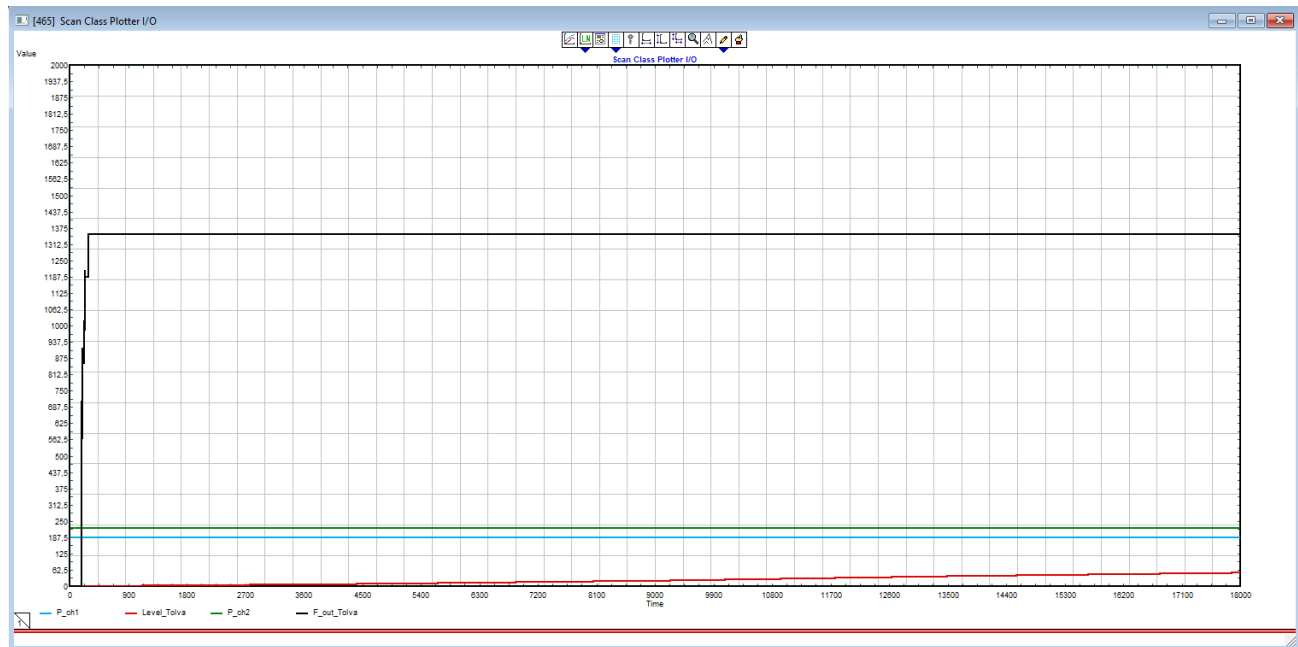


Figura 3.18: Ejemplo de gráfico en objeto “Plotter, I/O Scan”

En el caso de esta simulación se exportaron los datos desde el objeto “Plotter, I/O Scan” a Excel y luego a MATLAB para poder describir y tratar mejor los datos. Esto se realizó utilizando la siguiente ventana mostrada en Figura 3.19:

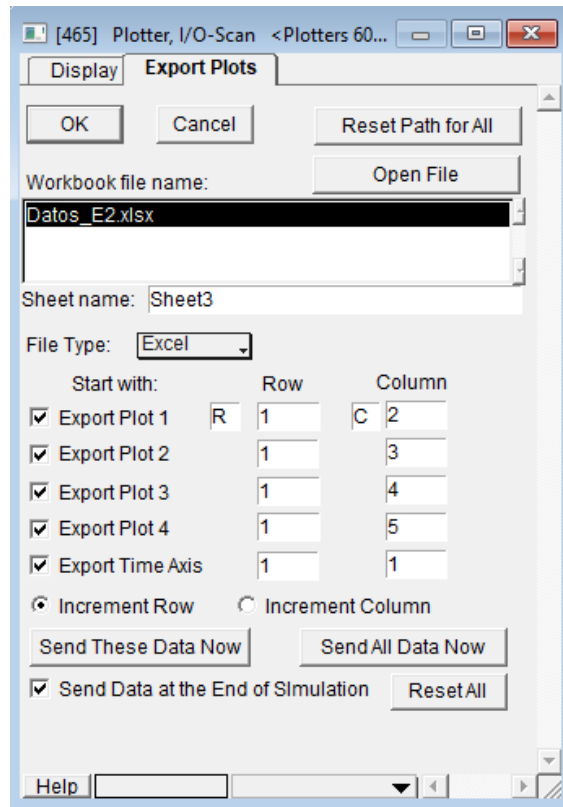


Figura 3.19: Ventana “Export Plots”

3.2.8 Librería Separation-G 600.LIX

B. Screen Primitive

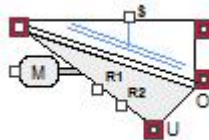


Figura 3.20: Objeto “Screen Primitive”

El objeto “Screen Primitive” modela un proceso de harneado en el que los sólidos del flujo de alimentación se separan en flujos de gran tamaño (sobre-tamaño) y de tamaño insuficiente (bajo-tamaño). En general, las partículas sólidas más pequeñas que las aberturas de la pantalla caen a través de la rejilla y se reportan al flujo de tamaño inferior. En la práctica, la razón de separación se rige por la relación entre la velocidad de avance, la granulometría y las propiedades del harnero.

Descripción de los conectores:

El objeto “Screen Primitive” tiene un flujo de entrada (alimentación) y tres flujos de salida (sobre-tamaño, bajo-tamaño y derramado). Los conectores escalares de salida adicionales se utilizan para ajustar dinámicamente las relaciones de división de los componentes que no transportan granulometría.

Tabla 3.15: Descripción conectores objeto “Screen Primitive”

Nombre	Tipo de Dato	Descripción	Color
Con1In	Vector	Alimentación	Rojo
O (Sobre-tamaño de salida)	Vector	Sobre-tamaño	Rojo
U (Bajo-tamaño de salida)	Vector	Bajo-tamaño	Rojo
R1 (Relación de división de entrada 1)	Escalar	Relación de división de entrada 1	N/A
R2 (Relación de división de entrada 2)	Escalar	Relación de división de entrada 2	N/A
S (agua de entrada)	Escalar	Encendido de rocío de agua Encendido/Apagado	N/A
OnOffIn	Escalar	Motor encendido/apagado	N/A
SpillOut	Escalar	Salida de derrames	Rojo

En el caso de esta simulación se utilizó el objeto “Screen Primitive” para simular harneros con cierto tamaño de corte y nitidez, esto resulta de utilizar el modelo de Rosin-Rammler en la pestaña “Separation” dentro del objeto. El modelo Rosin-Rammler consiste en que para un tamaño de corte dado y una nitidez dada es posible obtener el porcentaje pasante de un mineral de cierto tamaño. La ecuación es la siguiente:

$$F(x) = 100(1 - e^{-\left(\frac{x}{x_r}\right)^m})$$

Así para un harnero con un tamaño de corte de 30mm (x_r) y una nitidez (m) de 1,50 el porcentaje acumulado pasante a sobretamaño para las rocas de un diámetro de 100mm es de 99.77%

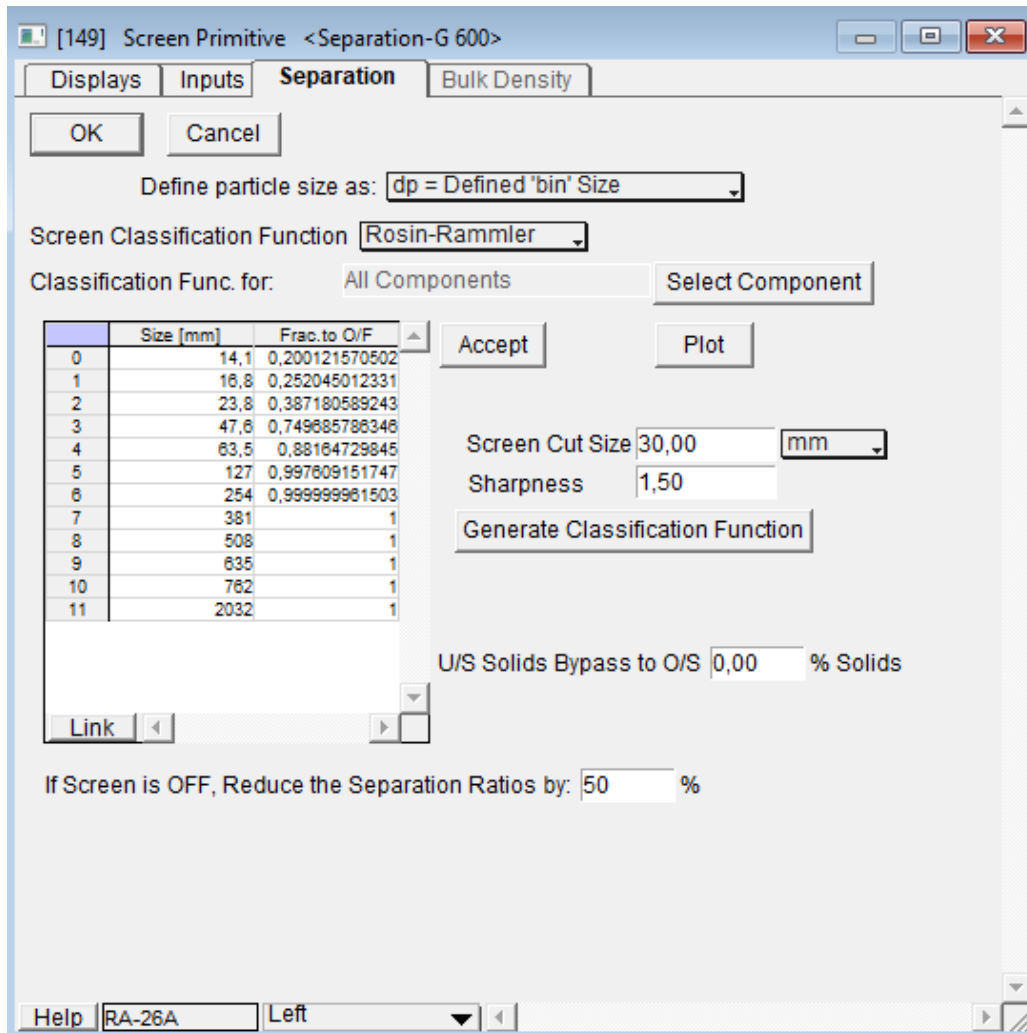


Figura 3.21: Pestaña “Separation” dentro de objeto “Screen Primitive” que simula a harnero RA-26A

3.2.9 Librería Size Reduction-S 600.LIX

A. *Crusher*

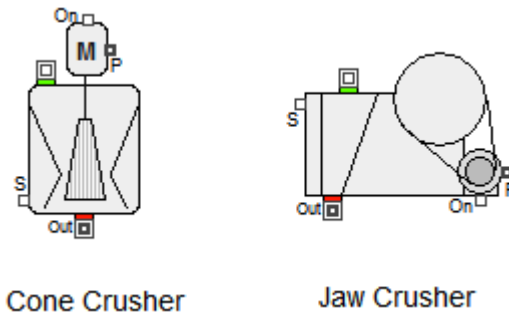


Figura 3.22: Objeto “Crusher”

El objeto “Crusher” (Chancador) modela una operación de trituración básica en la que la distribución del tamaño de las partículas de la corriente de alimentación se reduce mientras se conserva la masa. Es posible algún cambio arbitrario adicional en el d_{50} de la PSD de salida para simular variaciones de efecto en las condiciones de funcionamiento.

El proceso de reducción de tamaño sólido está representado por dos subprocesos: clasificación y rotura. El proceso de clasificación determina una fracción del tamaño de cada partícula que pasa por alto el proceso de rotura. La probabilidad de evitar la rotura es una fuerte función del tamaño de partícula. Las partículas pequeñas nunca deben romperse, ya que pueden caer inmediatamente a través de la unidad. Las partículas muy grandes siempre estarán sujetas a roturas ya que no pueden caer a través de la unidad sin una reducción de tamaño. Todas las partículas intermedias se romperán con una probabilidad proporcional a su tamaño.

Descripción de los conectores:

Tabla 3.16: Descripción de conectores de objeto “Crusher”

Nombre	Tipo de dato	Descripción	Color
In	Vector	Entrada de alimentación	Verde/Rojo
Out	Vector	Salida de producto	Rojo
P	Escalar	Salida de potencia	N/A

On	Escalar	Encendido/Apagado	N/A
On	Escalar	Encendido/Apagado	N/A
S	Escalar	Cambio P50	N/A

El conector S se puede utilizar de las siguientes maneras distintas:

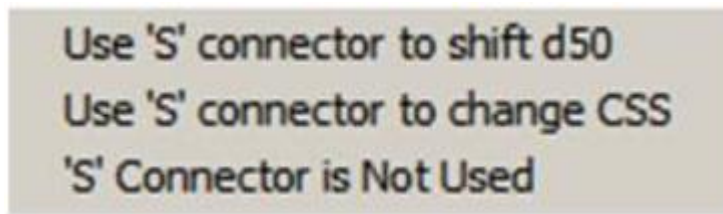


Figura 3.23: Usos conector S

Como se muestra en la figura anterior, el conector S se puede utilizar para cambiar el d50, para cambiar el CSS (Close Side Setting) o simplemente no utilizarse.

En el caso de esta simulación, se utiliza, en el escenario número 2, como salida del controlador PID, ya que cambiando el CSS se puede regular la granulometría de salida dentro de cierto intervalo de CSS.

3.2.10 Librería Tanks Dynamic 600.LIX

A. Tank-Incompressible

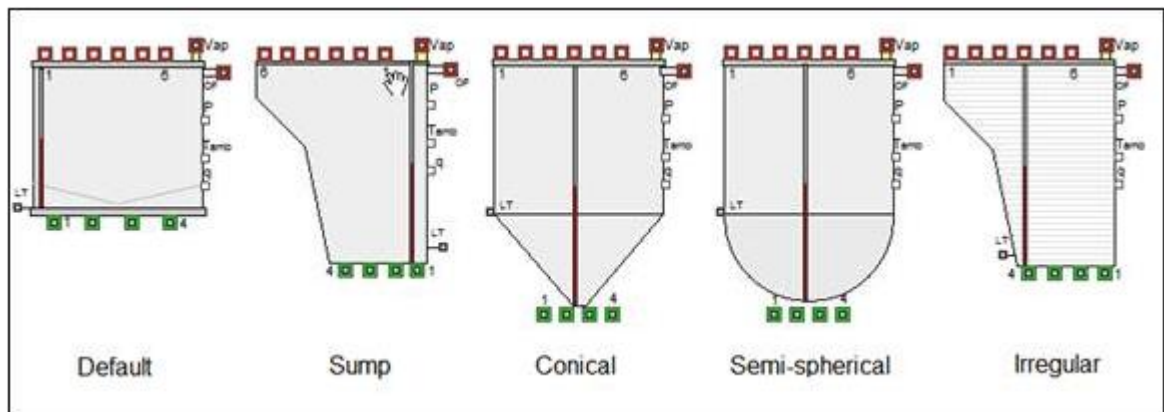


Figura 3.24: Objeto “Tank-Incompressible”

El objeto Tank-Incompressible representa un tanque perfectamente mezclado, abierto a la atmósfera, pero la presión ambiental del tanque se puede ajustar. Se pueden agregar hasta seis flujos de entrada al tanque y se pueden usar hasta cuatro flujos de salida para eliminar material del tanque. Además, se permite un cambio de fase (flash) en este tanque. Los vapores producidos como resultado de este cambio de fase, así como los gases disueltos que ingresan con las corrientes de entrada, pueden eliminarse del tanque y capturarse a través del conector de salida de vapores que se encuentra en la parte superior del tanque.

Descripción de los conectores:

Tabla 3.17: Descripción conectores objeto “Tank-Incompressibles

Nombre	Tipo de Dato	Descripción	Color
Con1In	Vector	Flujo de entrada	Rojo
Con6In	Vector	Flujo de entrada	Rojo
Con1Out	Vector	Flujo de salida	Verde
Con4Out	Vector	Flujo de salida	Verde
VaporsOut	Vector	Flujo de salida de vapor	Rojo
OverflowOut	Vector	Flujo de salida de sobre flujo	Rojo
Con7In	Escalar	Presión ambiental	N/A
TambientIn	Escalar	Temperatura ambiental	N/A
QdotIn	Escalar	Tasa de intercambio de calor	N/A
Level1Out	Escalar	Nivel de líquido	N/A

En el caso de esta simulación se utilizó el objeto “Tank-Incompressible” de distintas formas: como stock-pile de rechazo y también para simular una Tolva de repaso.

3.2.11 Librería Tools 600.LIX

A. *Add_c*, *Subtract_c*, *Multiply_c* y *Divide_c*

Los objetos de operaciones aritméticas de IDEAS (*Add_c*, *Subtract_c*, *Multiply_c* y *Divide_c*) operan en entradas analógicas y proporcionan salidas analógicas. Estos objetos emulan las reglas de las cuatro (4) operaciones aritméticas básicas y, durante una simulación, proporcionan dinámicamente una salida que depende de los valores de las entradas analógicas. Estos objetos están controlados por el tiempo de exploración, es decir, las entradas y salidas se actualizan en intervalos de tiempo de exploración.



Figura 3.25: Íconos de objetos operadores aritméticos: “*Add_c*”, “*Subtract_c*”, “*Multiply_c*” y “*Divide_c*”

El icono superior izquierdo representa el objeto *Add_c*. Este objeto suma los valores de las dos entradas, multiplica el resultado por el valor en la entrada de diálogo etiquetada como Multiplicar salida por y lo pasa a través del conector de salida.

El icono superior derecho representa el objeto *Subtract_c*. Este objeto resta el valor de la entrada "2" del valor de la entrada "1", multiplica el resultado por el valor en la entrada de diálogo etiquetada como Multiplicar salida por y lo pasa a través del conector de salida.

El icono inferior izquierdo representa el objeto *Multiply_c*. Este objeto multiplica los valores de las dos entradas y luego multiplica el resultado por el valor en la entrada de diálogo etiquetada como Multiplicar salida por y lo pasa a través del conector de salida.

El icono inferior derecho representa el objeto *Divide_c*. Este objeto divide el valor de la entrada "1" por el valor de la entrada "2", lo multiplica por el valor de la entrada de diálogo etiquetada como Multiplicar salida por y lo pasa a través del conector de salida.

Tabla 3.18: Descripción de conectores de objetos operadores aritméticos

Nombre	Tipo de dato	Descripción
Con1In	Escalar	Variable de entrada
Con2In	Escalar	Variable de entrada
Con1Out	Escalar	Variable de salida

En el caso de esta simulación estos objetos en conjunto con Constant_c e input function_c hicieron posible generar funciones para regular la granulometría de entrada y el flujo de entrada, también se logró construir señales de control para el control On/Off.

B. Constant_c



Figura 3.26: Ícono de objeto “Constant_c”

El objeto Constant_c pasa el valor ingresado en el campo Output en el cuadro de diálogo a través del conector de salida. A diferencia del objeto similar en la biblioteca DEGeneric, que está controlado por eventos, este objeto está controlado por el tiempo de exploración, es decir, su salida se actualiza a intervalos de tiempo de exploración.

Tabla 3.19: Descripción conectores objeto “Constant_c”

Nombre	Tipo de dato	Descripción
Con1Out	Escalar	Variable de salida

En el caso de esta simulación, este objeto se utilizó principalmente como entrada de datos a otros objetos, ya sea potencia, CSS, porcentaje de flujo, etc.

C. Input Function_c

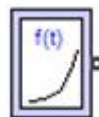


Figura 3.27: Objeto input function

El objeto Input Function_c genera una función a lo largo del tiempo. El usuario puede especificar constantes en el cuadro de diálogo que se utilizan en la ecuación de la función. Las funciones que puede seleccionar desde el diálogo son: valor absoluto, arcocoseno, coseno, arcotangente, techo, coseno, cosh, exponencial, piso, impulso, logaritmo normal, logaritmo base 10, entero más cercano, pulso, pulso repetido, rampa, seno, sinh, raíz cuadrada, escalón, tangente, tanh y definido por el usuario.

Tabla 3.20: Descripción conectores objeto “Input function”

Nombre	Tipo de dato	Descripción
ConOut	Escalar	$y=f(x)$

En el caso de esta simulación se utilizó el objeto input function para generar señales de tipo escalón que permitieran variar tanto granulometría como flujo de entrada.

D. Switch



Figura 3.28: Objeto “Switch”

El objeto “Switch” se usa para simular un interruptor selector de encendido/apagado genérico. Envía un 0 (desactivado) o un 1 (activado) constante según la posición del icono de alternar en el cuadro de diálogo. El objeto solo se puede conectar a una entrada escalar. Este interruptor es diferente del que se encuentra en el menú Modelo-Controles en que la configuración se puede guardar usando la función de “snapshot” (instantánea).

En el caso de esta simulación, este objeto se utilizó como interruptor de encendido de harneros y chancadores.

3.2.12 Librería Transmitters 600.LIX

E. Transmitter-Flow



Figura 3.29: Objeto Transmitter-Flow

El objeto “Transmitter-Flow” se usa para mostrar el flujo promedio de la corriente de entrada. El objeto se puede conectar a cualquier conector de elemento de entrada o salida que pase información de flujo.

Descripción Conectores

Tabla 3.21: Descripción de conectores del objeto “Transmitter-Flow”

Nombre	Tipo de dato	Descripción
In	Vector	Flujo medido
Out	Escalar	Flujo

F. Transmitter-PSD



Figura 3.30: Transmisor de Granulometría

Este transmisor muestra las distribuciones de tamaño de los componentes portadores de PSD (Granulometría) en cualquier flujo de tipo Semi-líquido.

Descripción conectores:

Tabla 3.22: Descripción de conectores del objeto “Transmitter PSD”

Nombre	Data Type	Descripción
Con1In	Vector	Flujo medido
D50Out	Escalar	Salida d50
Salida seleccionada	Escalar	Salida (suma de masa en fracciones de tamaño definidas, ej: p80)

G. Transmitter-Component Flow



Figura 3.31: Objeto “Transmitter-Component Flow”

El objeto Transmitter-Component Flow se usa para mostrar una tasa de flujo másico o volumétrico de un componente específico en la corriente. Este objeto se puede conectar a cualquier conector (entrada o salida) que pase información de flujo.

Descripción de conectores:

Tabla 3.23: Descripción de conectores de objeto “Transmitter-Component Flow”

Nombre	Tipo de dato	Descripción
Con1In	Vector	Flujo medido
Con1Out	Escalar	Componente de flujo medido

En esta simulación este objeto se utilizó para medir la cantidad de magnetita presente en un flujo.

3.3. Worksheet

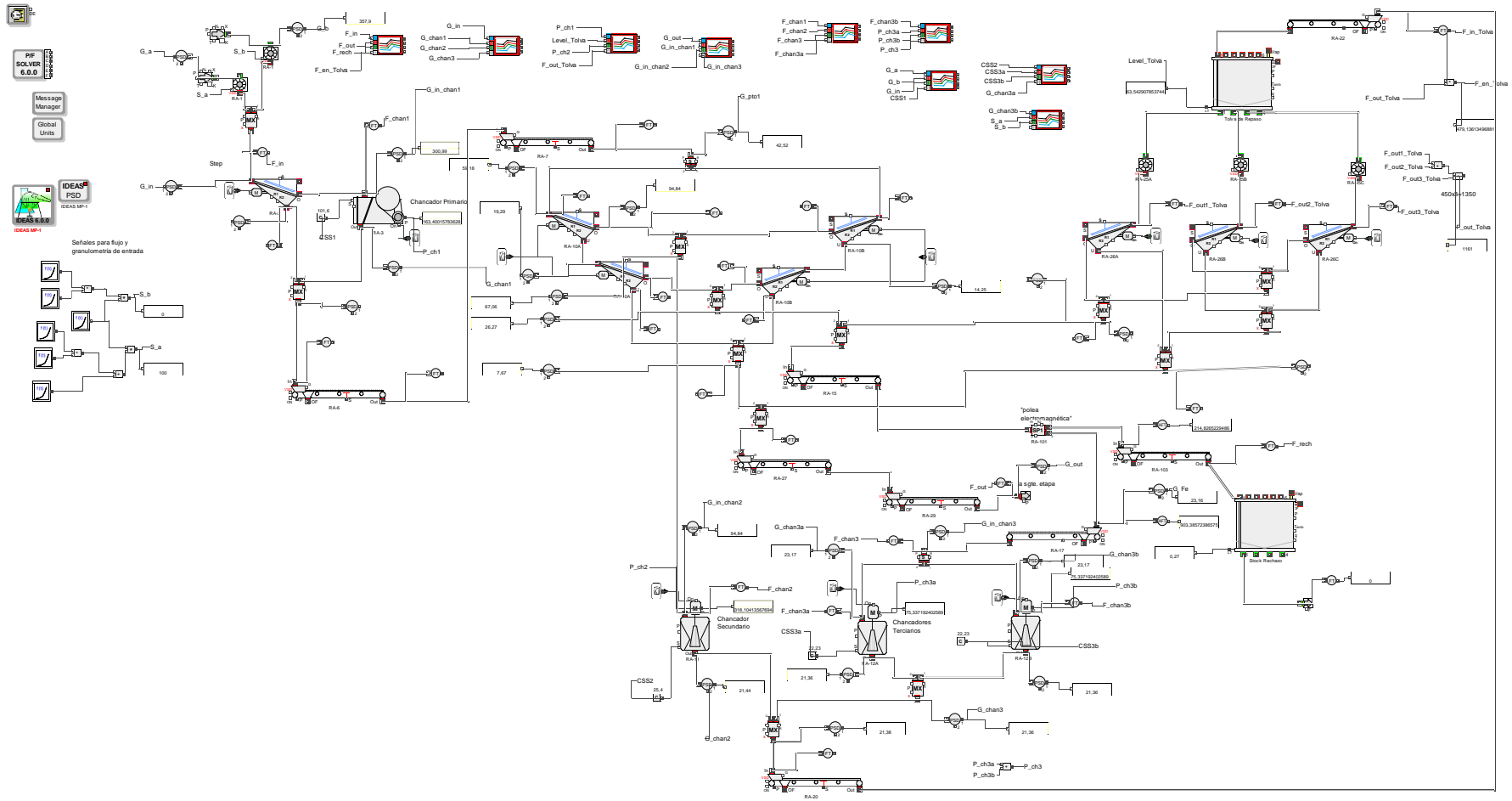


Figura 3.32: Worksheet Planta Circuito de Chancado Mina el Romeral

Para una mejor comprensión, estas son las definiciones de P80 y CSS:

- F80: Es el diámetro máximo de partícula para el 80% de las partículas en la alimentación.
- P80: Es el diámetro máximo de partícula para el 80% de las partículas del producto.
- CSS: Close Side Setting, es la abertura de lado cerrado de un chancador, se muestra en la Figura 3.33
- OSS: Open Side Setting, es la abertura de lado abierto de un chancador, como se muestra en la Figura 3.34

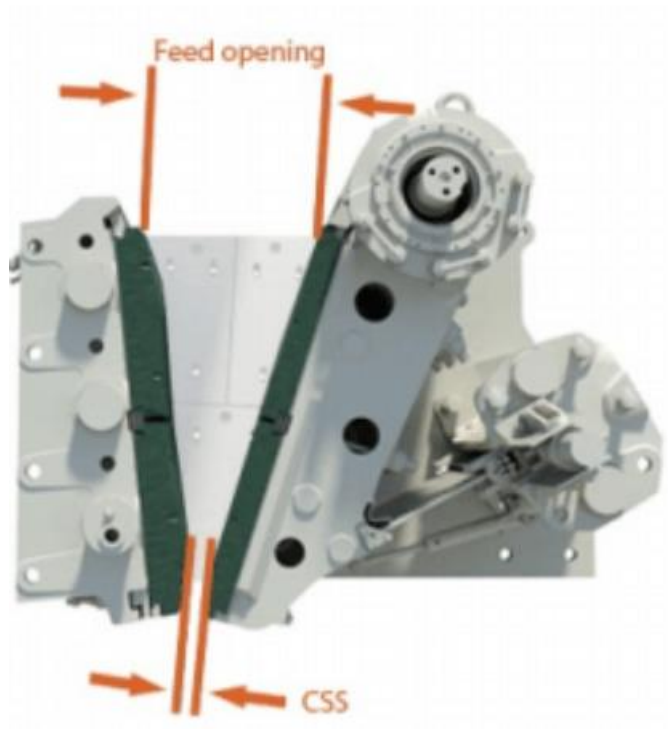


Figura 3.33: Abertura de alimentación y Close Side Setting

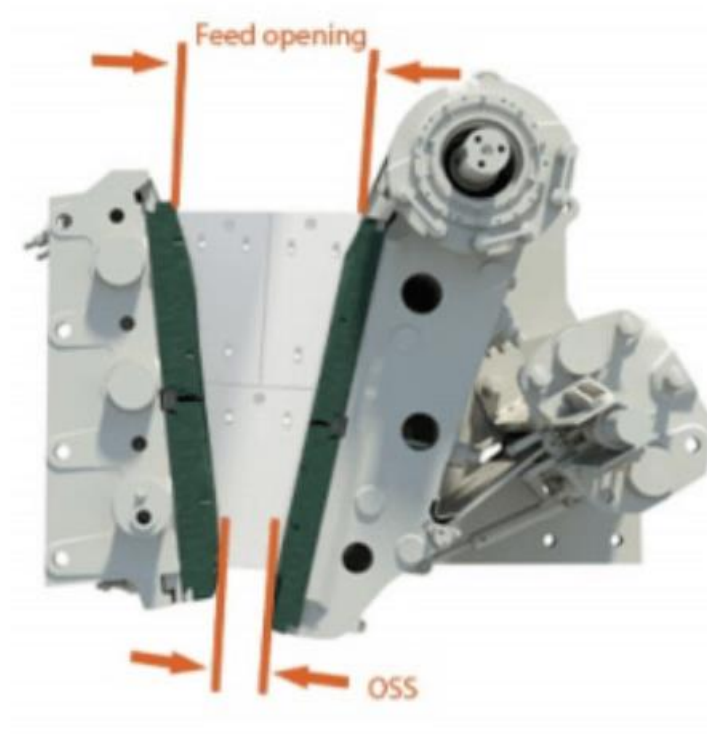


Figura 3.34: Abertura de Alimentación y Open Side Setting

En la Figura 3.32 se presenta worksheet que representa a la planta de chancado. Se realizarán 3 simulaciones en 3 escenarios distintos, con un tiempo de simulación de 1800[s] o más bien, 5 horas.

Los escenarios son los siguientes:

Tabla 3.24: Escenarios a simular

	Escenario 1.1	Escenario 1.2	Escenario 2
CSS Chancador Primario – RA-3	152.4[mm]	101.6[mm]	CSS Variable (Control PID)
CSS Chancador Secundario – RA-11	38.1[mm]	25.4[mm]	CSS Variable (Control PID)
CSS Chancador Terciarios – RA-12A y RA12B	28.58[mm]	22.23[mm]	CSS Variable (Control PID)

Donde los dos primeros escenarios (E 1.1 y E 1.2) son escenarios con CSS fijos y el escenario 2 (E 2) es el escenario controlado.

3.4. Condiciones Iniciales Comunes en las Simulaciones

Estos escenarios tienen en común la distribución de los minerales, el flujo de entrada y la granulometría de entrada. Los que se muestran a continuación:

3.4.1 Distribución de mineral

Se considera la siguiente distribución de mineral de entrada:

Tabla 3.25: Distribución de mineral d entrada

Mineral	Cantidad [%]
Magnetita – Óxido Ferroso-Férrico (Fe_3O_4)	63
Dióxido de Silicio (SiO_2)	23
Alúmina – Óxido de aluminio (Al_2O_3)	5
Monóxido de manganeso (MnO)	5
Dióxido de Titanio (TiO_2)	4

Donde 63% es magnetita (Fe_3O_4), 23% son óxidos de silicio (SiO_2) y el resto otros elementos menores.

3.4.2 Flujo de entrada

El flujo de entrada será del tipo escalón, con un escalón a los 9000[s], este irá entre los valores de 1300 y 1700. Se representa gráficamente en la Figura 3.35:

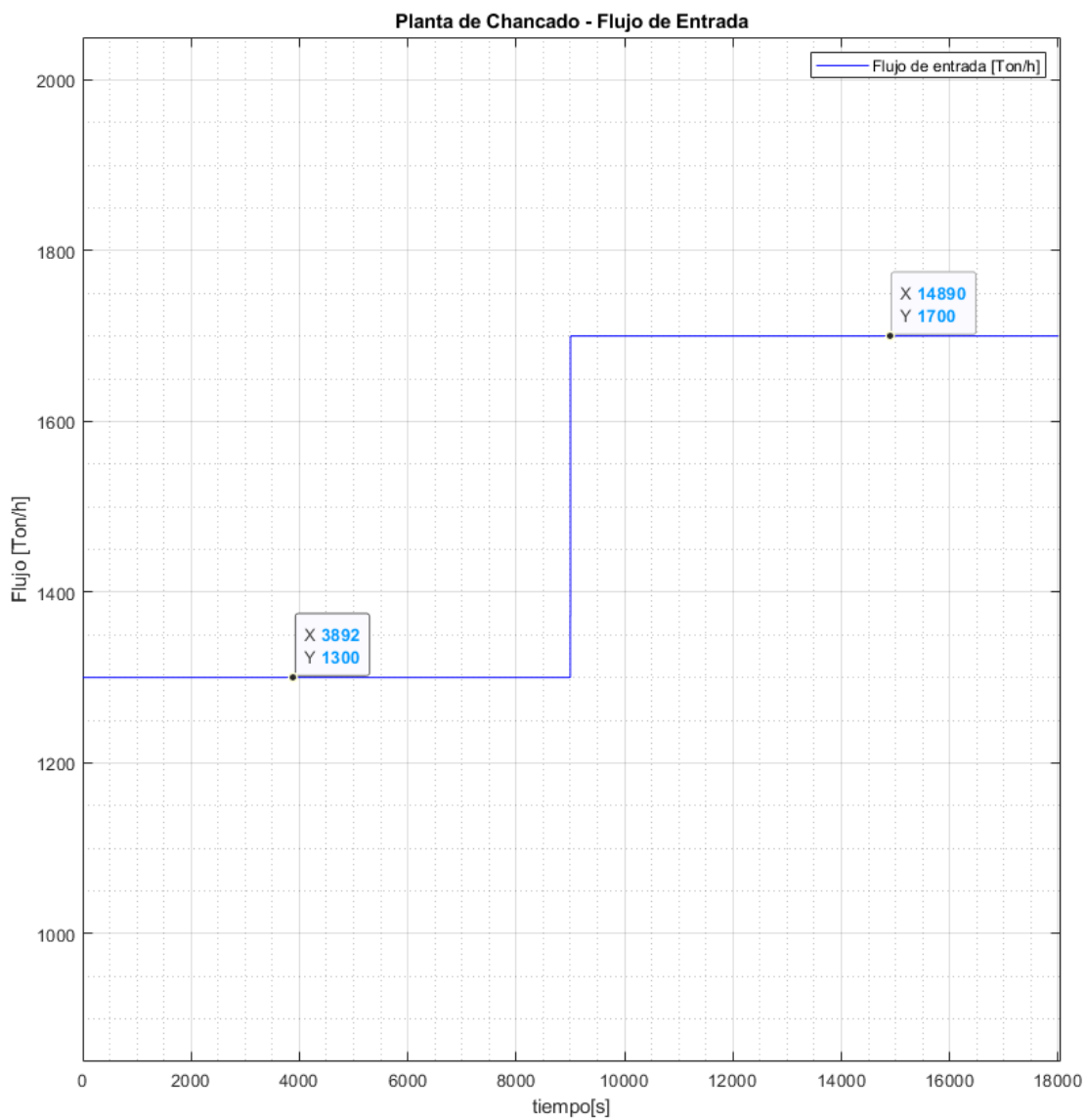


Figura 3.35: Flujo de entrada de material a la planta de chancado

Se resume en la tabla

Tabla 3.26: Flujo de entrada

	0[s]-4500[s]	4501[s]-9000[s]	9001[s]-13500[s]	13501[s]-18000[s]
Flujo [TPH]	1300[TPH]	1300[TPH]	1700[TPH]	1700[TPH]

3.4.3 Granulometría de entrada

Las granulometrías de entrada se presentan en la Tabla 3.27:

Tabla 3.27: Granulometría de entrada

Diámetro [mm]	Alimentación [%] entre 0[s]-4500[s]	Alimentación [%] entre 4501[s]-9000[s]	Alimentación [%] entre 9001[s]-13500[s]	Alimentación [%] entre 13501[s]-18000[s]
7.05	5	24,45	24,45	5
8.40	4	2,26	2,26	4
11.90	4	4,23	4,23	4
23.75	4	11,32	11,32	4
31.75	6	4,78	4,78	6
63.5	10	17,81	17,81	10
127.00	10	15,08	15,08	10
190.50	10	6,27	6,27	10
254.00	10	4,33	4,33	10
317.50	10	3,5	3,5	10
381.00	11	1,23	1,23	11
1016.00	16	4,76	4,76	16

Se alternará entre ambas granulometrías para ver su efecto en la planta. Se representan gráficamente evaluando su F80, es decir, el diámetro que tiene el 80% de la de roca. Se muestra a continuación en la Figura 3.36:

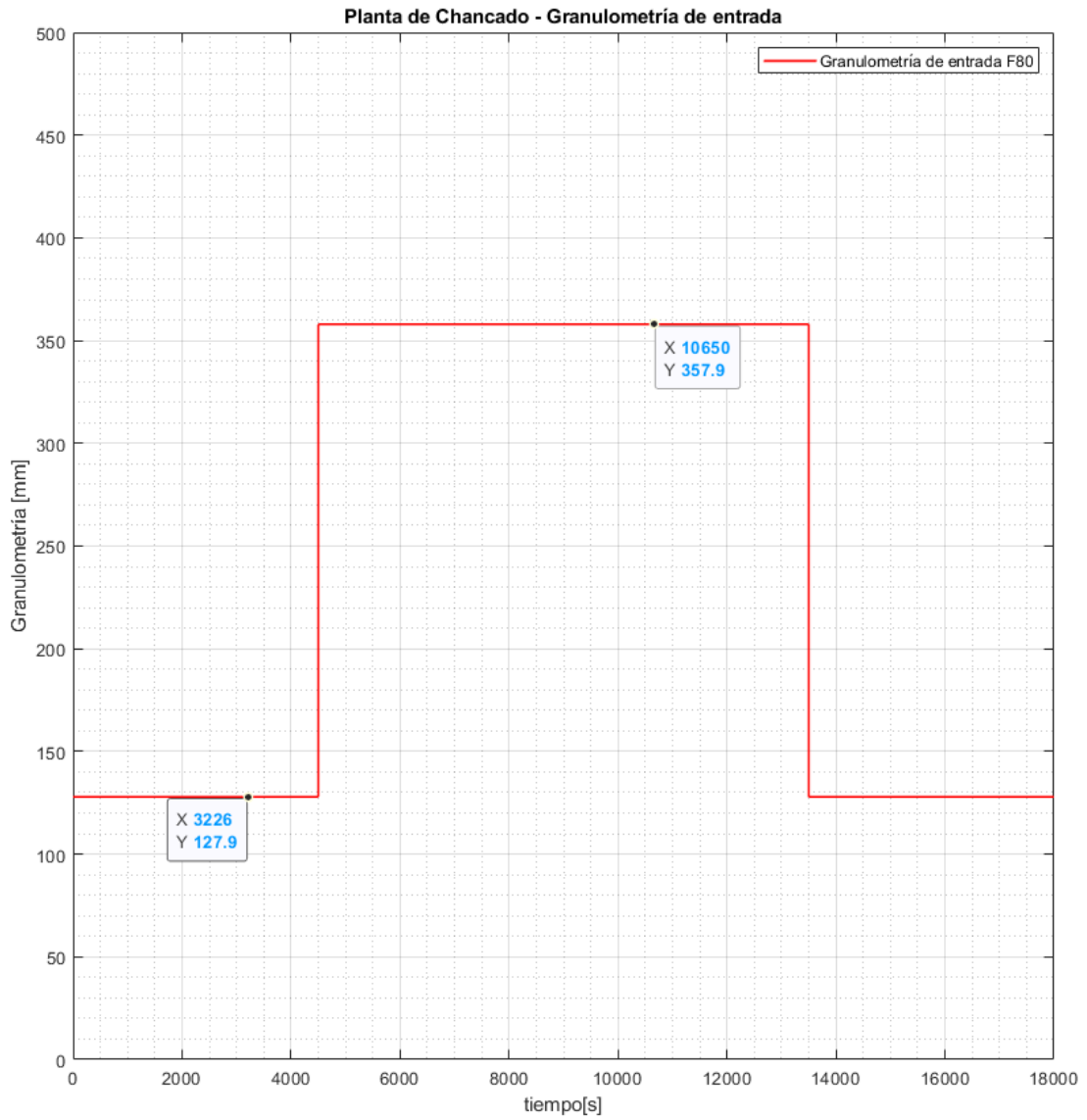


Figura 3.36: Granulometría de entrada

En la Tabla 3.28 se muestra la existencia de 4 etapas comunes a los 3 escenarios:

Tabla 3.28: Etapas comunes a los 3 escenarios

	Rango de tiempo	Granulometría F80	Flujo de entrada
Etapa 1	0[s]-4500[s]	127.9[mm]	1300[TPH]
Etapa 2	4501[s]-9000[s]	357.9[mm]	1300[TPH]
Etapa 3	9001[s]-13500[s]	357.9[mm]	1700[TPH]
Etapa 4	13501[s]-18000[s]	127.9[mm]	1700[TPH]

3.5. Simulación Escenario 1.1

Este escenario cuenta con las condiciones iniciales mencionadas anteriormente, pero difiere en que los Close Side Setting son fijos y están dados en la Tabla 3.29:

Tabla 3.29: Close Side Setting Escenario 1.1

Chancador	CSS [mm]
Primario – RA-3	152.4
Secundario – RA-11	38.1
Terciarios – RA-12A y RA12B	28.58

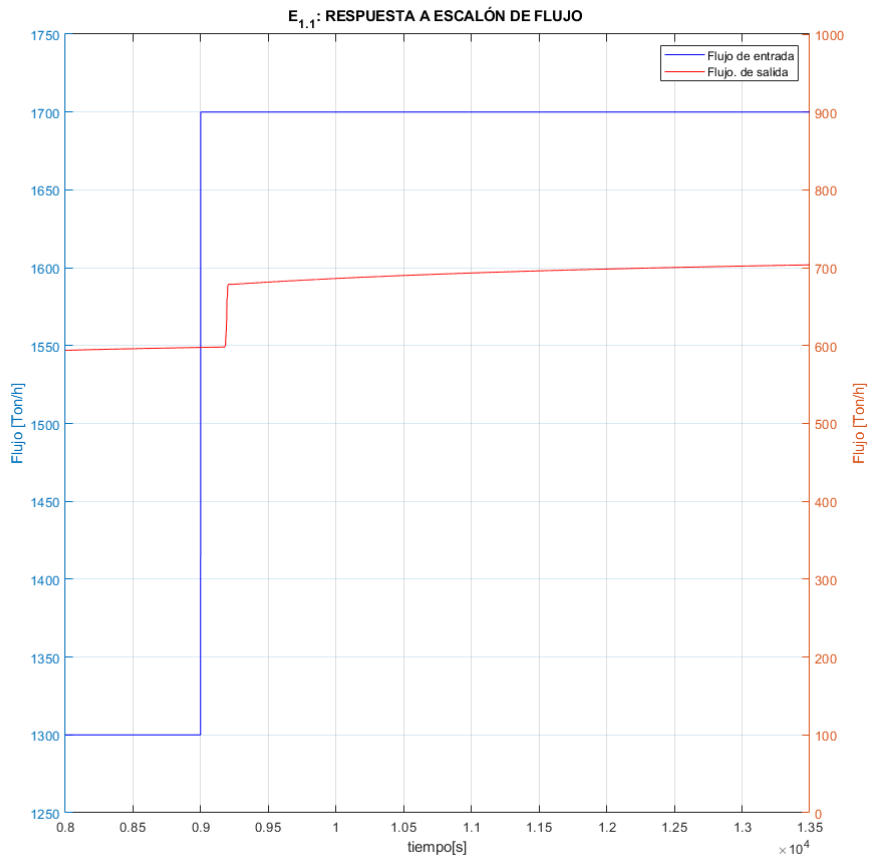


Figura 3.37: Respuesta a entrada escalón

Como se aprecia en la Figura 3.37 el sistema se comporta como un sistema de primer orden con retardo.

3.6. Simulación Escenario 1.2

Este escenario contempla lo mismo que el escenario anterior, los Close Side Setting también son fijos, pero son distintos:

Tabla 3.30: Close Side Setting Escenario 1.2

Chancador	CSS [mm]
Primario – RA-3	101.6
Secundario – RA-11	25.4
Terciarios – RA-12A y RA-12B	22.23

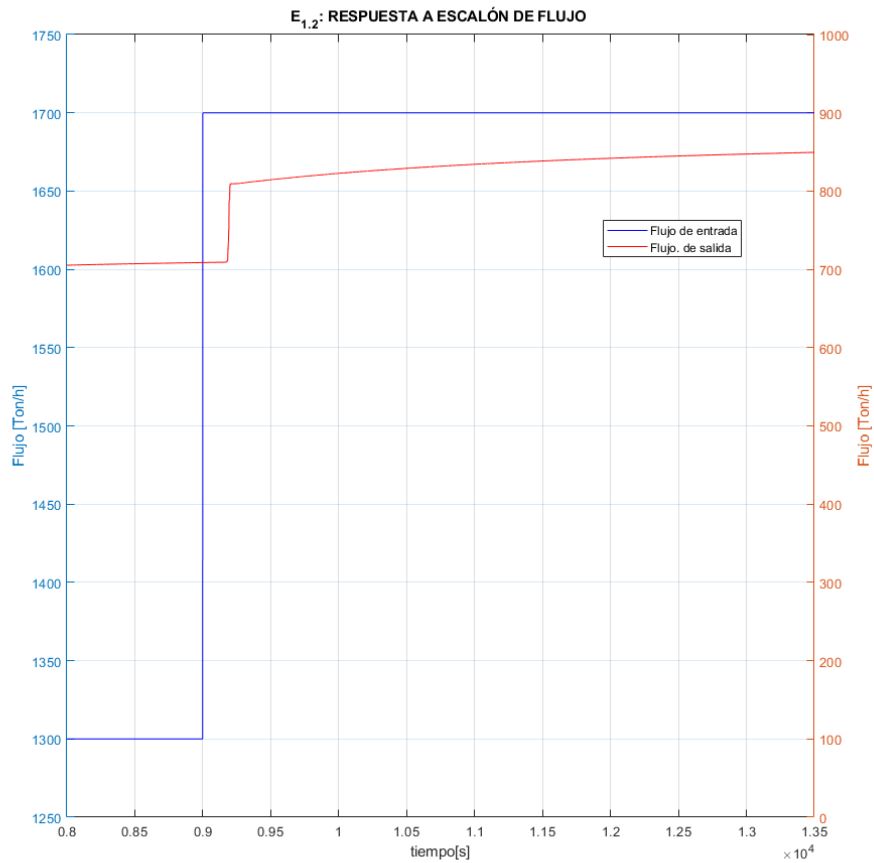


Figura 3.38: Respuesta a entrada escalón

Como se aprecia en la Figura 3.38 el sistema se comporta como un sistema de primer orden con retardo.

3.7. Simulación Escenario 2

En este escenario se efectuaron las siguientes optimizaciones:

- Control On/Off – Control de Nivel de Tolva de Repaso
- Control PID – Control de Granulometría de salida de chancadores (P80)

3.7.1 Control On/Off

Como los alimentadores RA-26A, RA-26B y RA-26C tienen un flujo máximo de 387[TPH], existen momentos en los que el flujo que ingresa a la tolva es mayor que el flujo de salida máximo de 1161[TPH] (3×387 [TPH]) lo que resulta en que la tolva corre el riesgo de coparse y rebalsarse, por lo que es conveniente implementar algún tipo de control, la estrategia escogida fue la de implementar un control tipo ON/OFF que tome el nivel de la tolva como variable de proceso y la entrada de material a la planta como la señal ON/OFF, es decir, al alcanzar cierto porcentaje máximo de llenado se reducirá la cantidad de material nuevo en la planta, y cuando se alcance cierto porcentaje mínimo de llenado, se volverá a aceptar la cantidad previa de material nuevo en la planta. Así la tolva de repaso no corre peligro de verse sobrepasada y el flujo de material a la salida de la planta se mantiene constante.

Definimos un control On/Off como sigue:

- Nivel en Tolva llega al 80% => Flujo de entrada disminuye al 20%
- Nivel en Tolva llega al 2% => Flujo de entrada aumenta al 100%

Se escogen arbitrariamente los límites de nivel de tolva (80% y 2%), ya que el objetivo de este control es mantener un flujo de material constante sin rebalsar la tolva.

La implementación se presenta en la Figura 3.39 y la Figura 3.40:

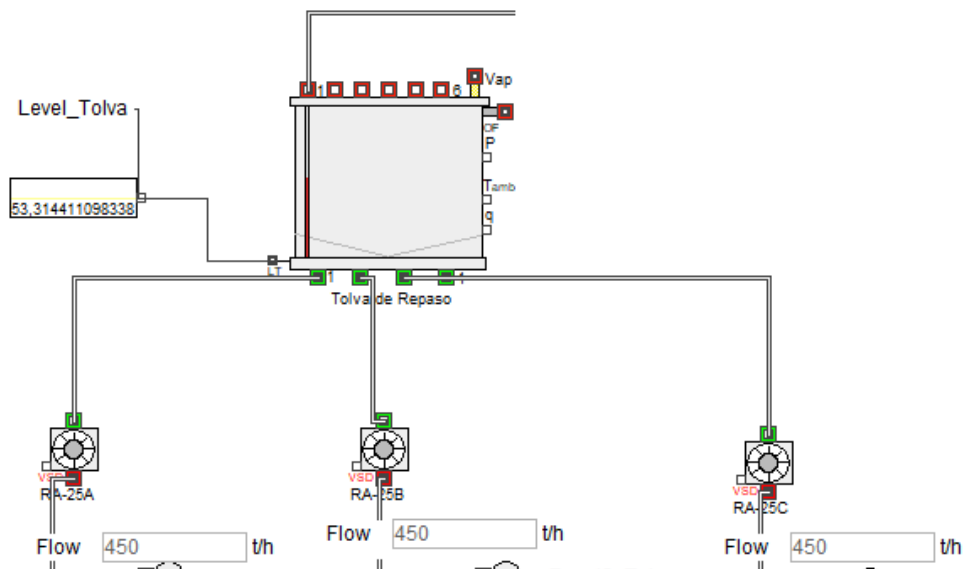


Figura 3.39: Tolva de repaso y alimentadores

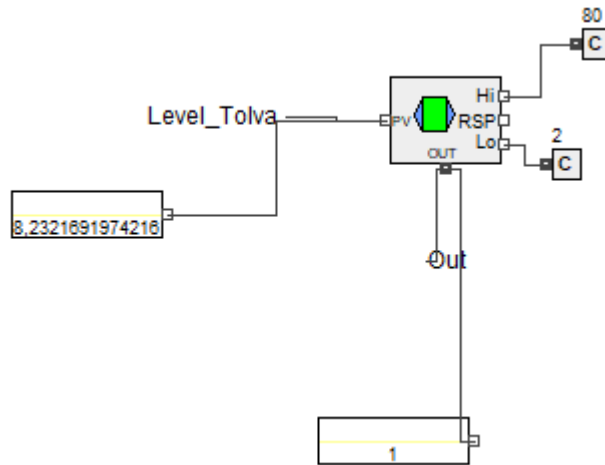


Figura 3.40: Objeto de control On/Off.

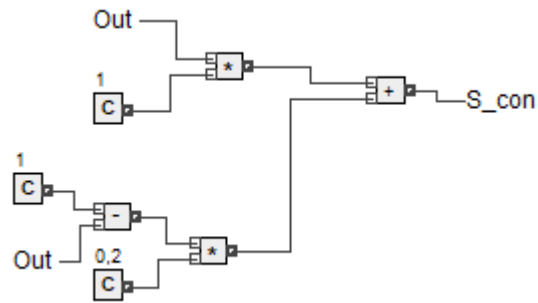


Figura 3.41: Señal de control enviada a la entrada para ejecutar el control sobre el flujo de entrada.

La Figura 3.41 muestra cómo se aplica la señal de control On/Off a la entrada. Esto es, cuando $Out=1$, es decir, el nivel del estanque está bajo el 80%, el flujo de entrada a la planta es completo. En cambio, cuando $Out=0$, es decir, el nivel del estanque está sobre el 80%, el flujo de entrada se reduce a un 20%.

3.7.2 Control PID de P80

Con el fin de obtener una distribución granulométrica fija a la salida de las distintas etapas de chancado, se implementa un control PID, en el que la variable de proceso es el P80 y la variable controlada es el CSS de cada chancador.

Para poder realizar esto, se sintonizaron los controladores de la siguiente manera:

Se utilizó MATLAB y sus herramientas PIDTuner y Plant Identification. Primero, usando Plant Identification se usaron los datos de dos señales, la entrada y la salida de la planta (esto vendría siendo el css y el p80 del chancador), luego la herramienta plant identification nos presenta una curva similar a la respuesta de la planta; finalmente la herramienta PIDTuner nos entrega un controlador para la planta identificada. Cabe destacar que uno puede ir sintonizando manualmente aspectos tanto de la planta identificada como del controlador. En el caso de la planta esto es su estructura (sistema de primer o segundo orden, con retardo, en espacio de estados de orden n, etc)

Cabe notar que, si bien las plantas identificadas no se corresponden totalmente con los datos, estas son una aproximación suficiente para encontrar los parámetros (K_c y τ_i) adecuados de los controladores.

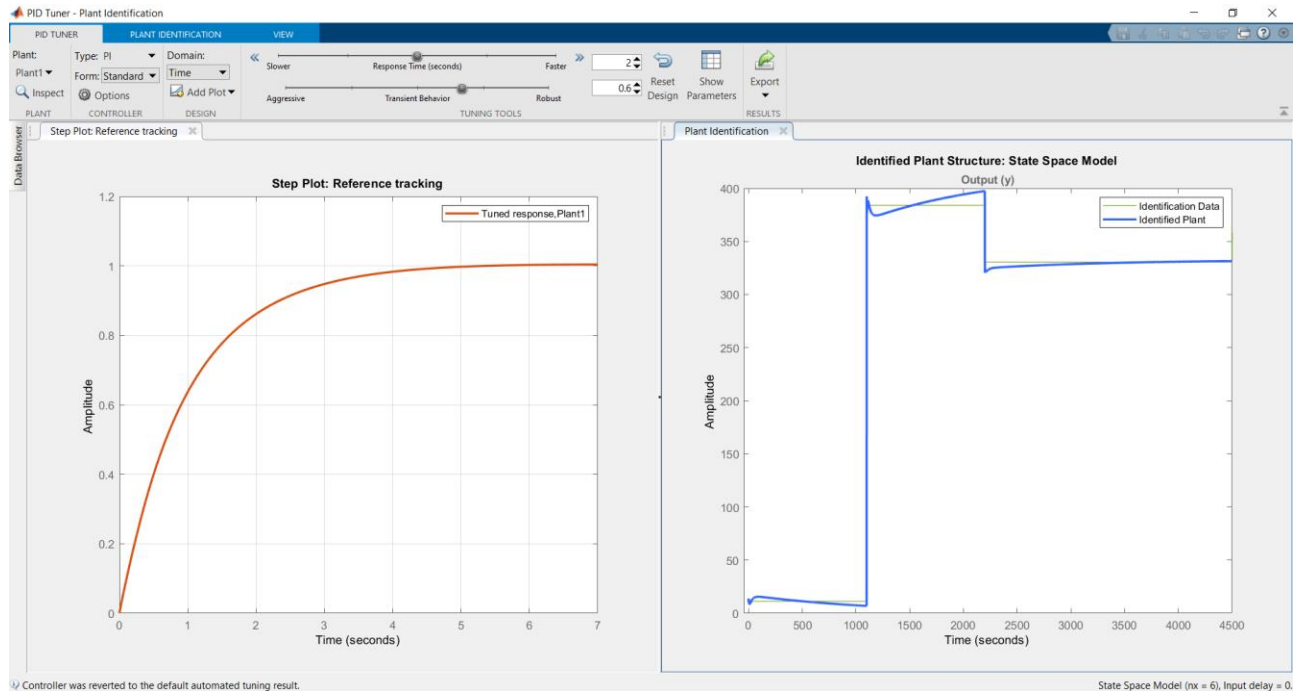


Figura 3.42: a) Respuesta con PID sintonizado y b) Estructura planta identificada; Chancador Primario

La identificación de la planta, en este caso el Chancador Primario, Figura 3.42 b), se realizó de la siguiente forma: primero, se generó una señal de entrada (CSS) en el simulador IDEAS y junto a la señal de salida (P80), se exportaron a un archivo Excel, luego se importan a MATLAB y utilizando la herramienta “pidTuner” se identifica/asocia a una planta, para finalmente recomendar un controlador. La respuesta con el controlador sintonizado se aprecia en la Figura 3.42 a) y los valores recomendados de K_p y T_i se muestran en la Figura 3.43.

Controller Parameters	
	Tuned
K_p	6.7217e-05
T_i	0.0001
T_d	n/a
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	2.24 seconds
Settling time	3.87 seconds
Overshoot	0.393 %
Peak	1
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	91.4 deg @ 1 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Figura 3.43: Características PID sintonizado; Chancador Primario

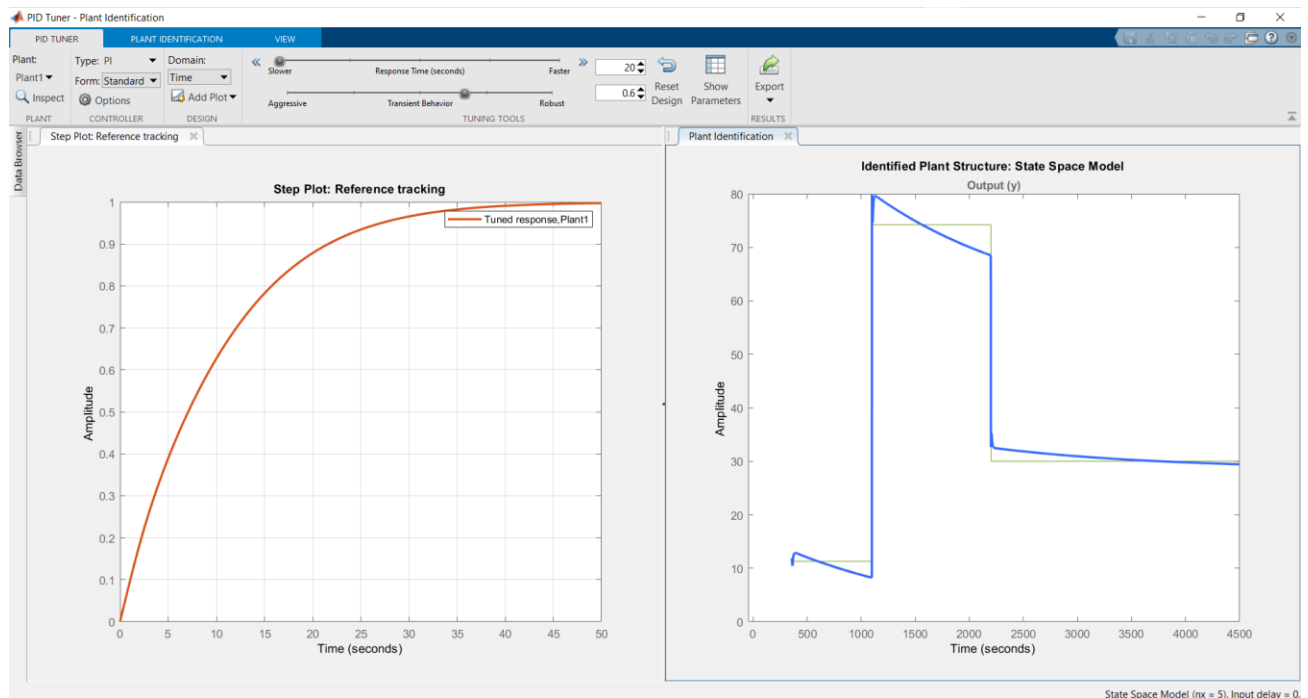


Figura 3.44: A) Respuesta con PID sintonizado y B) Estructura planta identificada; Chancador Secundario

La identificación de la planta, en este caso el Chancador Secundario, Figura 3.44 b), se realizó de la siguiente forma: primero, se generó una señal de entrada (CSS) en el simulador IDEAS y junto a la señal de salida (P80), se exportaron a un archivo Excel, luego se importan a MATLAB y utilizando la herramienta “pidTuner” se identifica/asocia a una planta, para finalmente recomendar un controlador. La respuesta con el controlador sintonizado se aprecia en la Figura 3.44a) y los valores recomendados de K_p y T_i se muestran en la Figura 3.45.

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	5.833e-05
Ti	0.001
Td	n/a
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	20.6 seconds
Settling time	34.1 seconds
Overshoot	0 %
Peak	0.998
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	87.1 deg @ 0.1 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Figura 3.45: Características PID sintonizado; Chancador Secundario

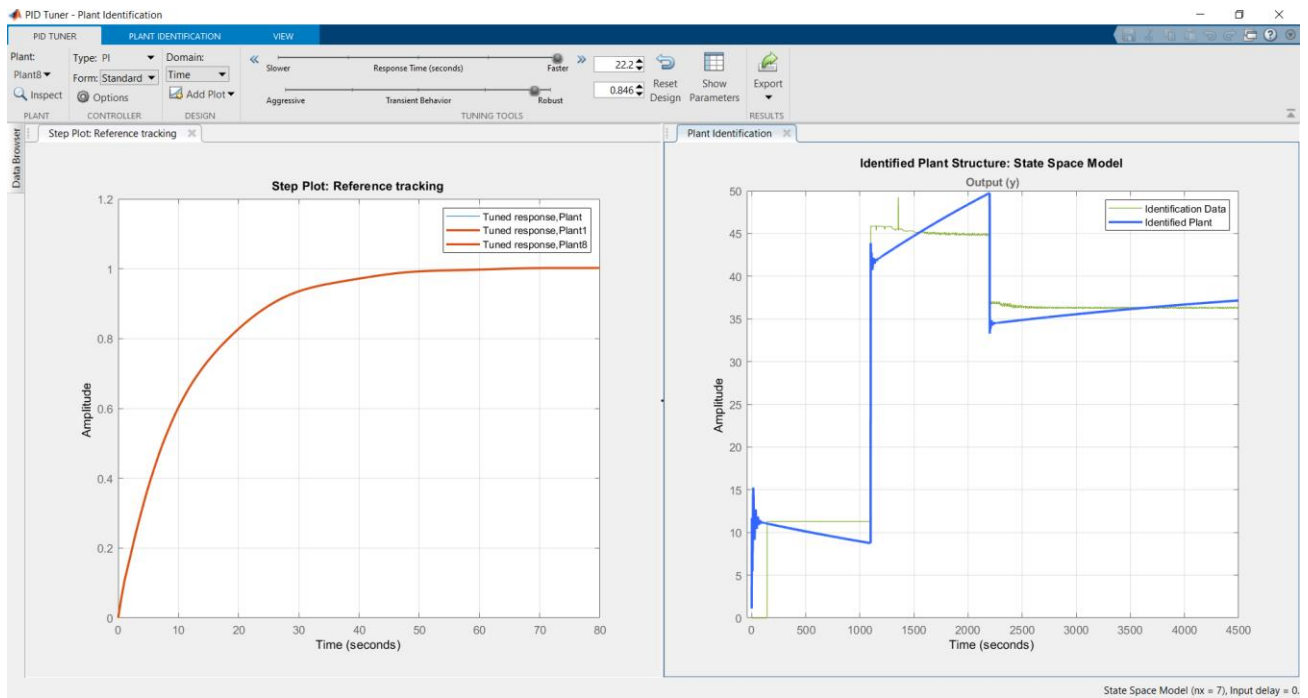


Figura 3.46: A) Respuesta con PID sintonizado y B) Estructura planta identificada; Chancador Terciario

Controller Parameters	
	Tuned
K_p	9.7625e-05
T_i	0.00111
T_d	n/a
N	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	24.6 seconds
Settling time	43.1 seconds
Overshoot	0.335 %
Peak	1
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	91.3 deg @ 0.0901 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Figura 3.47: Características PID sintonizado; Chancador Terciario

La identificación de la planta, en este caso el Chancador Terciario, Figura 3.47b), se realizó de la siguiente forma: primero, se generó una señal de entrada (CSS) en el simulador IDEAS y junto a la señal de salida (P80), se exportaron a un archivo Excel, luego se importan a MATLAB y utilizando la herramienta “pidTuner” se identifica/asocia a una planta, para finalmente recomendar un controlador. La respuesta con el controlador sintonizado se aprecia en la Figura 3.46a) y los valores recomendados de K_p y T_i se muestran en la Figura 3.47.

Se hace una transformación a la constante T_i considerando la fórmula usada por el objeto “Controller PID” de IDEAS™:

$$v_n = v_{n-1} + K_c \left[(e_n - e_{n-1}) + \frac{T}{\tau_i} e_n + \frac{\tau_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right] \quad (3-1)$$

Comparando con la ecuación PID estándar

$$u_k = u_{(k-1)} + K_c \left[(e_k - e_{k-1}) + \frac{T}{2\tau_i} (e_k + e_{k-1}) + \frac{\tau_D}{T} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \right] \quad (3-2)$$

Notamos una diferencia con respecto al término relacionado a τ_i :

$$\frac{T}{\tau_{i_{IDEAS}}} e_n = \frac{T}{2\tau_{i_{Literatura}}} (e_k + e_{k-1}) \quad (3-3)$$

Despreciando el error anterior, haciendo $k = n$ y simplificando:

$$\frac{T}{\tau_{i_{IDEAS}}} e_n = \frac{T}{2\tau_{i_{Literatura}}} e_n \quad (3-4)$$

$$2 \cdot \tau_{i_{Literatura}} = \tau_{i_{IDEAS}} \quad (3-5)$$

Considerando además que τ_i en IDEAS está en minutos y en la literatura está en segundos:

$$\tau_{i_{IDEAS}} = (\tau_{i_{Literatura}} \cdot 2)/60[s] \quad (3-6)$$

Así, los controladores PID (PI) quedan de la forma descrita en Tabla 3.31:

Tabla 3.31: Parámetros PID's

	K_p	τ_i
PID_1	6.7×10^{-5}	$3.3 \times 10^{-6} \left[\frac{min}{rep} \right]$
PID_2	5.8×10^{-5}	$3.3 \times 10^{-5} \left[\frac{min}{rep} \right]$
PID_3	9.8×10^{-5}	$3.7 \times 10^{-5} \left[\frac{min}{rep} \right]$

Se definen los setpoints de cada chancador como se muestra en la Tabla 3.32:

Tabla 3.32: Setpoints E2

Chancado	Setpoint P80
Primario – RA-3	100 [mm]
Secundario – RA-11	17.5 [mm]
Terciario – RA12A y RA12B	12.5 [mm]

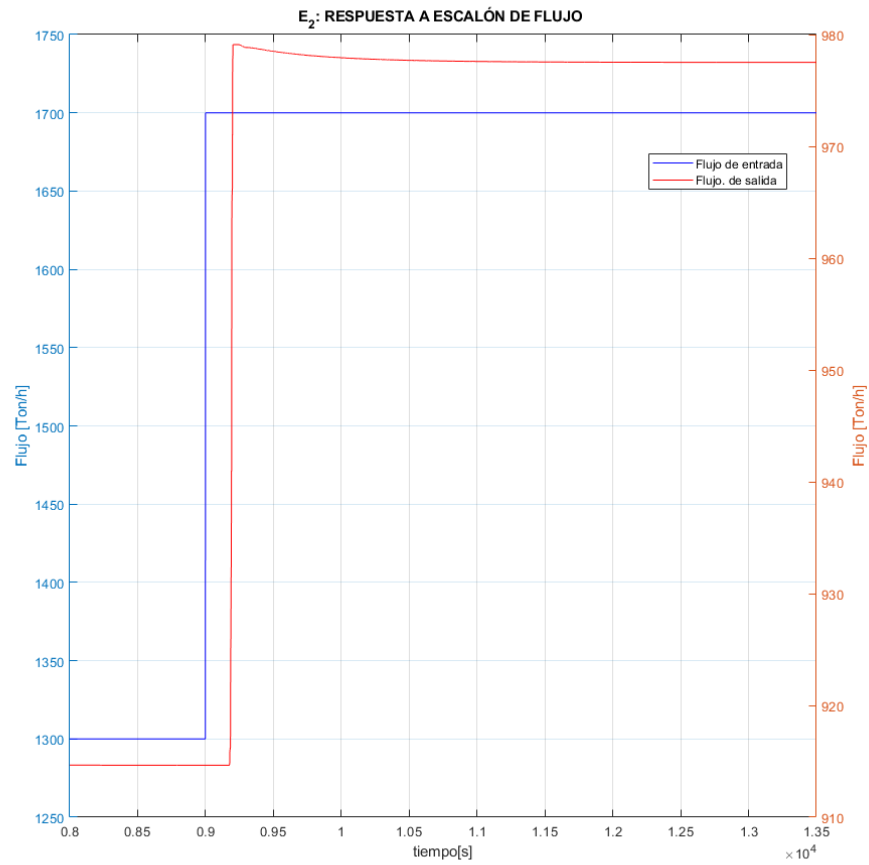


Figura 3.48: Respuesta a entrada escalón

En la Figura 3.48 se puede ver que el sistema se comporta similar a uno de primer orden con retardo, con la salvedad de que tiene un sobrepaso.

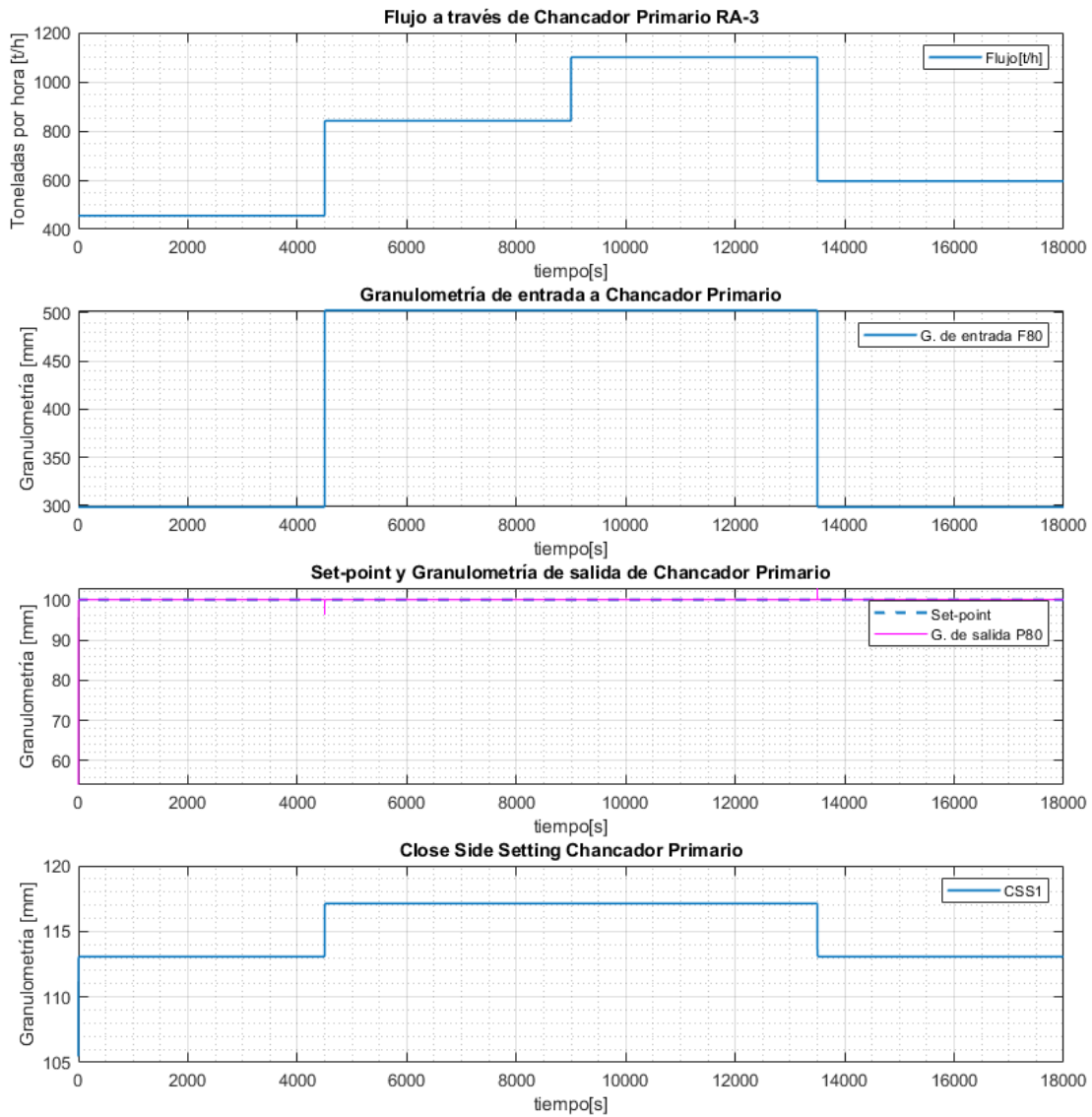


Figura 3.49: a) Flujo en Chancador Primario RA-3, b) Granulometría de entrada (F80) c) Setpoint y Granulometría de salida (P80) d) Close side setting Chancador Primario

Como se aprecia en la Figura 3.49, a pesar de los cambios en granulometría de entrada (F80) Figura 3.49 b) y los cambios en el flujo de entrada Figura 3.49 a), la variable de proceso (granulometría de salida P80) Figura 3.49 c) sigue al setpoint Figura 3.49 c).

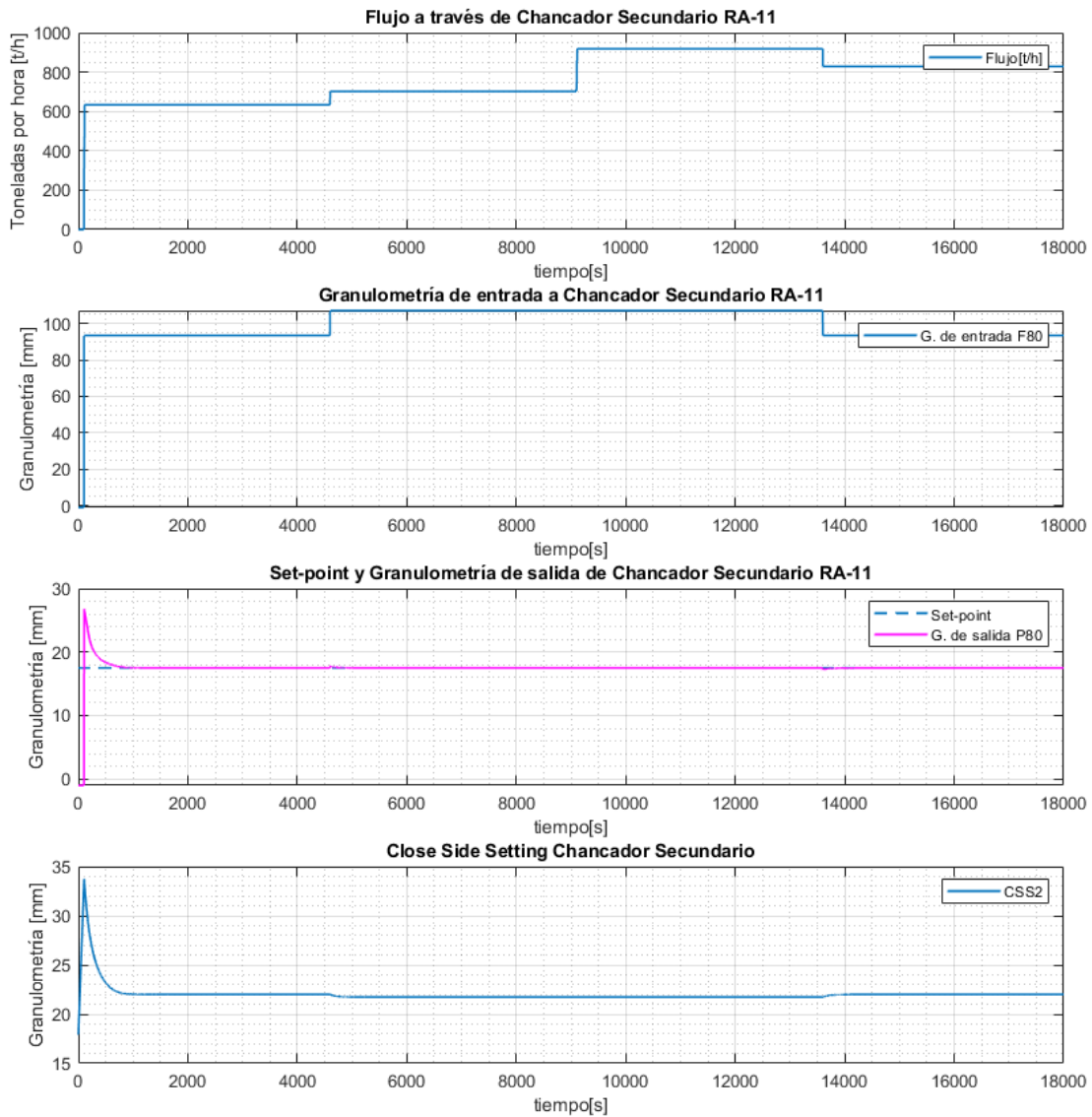


Figura 3.50: a) Flujo en Chancador Secundario RA-11, b) Granulometría de entrada (F80), c) Setpoint y Granulometría de salida (P80), d) Close side setting Chancador Primario.

Como se aprecia en la Figura 3.50 a pesar de los cambios tanto en el flujo a través del chancador como en la granulometría de entrada a este, se puede controlar la variable de proceso mostrada en Figura 3.50 c)

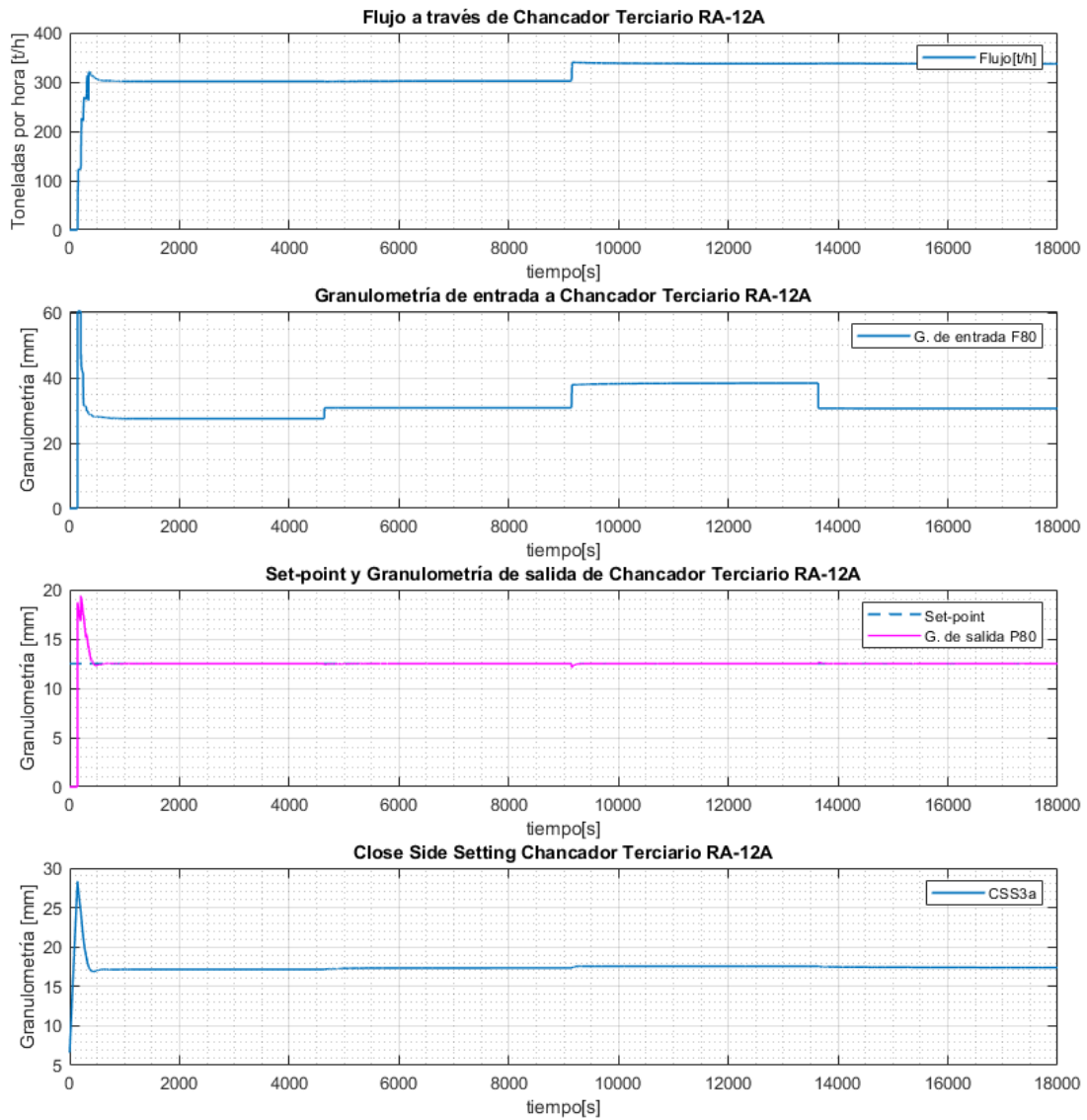


Figura 3.51: a) Flujo en Chancador Terciario RA-12A, b) Granulometría de entrada (F80) c) Setpoint y Granulometría de salida (P80), d) Close side setting Chancador Terciario.

Nuevamente notamos, en la Figura 3.51 c), que el P80 se mantiene en el setpoint requerido, en este caso en 12.5[mm].

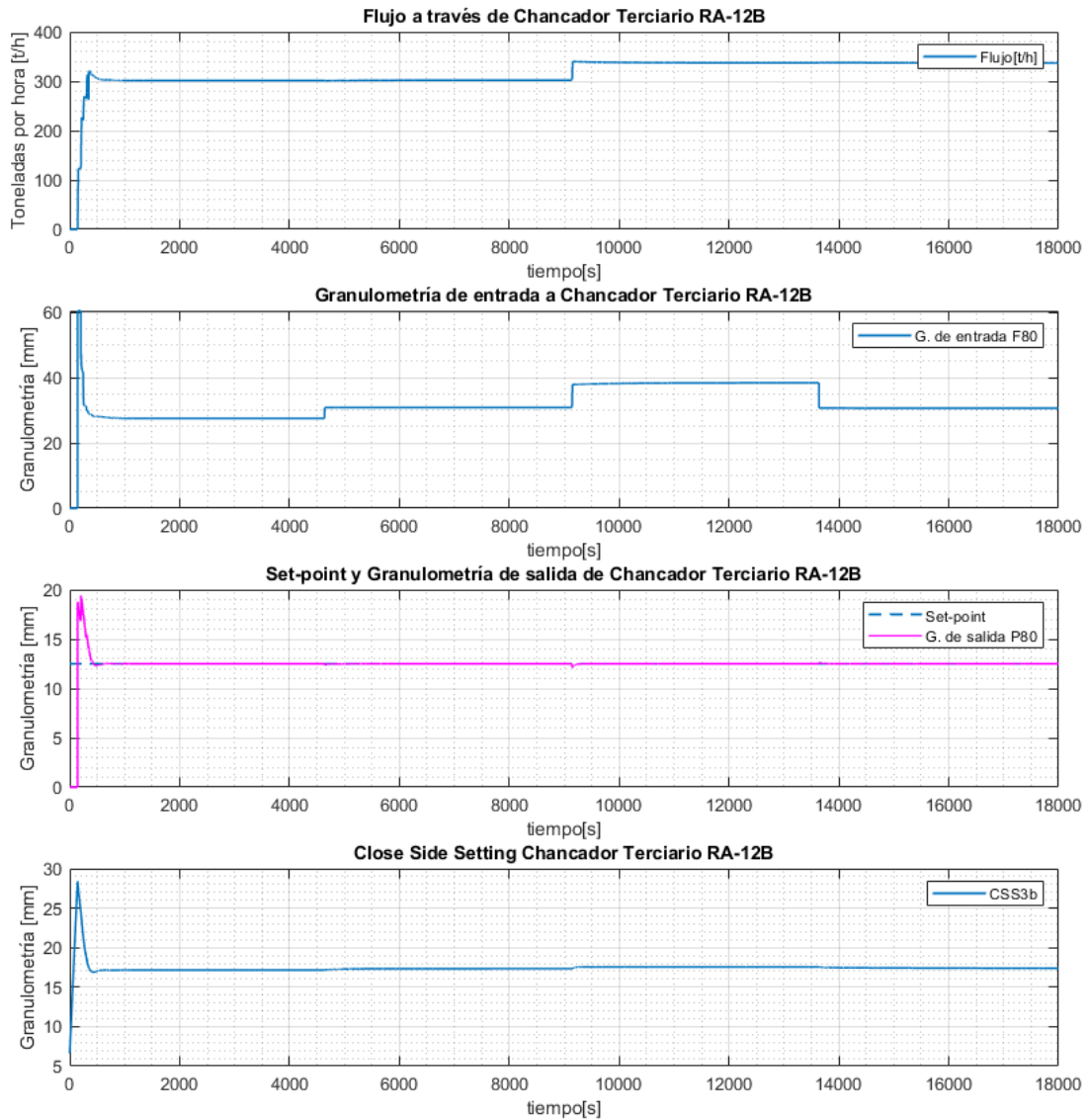


Figura 3.52: a) Flujo en Chancador Terciario RA-12B, b) Granulometría de entrada (F80) c) Setpoint y Granulometría de salida (P80), d) Close side setting Chancador Terciario.

En la Figura 3.52 se aprecia una situación similar a la mostrada en la Figura 3.51, es decir, el PV sigue al setpoint a pesar de los cambios en la granulometría de entrada (F80) y a los cambios en el flujo a través del chancador.

En las figuras anteriores (Figura 3.49 a Figura 3.52) se aprecia que el control PID ha sido exitoso en controlar la granulometría de salida, es decir los PV siguen a los setpoint adecuadamente.

3.7.3 Worksheet Escenario 2 – Control On/Off + Control PID

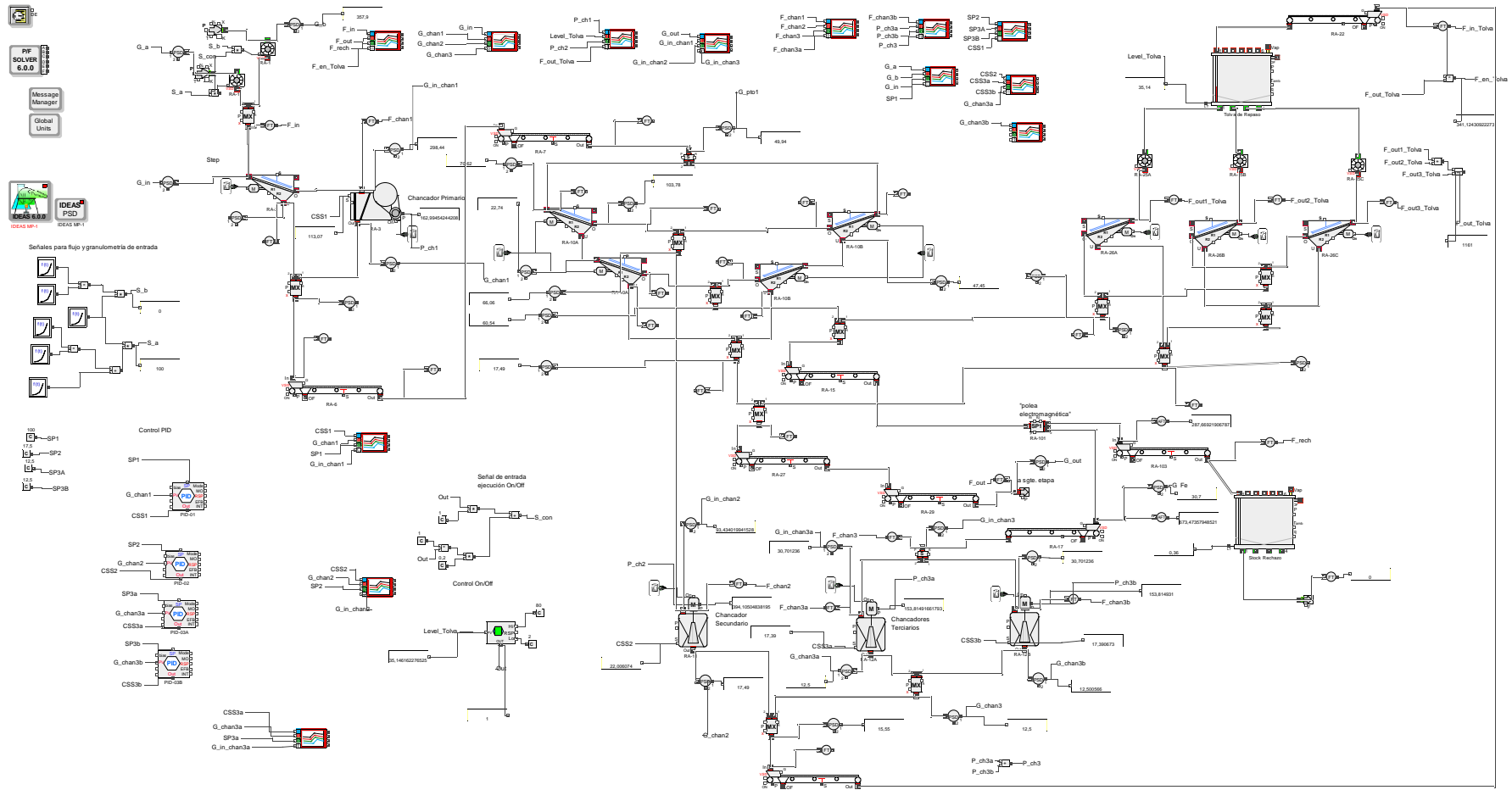
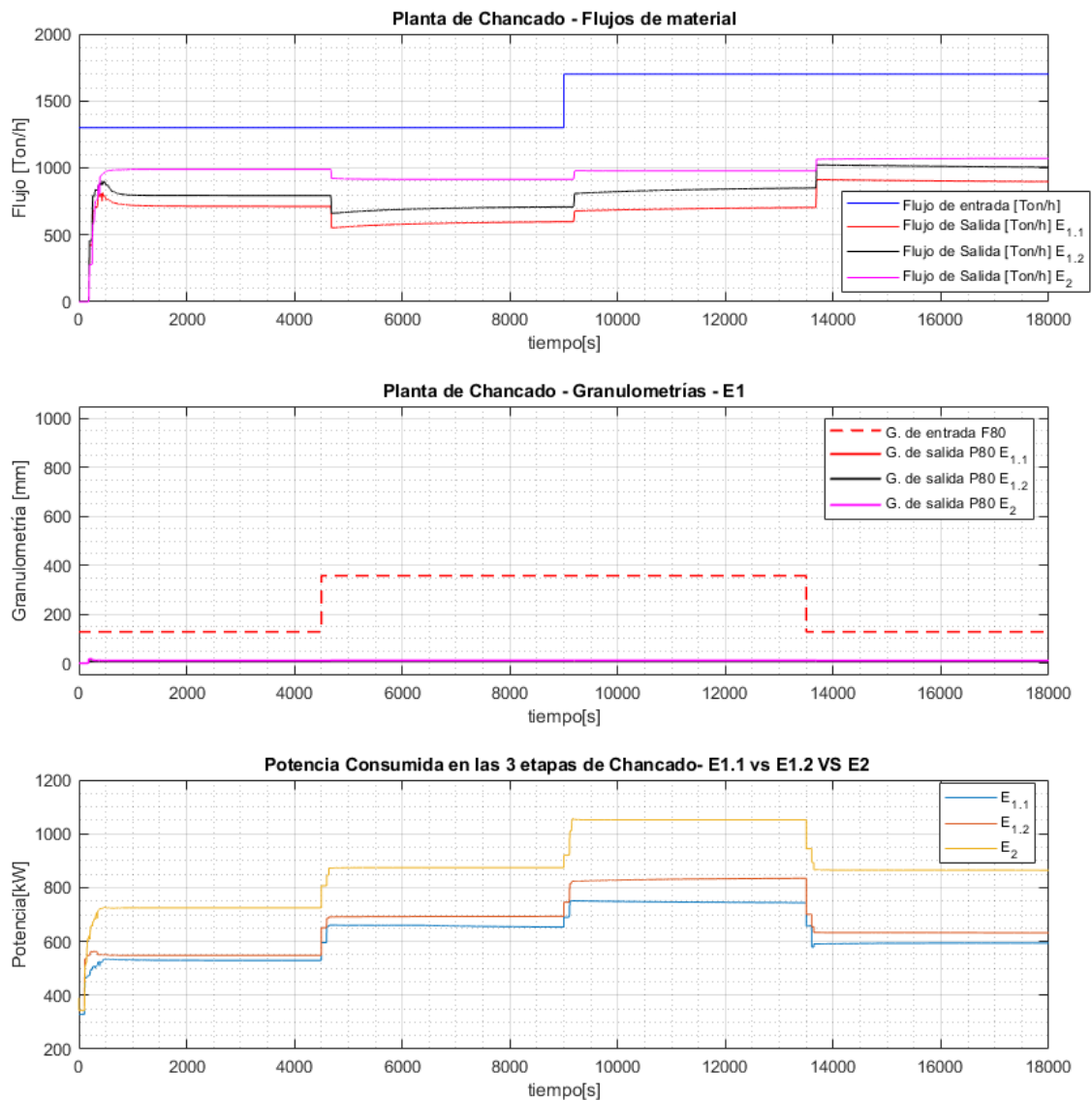


Figura 3.53: Worksheet Planta Controlada – Control On/Off – Control PID

3.8. Resultados

Se comparan los flujos, granulometrías, y potencias y notamos que en el escenario controlado aumenta el flujo de material a través de la planta, mejor dicho, aumenta el flujo de salida. Esto se



muestra en la Figura 2.4 a)

Figura 3.54: a) Flujos, b) Granulometrías, c) Potencia consumida

Esto funciona con el costo de utilizar una mayor potencia en cada una de las cuatro etapas de simulación de cada escenario:

Las etapas son las mostradas en Tabla 3.33:

Tabla 3.33: Etapas de Simulación

	Rango de tiempo	Granulometría F80	Flujo de entrada
Etapa 1	0[s]-4500[s]	127.9[mm]	1300[TPH]
Etapa 2	4501[s]-9000[s]	357.9[mm]	1700[TPH]
Etapa 3	9001[s]-13500[s]	357.9[mm]	1700[TPH]
Etapa 4	13501[s]-18000[s]	127.9[mm]	1300[TPH]

Tabla 3.34: Potencias utilizadas por los 3 procesos de chancado durante cada etapa de cada escenario

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Escenario 1.1	529.6[kW]	656.8[kW]	747[kW]	592.2[kW]
Escenario 1.2	548.2[kW]	692.8[kW]	830.4[kW]	632.8[kW]
Escenario 2	724.6[kW]	874.1[kW]	1052[kW]	865[kW]

Tabla 3.35: Flujos de salida en cada escenario durante cada etapa.

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Escenario 1.1	712.8[TPH]	589.7[TPH]	692[TPH]	909.2[TPH]
Escenario 1.2	793.2[TPH]	701.1[TPH]	932.3[TPH]	1019[TPH]
Escenario 2	989.3[TPH]	914.7[TPH]	977.6[TPH]	1067[TPH]

Así, como muestran la Tabla 3.34 y la Tabla 3.35, un aumento en el flujo de salida conlleva un aumento en la potencia utilizada para generarlo. Por ejemplo, en la Etapa 1 (F80=127.9[mm]; Flujo de entrada=1300[TPH]) se puede hacer una comparación entre el Escenario 1.1 (CSS Fijo) y el Escenario 2 (CSS Variable, P80 Controlado) notando que 529.6[kW] resultan en un flujo de 712.8[TPH] y 724.6[kW] resultan en un flujo de 989.3[TPH] respectivamente. Así un incremento en 36.77% en la potencia resulta en un aumento de 38.75% en el flujo de salida.

Mas detalladamente mostrado en la Tabla 3.36

Tabla 3.36: Comparación Energía utilizada y flujo de salida; Escenario 1.1 vs Escenario 2

	Escenario 1.1		Escenario 1.2		Escenario 2	
	Potencia	Flujo de salida	Potencia	Flujo de salida	Potencia	Flujo de salida
Etapa 1	529.6[kW]	712.8[TPH]	548.2[kW]	793.2[TPH]	724.6[kW]	989.3[TPH]
Etapa 2	656.8[kW]	589.7TPH]	692.8[kW]	701.1[TPH]	874.1[kW]	914.7[TPH]
Etapa 3	747[kW]	692[TPH]	830.4[kW]	832.3[TPH]	1052[kW]	977.6[TPH]
Etapa 4	592.2[kW]	909.2[TPH]	632.8[kW]	1019[TPH]	865[kW]	1067[TPH]

Capítulo 4. Conclusiones

4.1. Sumario

Se utilizó el software IDEAS™ para simular la planta de Chancado de Mina “El Romeral”. Se comenzó por aprender el software con los tutoriales Bronze [1], Gold [2], el manual de IDEAS™ [3], el help de IDEAS™ y con “Simulación de Etapas de Chancado y Molienda de Planta Concentradora de Cobre con Software IDEAS™ Andritz Automation” [4]. Luego siguiendo un procedimiento similar al mostrado en [7] se procedió a simular el circuito de chancado, incluyendo uno a uno sus objetos y configurándolos según la información de estos encontrada en “Desarrollo de software para el estudio y optimización de la planta de chancado de la mina El Romeral” [5]. Luego de tener simulado el circuito se procedió a realizar algunas optimizaciones, tales como, controlar el nivel de la tolva de repaso mediante un control On/Off y también un control de la granulometría de salida de los chancadores (P80) mediante un controlador PI por chancador. La sintonización del control PI se realizó mediante la herramienta “PIDTuner” la cual se encuentra en MATLAB.

4.2. Conclusiones

El software IDEAS es sencillo de aprender y permite simular procesos complejos, como la planta de chancado de minas “El Romeral” expuesta en este trabajo. En general, teniendo los datos de cada equipo relevante de un proceso resulta sencillo configurar los objetos y así simular una planta cualquiera. Dentro del mismo software existe un objeto llamado “Plotter” con el cual se pueden graficar variables interés para su posterior análisis, pero también tal como fue mostrado dentro de este informe, es posible exportar los datos y trabajarlos dentro de otros softwares de análisis como MATLAB.

Respecto al proceso en análisis, es posible concluir que, al definir menores valores de CSS (close side setting) se produce un mayor consumo energético de la planta de chancado, pero aumenta el flujo de mineral a la salida del proceso. Esto se produce entre otros motivos porque hay menor material recirculante, al conseguir menor P80 a la salida de cada uno de los 3 procesos de chancado de la planta.

Es relevante mencionar que el uso conjunto de MATLAB e IDEAS permite obtener la identificación de una planta que, bajo otros métodos de identificación de parámetros puede resultar más complejo. Lo anterior, permitió lograr el control de la planta de chancado, manejando el CSS de

los 4 chancadores a través de un control PID y usando control ON/OFF para mantener dentro de rango el nivel de la Tolva de Repaso. En particular, se observa de las simulaciones que, al incluir exitosamente las mencionadas estrategias de control, es posible optimizar la planta de chancado, esto es aumentar el flujo de salida para una granulometría y flujo de entrada dados.

Una última conclusión es que el control PI mantiene la granulometría de salida de cada chancador constante a pesar de los cambios en la granulometría de entrada y en el flujo de entrada.

4.3. Trabajo Futuro

Como trabajo futuro restaría controlar las variables del proceso para algunos setpoint de granulometría de salida y flujo de salida.

Glosario

Bond Work Index	: Índice de trabajo de Bond, entrega la potencia requerida para moler un material desde un tamaño teóricamente infinito hasta el tamaño tal que pase un 80% los 100micrones, permitiendo así hacer una buena estimación de la energía necesaria para la molienda [kWh/t].
<i>CAP</i>	: Compañía de acero del Pacífico.
Chancador	: es una máquina que procesa un material de forma que produce dicho material con trozos de un tamaño menor al tamaño original.
Conminución	: Indica la reducción de tamaño de un material de dimensiones de partícula promedio a un tamaño de partícula inclusive más pequeño, mediante de trituración, chancado, molienda y otros.
<i>CMP</i>	: Compañía Minera del Pacífico.
<i>CSS</i>	: Ajuste mínimo de distancia lateral [mm] (Close Side Setting)
C.I.	: Condiciones Iniciales.
<i>ET</i>	: Eccentric throw [mm].
F_{80}	: Tamaño del 80% del diámetro del mineral que ingresa al chancador.
Granulometría	: Distribución de tamaño de partícula.
<i>HP</i>	: Horse Power.
<i>LLEN</i>	: Longitud de la cara del manto externo [mm].
<i>LHR</i>	: Tiempo de uso del chancador [h].
<i>PID</i>	: Proporcional, Integral, Derivativo.
<i>PSD</i>	: Particle Size Distribution, Granulometría.
<i>PIB</i>	: Producto Interno Bruto.
P_{80}	: Tamaño del 80% del diámetro del mineral que sale del chancador.
<i>RPM</i>	: Revoluciones por minuto.
<i>SONAMI</i>	: Sociedad Nacional de Minería.
<i>TM</i>	: Tonelada métrica.
<i>TPH</i>	: Rendimiento de toneladas procesadas de mineral seco [t/h].
<i>VSD</i>	: Variable Speed Drive.

Referencias

- [1] EducarChile, “*Conceptos básicos de preparación mecánica de minerales*”, Ministerio de Educación, Gobierno de Chile, Santiago, Chile, 2013 [Online] Disponible: http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_odas_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf .
- [2] Raúl Pino Villalobos, “Desarrollo de software para el estudio y optimización de la planta de chancado de la mina El Romeral,” Memoria de Título, Ing. Civil Electrónica, Depto. De Ing Eléctrica, Universidad de Concepción, Chile, Sept. 1987.
- [3] (2022) Compañía Minera del Pacífico, dirección <https://www.cmp.cl>
- [4] *IDEAS Gold Mineral Processing Tutorial*, ANDRITZ Automation, Decatur, Georgia, USA, Enero 2013.
- [5] *IDEAS Bronze Mineral Processing Tutorial*, ANDRITZ Automation, Decatur, Georgia, USA, Enero 2013.
- [6] *IDEAS User Manual*, ANDRITZ Automation, Decatur, Georgia, USA, Sept 6, 2013.
- [7] Jonathan Nicolás López Sáez, “Simulación de Etapas de Chancado y Molienda de Planta Concentradora de Cobre con Software IDEAS™ Andritz Automation,” Memoria de Título, Ing. Civil Electrónica, Depto. De Ing Eléctrica, Universidad de Concepción, Chile, Marzo 2018.
- [8] P. Darling, *SME Mining Engineering Handbook*, Third Edition, Society For Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Omnipress, 2011. Ch. 14.
- [9] T.J. Napier-Munn, S. Morrell, R.D. Morrison and T. Kojovic, *Mineral Comminution Circuits Their Operation and Optimisation*, Julius Kruntschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, 1996.
- [10] A. Gupta and D.S. Yan, *Mineral Processing Design and Operation An Introduction*. First Edition, Perth, Australia, January 2006
- [11] K. Viilo, *Crushing and Screening Handbook*, metso, Fifth Edition, 2011.
- [12] B.P. Numbi, J. Zhang, X. Xia, “Optimal energy management for a jaw crushing process in Deep mines”, paper, Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, G1, 1XW, United Kingdom.
- [13] (2022) “Anuario de la Minería de Chile”. [Online]. Available: https://www.sernageomin.cl/pdf/Anuario_de_la_mineria_de_chile_2021_v_30062022.pdf

- [14] H. Astudillo, J. Gallardo and C. Ayala, “*Estudio comparativo de algoritmos de control PID clásico para el control angular de un brazo electromecánico*” *Ingeniare*, vol 28 no 4, pp. 612-628, 2020.

Anexo A. Circuito de reducción de tamaños cerrado – Inverso

A.1. Introducción

Se simulará un circuito de reducción de tamaños cerrado inverso, el cual cuenta con un harnero y un chancador como equipo clasificador y reductor de tamaños respectivamente. Por simplicidad se considerará sin correas transportadoras ni alimentadores. El diagrama correspondiente a esta planta se puede apreciar en la Figura A.1:

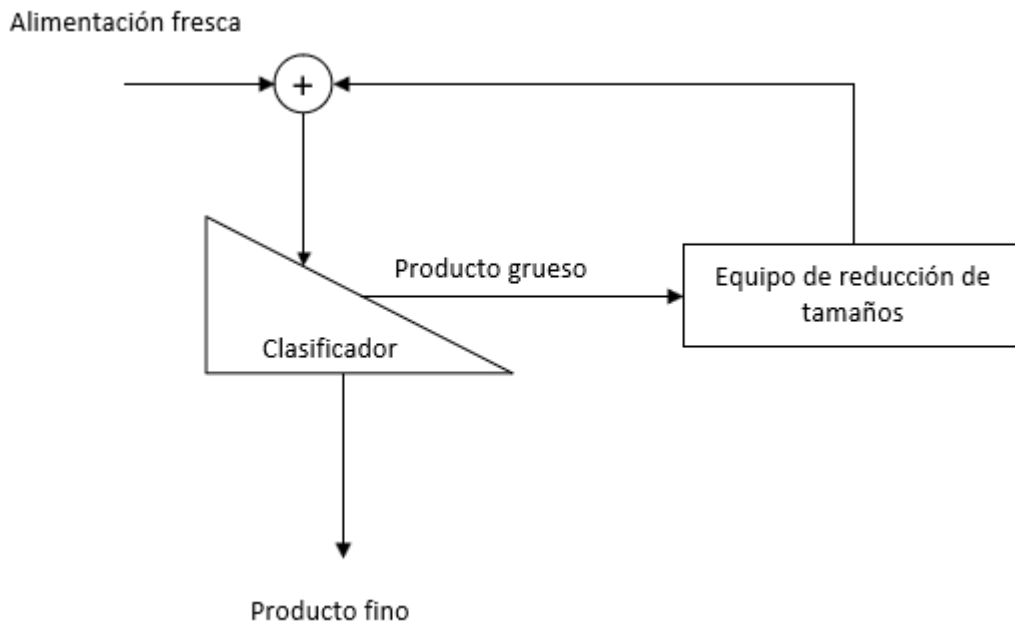


Figura A.1: Diagrama Circuito de reducción de tamaños cerrado - Inverso

A.2. Inicializar aplicación y agregar objetos

Lo primero es localizar la aplicación IDEAS.exe y ejecutarla, normalmente estará ubicada en Inicio->Andritz Inc-> IDEAS.exe.

Deberíamos encontrarnos con la pantalla mostrada en la Figura A.2:

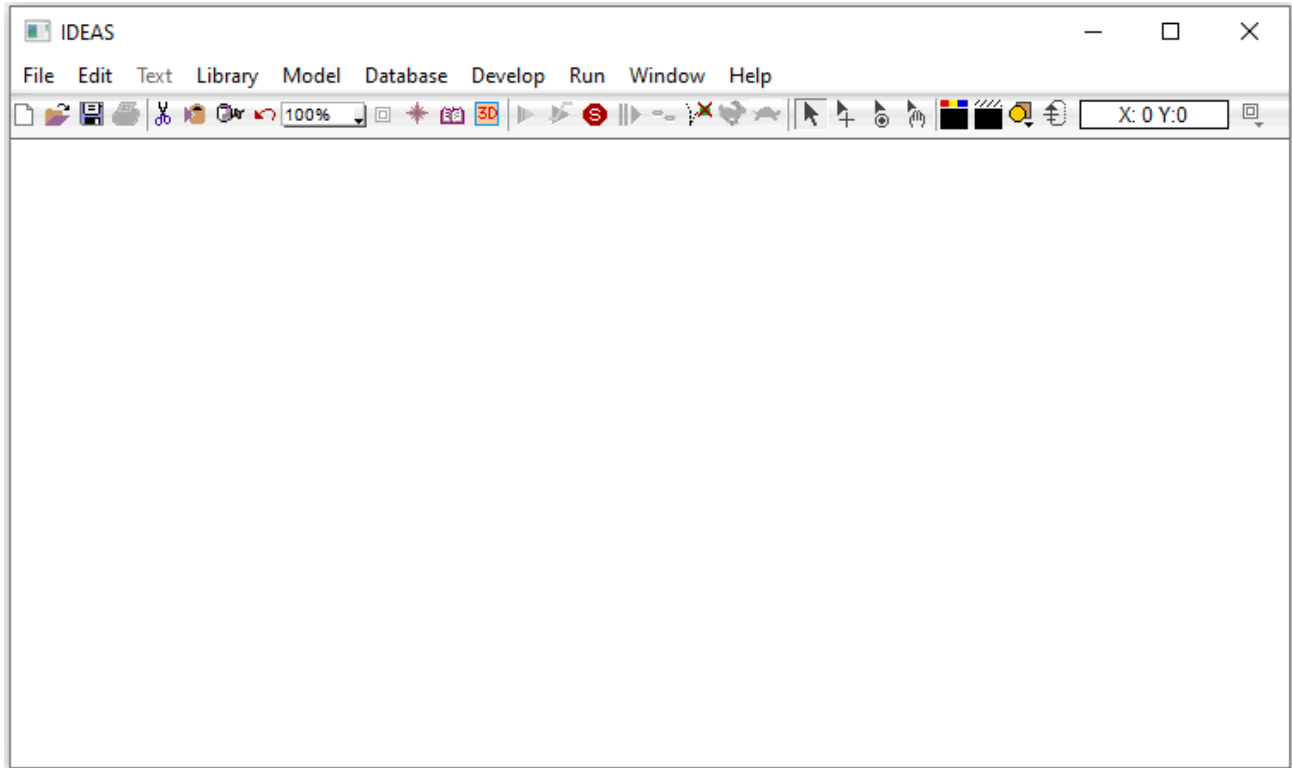


Figura A.2: Pantalla inicio IDEAS™

Luego empezamos un nuevo proyecto/modelo en **File→New Model**. Hecho esto, guardamos el modelo en **File→Save Model As**, se escoge carpeta y se escribe un nombre en este caso la carpeta se llamará “Ejemplo” y el modelo se llamará “Circuito Cerrado – Directo.mox”.

Luego importamos las librerías Executives 600.lix y Material Properties 600.lix. Esto se hace en el menú **Library→Open Library→Executives 600.lix** y **Library→ Open Library→Material Properties 600.lix**. Primero importamos los objetos administrativos desde Executives 600.lix, estos son:

- Discrete/Cont. Executive
- Display Errors
- Solver-Fluid Flow

- Global Units Selector

Luego importamos el objeto Material Properties desde Material Properties 600.lix. Eliminamos los componentes agua y vapor e incluimos el componente Magnetita (Fe_3O_4 sólido). En esta etapa el worksheet debería lucir como en la Figura A.3:

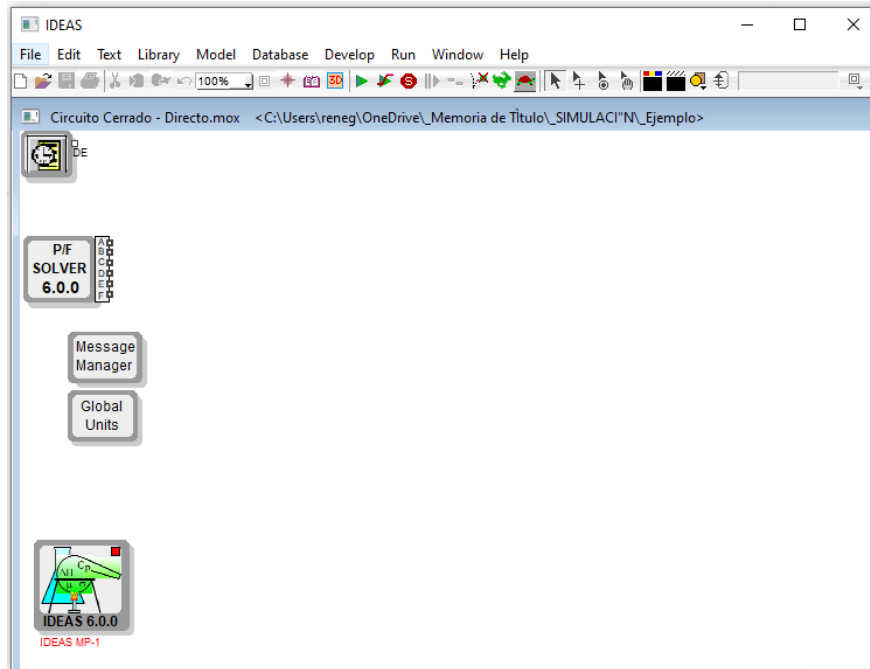


Figura A.3: Worksheet

Siguiendo el procedimiento mostrado anteriormente se importan los siguientes objetos:

De la librería Material Properties 600.LIX importamos:

- Sink (1), Stream Source (1) y PSD Data (1).

De la librería Size Reduction-S600.LIX importamos:

- Crusher (1).

De la librería Separation-G 600.LIX importamos:

- Screen Primitive (1).

De la librería Macro Primitives 600.LIX importamos:

- Mixer (1).

De la librería Plotters 600.LIX importamos:

- Plotter, I/O-Scan. (2)

De la librería Transmitters 600.LIX importamos:

- Transmitter-Flow. (4)

- Transmitter-PSD. (4)

De la librería Tools 600.LIX importamos:

- Switch (2).

En este momento nuestro Worksheet debería lucir como en la Figura A.4:

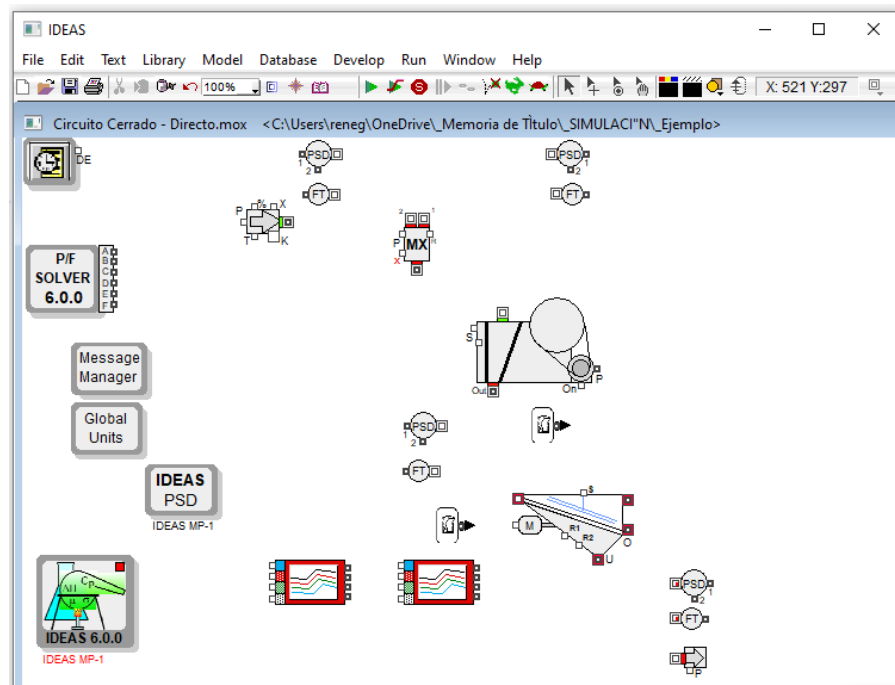


Figura A.4: Worksheet

4.4. Construir Planta en Worksheet y Configurar Objetos

Unimos los objetos como se aprecia en el diagrama de la Figura A.5:

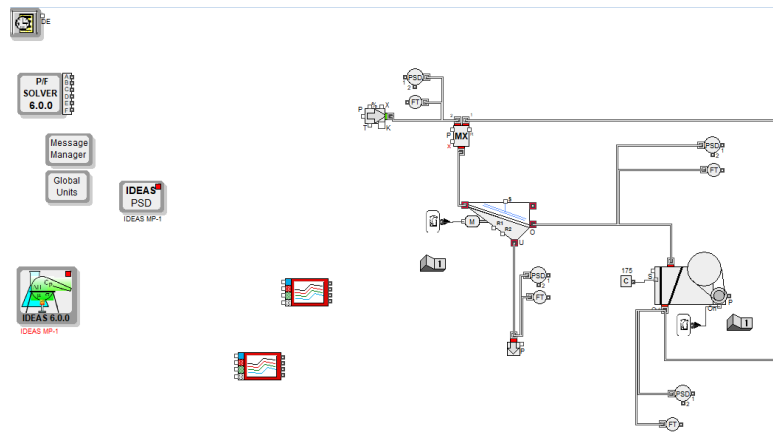


Figura A.5: Worksheet

Configuración de objetos:

- **Discrete/Cont. Executive:** No requiere mayor configuración adicional en esta simulación.
- **Display Errors:** No requiere mayor configuración adicional en esta simulación.
- **Solver-Fluid Flow:** En pestaña display hacer “tick” en “Continuous update” como se aprecia en la Figura A.6:

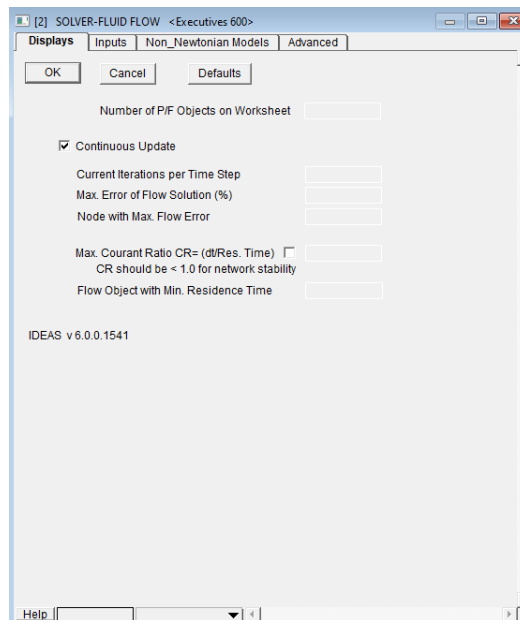


Figura A.6: Pestaña Displays de objeto “Solver Fluid Flow”

- **Global Units Selector:** En la pestaña “Primary Selection” en “select industry” seleccionar “Mining&Metallurgy” como se aprecia en la Figura A.7:

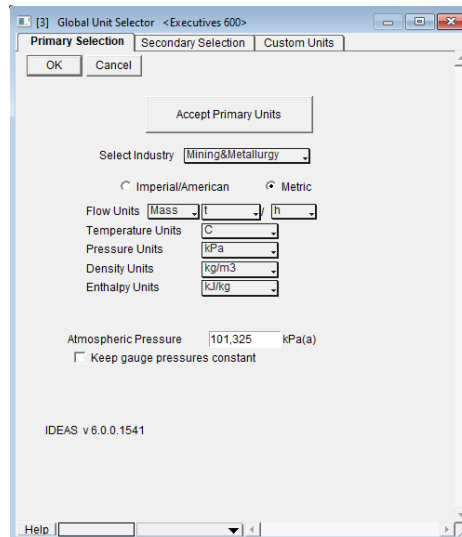


Figura A.7: Pestaña “Primary selection” de objeto Global Unit Selector

También definir las unidades de flujo en términos de masa, en toneladas por hora.

- **Material Properties:** En pestaña “Components” hacer click en Load IDEAS Components, buscar Fe₃O₄_s, hacer click en “add to selection”, luego seleccionar Water y Steam y hacer click en “Remove From Selection” luego hacer click en “ok”, La pestaña “components” debería verse como se muestra en la Figura A.8:

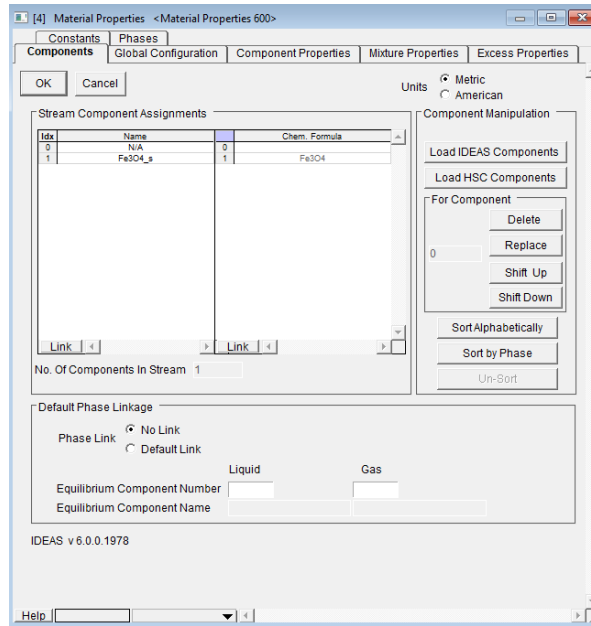


Figura A.8: Pestaña Components

- **PSD Data:** PSD Data define la granulometría de entrada, nos daremos la siguiente granulometría mostrada en la Tabla A.1:

Tabla A.1: Granulometría de entrada

Tamaño [mm]	Cantidad de material [%]
120[mm]	10%
240[mm]	10%
360[mm]	10%
480[mm]	10%
600[mm]	10%
720[mm]	10%
840[mm]	10%
960[mm]	10%
1080[mm]	10%
1200[mm]	10%

En la pestaña “Set PSD” se establecen los componentes con PSD; en “Step #1” hacemos click en “Define” luego seleccionamos Fe3O4_s, hacemos click en add y en ok.

Luego en “Step #2” hacemos click en “Define”. En “number of Bins” escogemos “10” y en la pestaña que dice “microns” cambiar a “mm”. Finalmente rellenamos la tabla con la granulometría establecida anteriormente. La pestaña debería verse como en la Figura A.9:

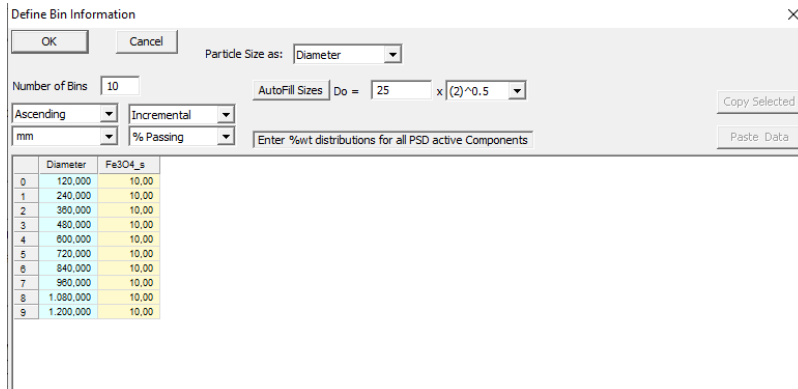


Figura A.9: “Define Bin Information” en Pestaña “Set PSD”

- **Sink:** En pestaña “Sink Data” hacer click en “continuous update”.
- **Stream Source:** En pestaña “state variables” en “selectable units” cambiar a Toneladas por hora, luego seleccionar “flow” y establecerlo en 1300[TPH] como se puede apreciar en la Figura A.10:

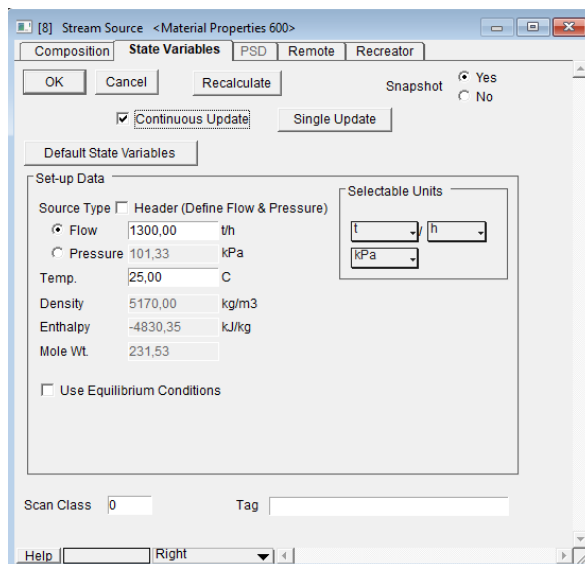


Figura A.10: Pestaña “State Variables” de objeto “Stream Source”

En la pestaña PSD Seleccionar

- Define particle size as: Defined Bin Size
- [mm] en vez de [microns]
- Luego click en “Get Default PSD Data” y en “ok”

- **Crusher:**

En este tutorial simularemos un chancador primario con las siguientes características, mostradas en la Tabla A.2:

Tabla A.2: Características chancador

Marca y Modelo	Allis Chalmers
Tipo	Mandíbulas
Máxima Potencia instalada	185[kW] (250hp)
Velocidad	220[rpm]
Ancho	2133.6[mm](84”)
Profundidad	1524[mm](60”)
Tamaño máximo de alimentación estimado	1219.2[mm](48”)

En la pestaña “Displays”, mostrada en la Figura A.11, tick en “continuous update” y rellenar d: “80” en: “mm”:

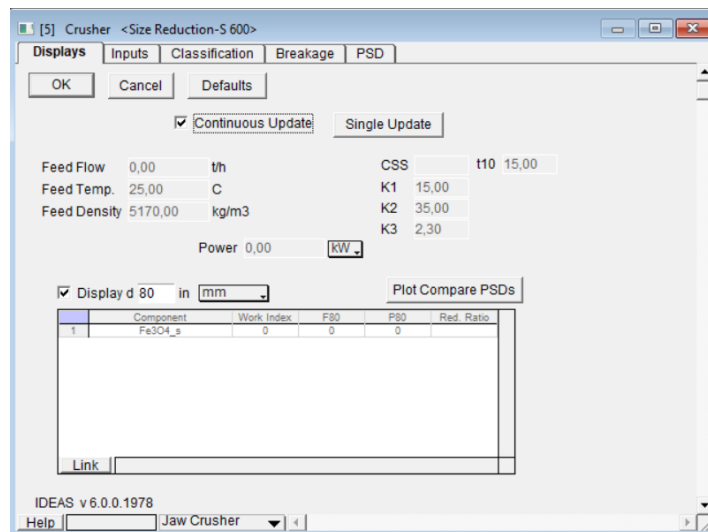


Figura A.11: Pestaña “Displays” dentro del objeto “Crusher”

En inputs, Figura A.12, establecer “Flow defined: upstream” y en Power calculation seleccionar “bond Work Index Model” y “use Local Work Index”, en “Bond WI” escribir “10” en

Installed power escribir “186.43”, y en “Power Scaling Factor, A” escribir “1”, como se aprecia en la Figura A.12:

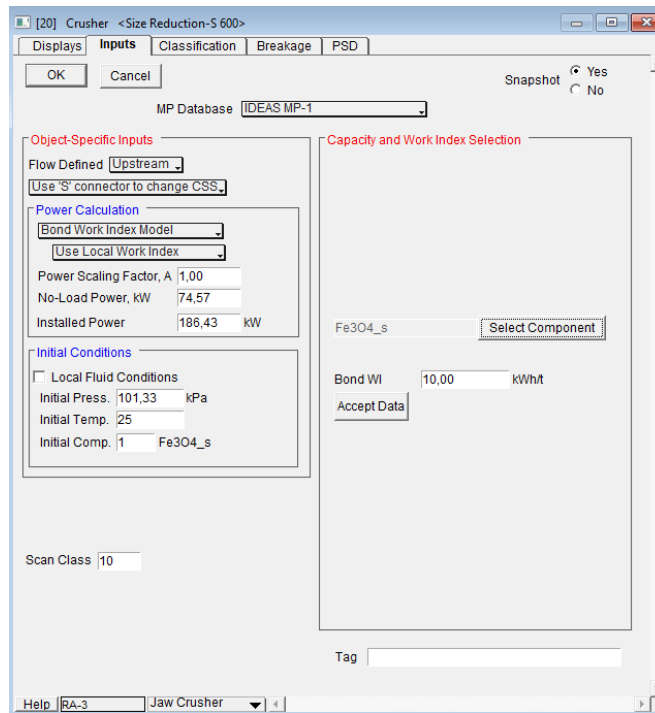


Figura A.12: Pestaña “inputs” en objeto “Crusher”

En la pestaña “classification”, Figura A.13, establecer CSS en 100mm:

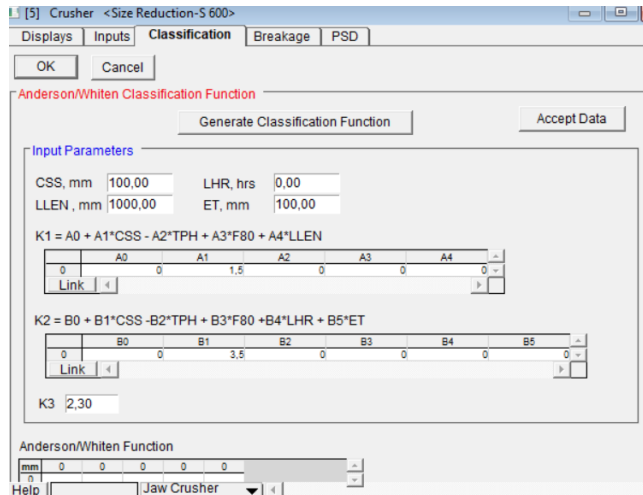


Figura A.13: Pestaña “Classification” en objeto “Crusher”

En “Breakage”, Figura A.14, tick en t10 y definir d0=10, así t10=10 click en “Generate Breakage Function” y luego en “Accept Data”. Se recomienda un valor entre 5 y 10 para chancadores primarios. Y en “Data for Component” seleccionar “All Components” (en caso de se quisiera añadir otro componente aparte de Magnetita ya estaría cubierta esa situación).

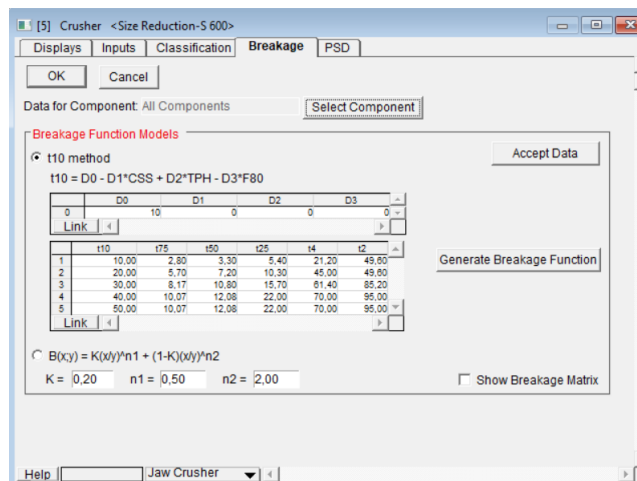


Figura A.14: Pestaña “inputs” en objeto “Crusher”

Finalmente, cabe señalar que el objeto switch debe estar en la posición “1”.

- **Screen Primitive:**

En la pestaña displays, Figura A.15, click en “Continuous update”

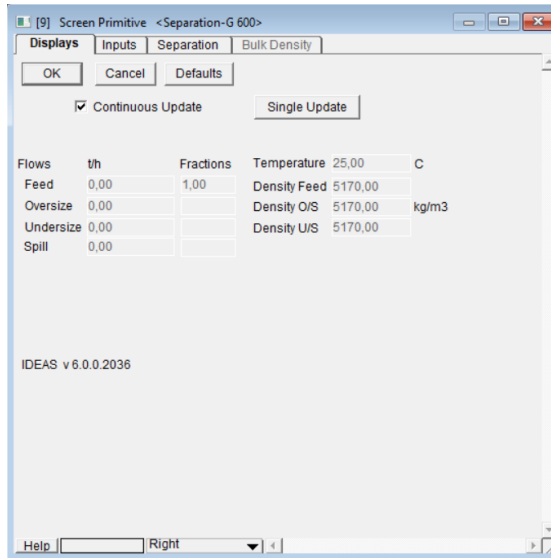


Figura A.15: Pestaña Displays de objeto “Screen Primitive”

En la pestaña “Separation”, Figura A.16, Escoger la Función de clasificación de “Rosin-Rammler” en el menú desplegable “Screen Classification Function”, luego establecer “Screen Cut Size” en 150[mm] y Sharpness” en 5[mm]. Finalmente hacer click en “Generate Classification Function” y luego click en “Accept” y luego en “ok”:

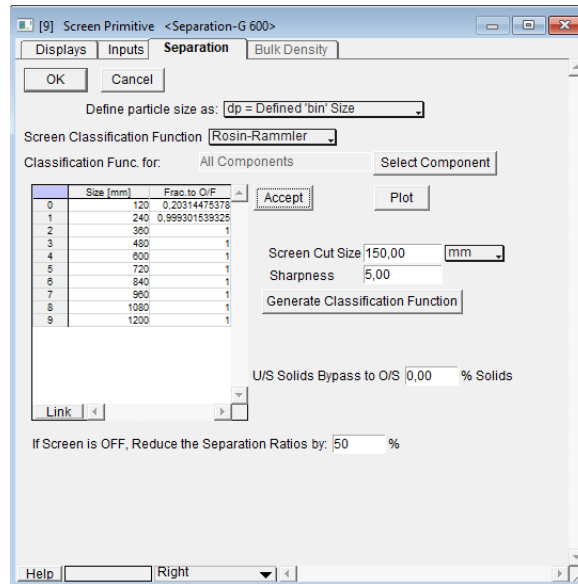


Figura A.16: Pestaña “Separation” en objeto “Screen Primitive”

Finalmente cabe señalar que el objeto switch debe estar en la posición “1”.

- **Mixer:** En la pestaña “Displays” hacer click en “Continuous Update”
- **Plotter, I/O-Scan:** Para poder utilizar correctamente este objeto es necesario utilizar tags, esto se hace haciendo doble click, luego escribiendo el tag con el teclado y finalmente uniendo el tag a la variable a identificar. Un ejemplo de esto se ve en la Figura A.17:

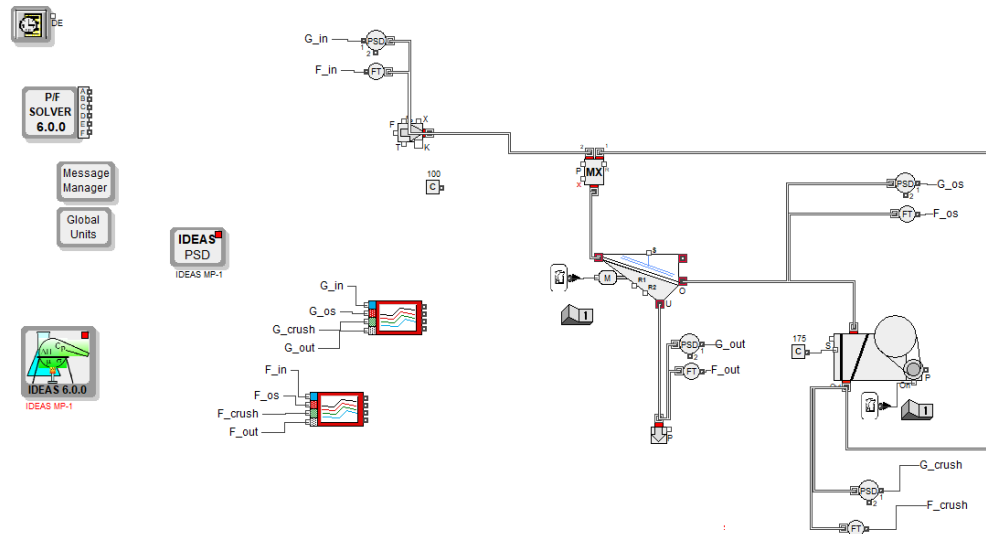


Figura A.17: Worksheet Planta

Para nombrar las variables dentro de plotter basta con hacer doble click sobre el objeto, Figura A.18, luego seleccionar el menú q se muestra en la siguiente figura e ir cambiando “Blue”, “Red”, Green” y “Black” por los nombres deseados.

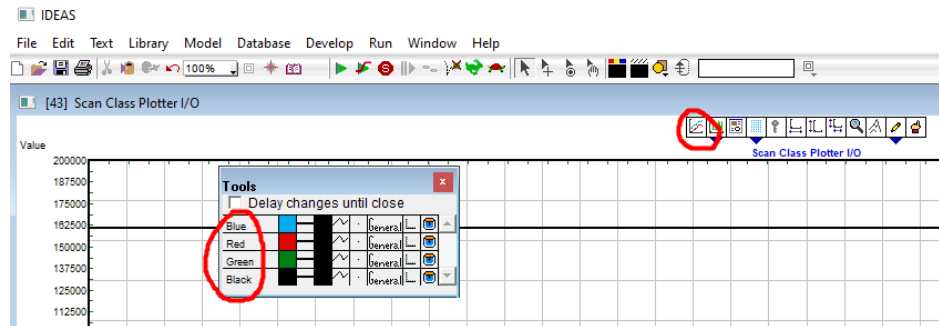


Figura A.18: Objeto “Scan Class Plotter I/O”

- **Transmitter-Flow:**

En la pestaña displays, Figura A.19, hacer “tick” en “continuous update” y en la ventana inputs, Figura A.20, seleccionar toneladas y horas como variables de flujo y tiempo:

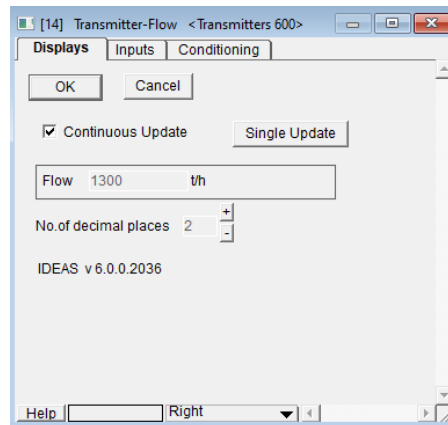


Figura A.19: Pestaña “Displays” objeto “Transmitter-Flow”

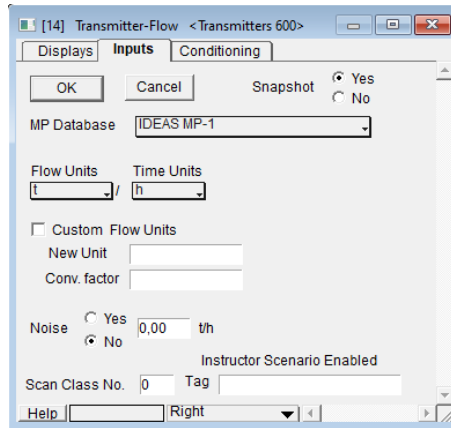


Figura A.20: Pestaña “Inputs” objeto “Transmitter-Flow”

Transmitter-PSD:

En la pestaña inputs, Figura A.21, en el menú desplegable “Output 1=dx” escogemos la salida del pin 1, la cual será “Defined Bin Size”, hacemos “tick” en “Calculate d” y escribimos 80. Así monitorearemos el F80 o P80 según implementemos el transmisor a la entrada (feed) o a la salida (product) de algún equipo.

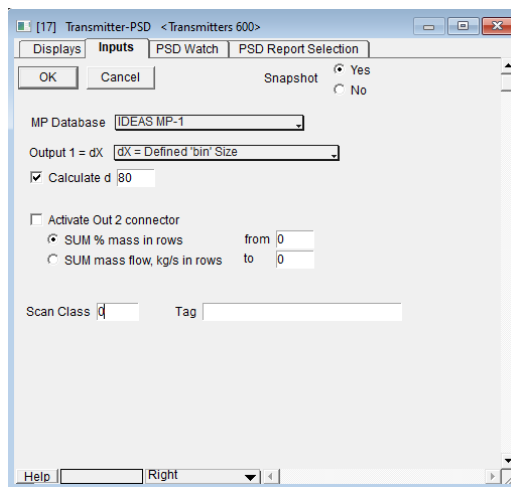


Figura A.21: Pestaña “inputs” de objeto “Transmitter-PSD”

En la pestaña Displays, Figura A.22, “tick” en “continuous update”.

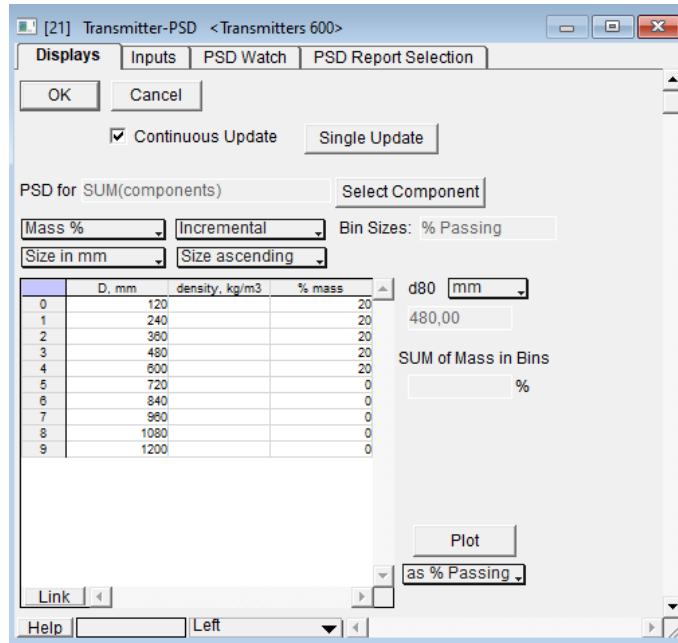


Figura A.22: Pestaña Displays de objeto “Transmitter-PSD”

- **Switch:**

El objeto Switch cumple la función de un interruptor encendiendo o apagando equipos como en este caso cumple la función de encender el chancador y el harnero. Para mayor comodidad se puede extraer el botón switch. Haciendo doble click en el objeto, seleccionando el selector flecha-punto, luego haciendo click en el botón switch y arrastrarlo hacia el worksheet. Como se aprecia en la Figura A.23:

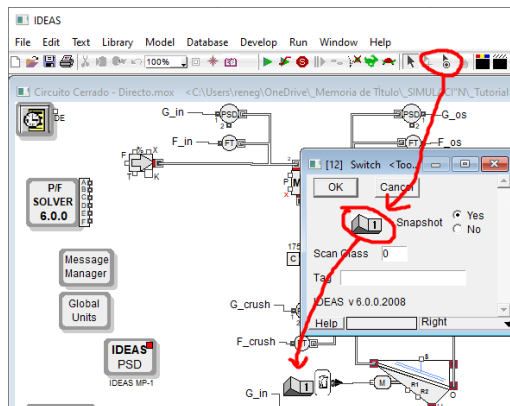


Figura A.23: Objeto Switch

- **Scalar Reader:**

El objeto “Scalar Reader” cumple la función de leer escalares, en el caso de esta simulación se utilizará para leer las mediciones de los sensores como se aprecia en la Figura A.24:

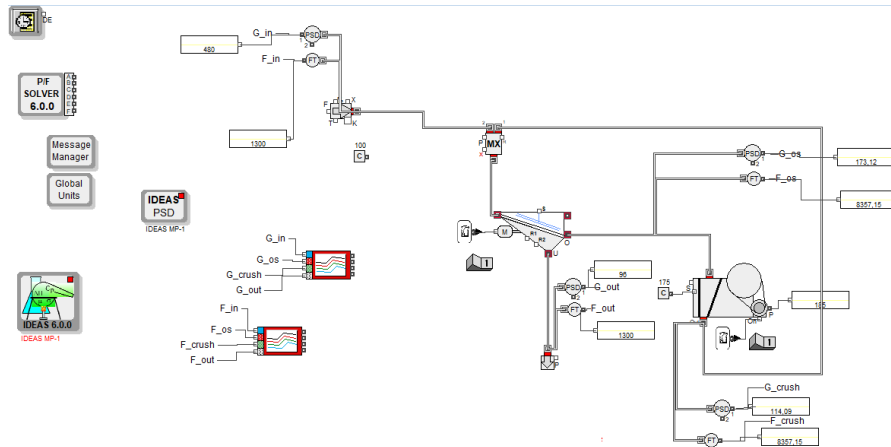


Figura A.24: Escalar reader en worksheet

Se abre la configuración del objeto, Figura A.25, y se hace tick en decimal places y en continuous update, como se ve en la siguiente figura:

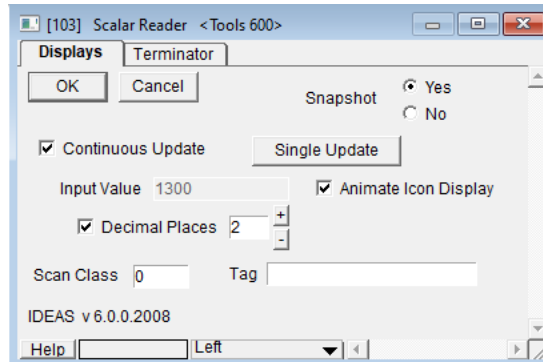


Figura A.25: Pestaña displays “Scalar Reader”

4.5. Correr Simulación

Para definir el tiempo de simulación entramos al menú “Simulation Setup”, Figura A.26, Apretando CTRL+Y o bien desde el menú superior:

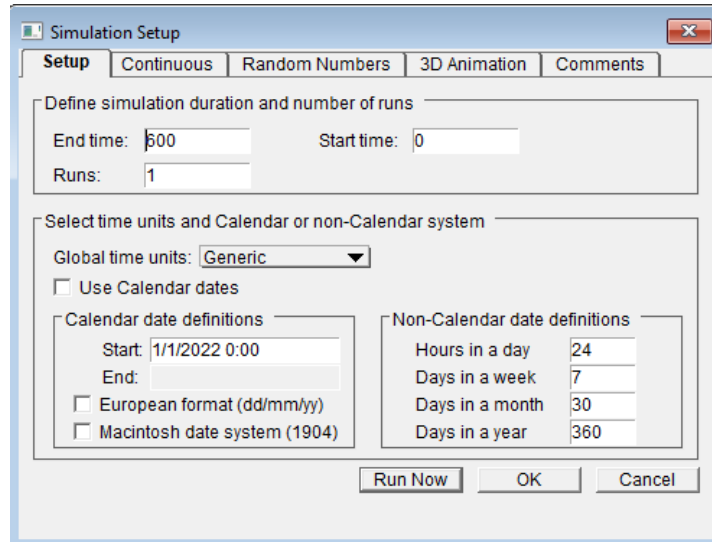


Figura A.26: Pestaña setup objeto “Simulation Setup”

Definimos un tiempo de simulación de 600 segundos o bien 10 minutos. Y corremos la simulación.

Un tip para acelerar la simulación es hacer click en el botón con forma de conejo del menú, Figura A.27:



Figura A.27: Menú

Finalmente hacemos click en los plotters, Figura A.28 y Figura A.29, para analizar lo simulado:



Figura A.28: Gráfico de flujos (de: entrada, sobre-tamaño, salida chancador y salida)

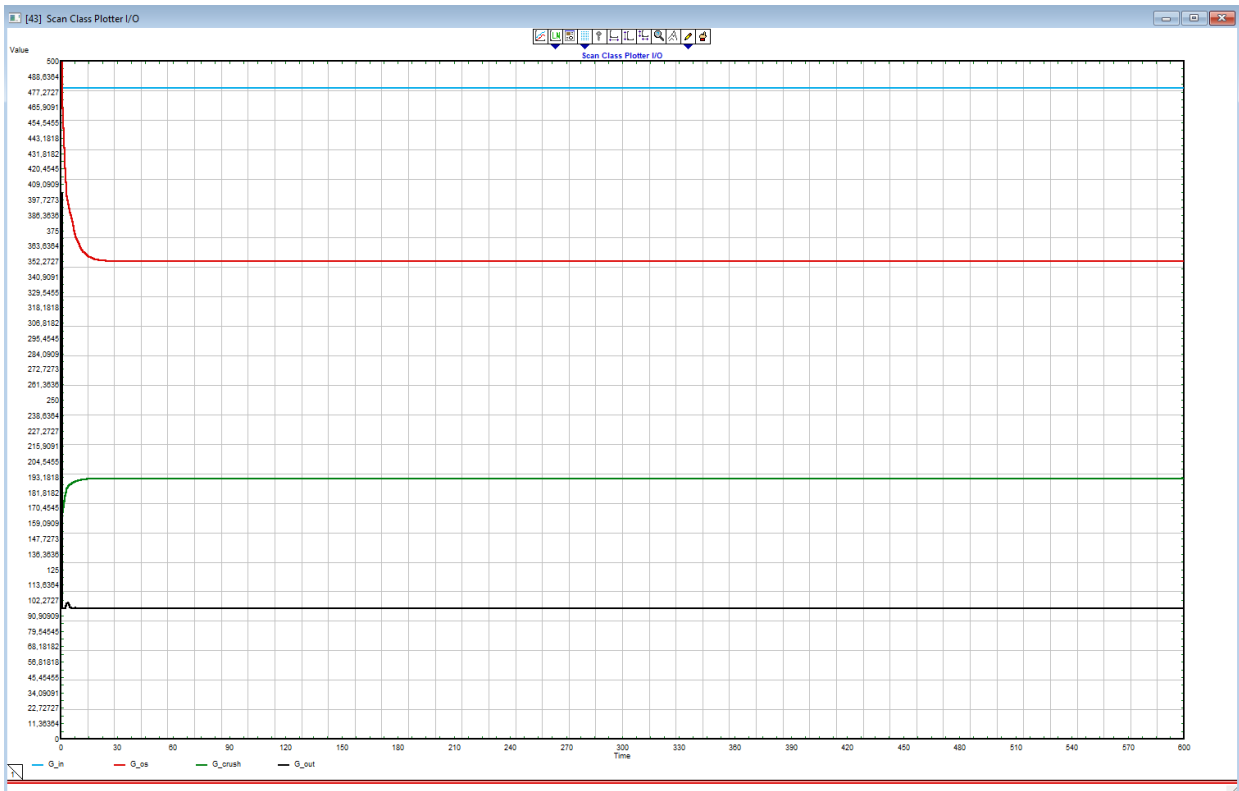


Figura A.29: Gráfico de granulometrías (de: entrada, sobre-tamaño, salida chancador y salida)

Anexo B. Código MATLAB

B.1. Carga de datos desde excel

```
close all
clear all
clc

%Carga de datos E1-1 - Planta sin controlar - set de CSS's 1
data1_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet1"); %Flujos
data2_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet2"); %Granulometrías
#1
data3_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet3"); %Control Tolva
data4_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet4"); %Granulometrías
#2
data5_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet5"); %Flujos Chancado
#1
data6_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet6"); %Flujos Chancado
#2

data7_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet7"); %Señales de
Entrada Granulometría Variable y CSS1
data8_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet8"); %CSS
data9_1=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_1.xlsx", "Sheet9"); %Granulometría
salida Chancador RA-12B
%Carga de datos E1-2 - Planta sin controlar - set de CSS's 2
data1_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet1"); %Flujos
data2_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet2"); %Granulometrías
#1
data3_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet3"); %Control Tolva
data4_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet4"); %Granulometrías
#2
data5_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet5"); %Flujos Chancado
#1
data6_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet6"); %Flujos Chancado
#2
data7_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx", "Sheet7"); %Señales de
Entrada Granulometría Variable y CSS1
```

```

data8_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx","Sheet8"); %CSS
data9_2=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E1_2.xlsx","Sheet9"); %Granulometría
salida Chancador RA-12B
%Carga de Datos E2 - Planta con control de Tolva y de P80 en Chancadores
dataA=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet1"); %Flujos
dataB=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet2"); %Granulometrías #1
dataC=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet3"); %Control Tolva
dataD=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet4"); %Granulometrías #2
dataE=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet5"); %Flujos Chancado
#1
dataF=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet6"); %Flujos Chancado
#2
dataG=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet7"); %Señales de
Entrada Granulometria Variable
dataH=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet8"); %Setpoints de P80
y CSS Chancador Primario
dataI=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet9"); %CSS Chancador
Secundario y Terciarios
dataJ=xlsread("C:\Users\reneg\OneDrive\Memoria de
Título\SIMULACIÓN\Planta_Completa\Datos_E2.xlsx","Sheet10"); %Granulometría
chancador terciario RA-12B

%Vector de tiempo
time=data1_1(:,1); %en segundos
time=time./3600; %en horas
% Columna 1 => E1, Columna 2 => E2

%Flujos de Mineral
F_in=[data1_1(:,2),data1_2(:,2), dataA(:,2)]; %Flujo de entrada de mineral
[TPH]
F_out=[data1_1(:,3),data1_2(:,3), dataA(:,3)]; %Flujo de salida de mineral
[TPH]
F_rej=[data1_1(:,4),data1_2(:,4), dataA(:,4)]; %Flujo de rechazo de mineral
[TPH] (mineral que no es magnetita)
F_chu=[data1_1(:,5),data1_2(:,5), dataA(:,5)]; %Flujo neto en Tolva (F_in_Tolva-
F_out_Tolva) [TPH]
F_out_Tolva=[data3_1(:,5),data3_2(:,5), dataC(:,5)]; % Flujo de salida de Tolva
[TPH]
F_chan1=[data5_1(:,2),data5_2(:,2), dataE(:,2)]; %Flujo Chancado Primario [TPH]
F_chan2=[data5_1(:,3),data5_2(:,3), dataE(:,3)]; %Flujo Chancado Secundario
[TPH]
F_chan3=[data5_1(:,4),data5_2(:,4), dataE(:,4)]; %Flujo Chancado Terciario [TPH]
F_chan3a=[data5_1(:,5),data5_2(:,5), dataE(:,5)]; %Flujo Chancador Terciario RA-
12A [TPH]
F_chan3b=[data6_1(:,2),data6_2(:,2), dataF(:,2)]; %Flujo Chancador Terciario RA-
12B [TPH]

```

B.2


```

%Granulometrías
G_in=[data2_1(:,2),data2_2(:,2), dataB(:,2)]; %Granulometría de entrada F80
G_chan1=[data2_1(:,3),data2_2(:,3), dataB(:,3)]; %Granulometría de salida
Chancado Primario P80
G_chan2=[data2_1(:,4),data2_2(:,4), dataB(:,4)]; %Granulometría de salida
Chancado Secundario P80
G_chan3=[data2_1(:,5),data2_2(:,5), dataB(:,5)]; %Granulometría de salida
Chancado Terciario P80
G_chan3a=[data8_1(:,5),data8_2(:,5), dataI(:,5)]; %Granulometría de salida P80
Chancador Terciario RA12-A
G_chan3b=[data9_1(:,2),data9_2(:,2), dataJ(:,2)]; %Granulometría de salida P80
Chancador Terciario RA12-B
G_out=[data4_1(:,2),data4_2(:,2), dataD(:,2)]; %Granulometría de salida P80
G_in_chan1=[data4_1(:,3),data4_2(:,3), dataD(:,3)]; %Granulometría de entrada
Chancado Primario F80
G_in_chan2=[data4_1(:,4),data4_2(:,4), dataD(:,4)]; %Granulometría de entrada
Chancado Secundario F80
G_in_chan3=[data4_1(:,5),data4_2(:,5), dataD(:,5)]; %Granulometría de entrada
Chancado Terciario F80

%Niveles
Level_Tolva=[data3_1(:,3),data3_2(:,3), dataC(:,3)]; % Nivel de mineral en Tolva
[%]

%Potencias
P_ch1=[data3_1(:,2),data3_2(:,2), dataC(:,2)]; %Potencia utilizada por Chancador
Primario RA-3 [kW]
P_ch2=[data3_1(:,4),data3_2(:,4), dataC(:,4)]; %Potencia utilizada por Chancador
Secundario RA-11 [kW]
P_ch3a=[data6_1(:,3),data6_2(:,3), dataF(:,3)]; %Potencia utilizada por
Chancador Terciario RA-12A [kW]
P_ch3b=[data6_1(:,4),data6_2(:,4), dataF(:,4)]; %Potencia utilizada por
Chancador Terciario RA-12B [kW]
P_ch3=[data6_1(:,5),data6_2(:,5), dataF(:,5)]; %Potencia utilizada por
Chancadores Terciarios RA-12A y RA-12B [kW]

P_tot_1_1=(P_ch1(:,1)+P_ch2(:,1)+P_ch3a(:,1)+P_ch3b(:,1)); %Potencia utilizada
en las 3 etapas de chancado - E1.1
P_tot_1_2=(P_ch1(:,2)+P_ch2(:,2)+P_ch3a(:,2)+P_ch3b(:,2)); %Potencia utilizada en
las 3 etapas de chancado - E1.2
P_tot_2=(P_ch1(:,3)+P_ch2(:,3)+P_ch3a(:,3)+P_ch3b(:,3)); %Potencia utilizada en
las 3 etapas de chancado - E2

%set-points
SP1=dataG(:,5); %Setpoint de P80 para Chancador RA-3
SP2=dataH(:,2); %Setpoint de P80 para Chancador RA-11
SP3a=dataH(:,3); %Setpoint de P80 para Chancador RA-12A
SP3b=dataH(:,4); %Setpoint de P80 para Chancador RA-12B

%CSS
CSS1=[data7_1(:,5),data7_2(:,5),dataH(:,5)]; %Closed Side Setting para RA-3
CSS2=[data8_1(:,2),data8_2(:,2),dataI(:,2)]; %Closed Side Setting para RA-11
CSS3a=[data8_1(:,3),data8_2(:,3),dataI(:,3)]; %Closed Side Setting para RA-12A
CSS3b=[data8_1(:,4),data8_2(:,4),dataI(:,4)]; %Closed Side Setting para RA-12B

%%Fin carga de Datos

%Razón de Reducción

```

```

%E1.1
RR1_11=G_in_chan1(:,1)./G_chan1(:,1);
RR2_11=G_in_chan2(:,1)./G_chan2(:,1);
RR3_11=G_in_chan3(:,1)./G_chan3a(:,1);
%E1.2
RR1_12=G_in_chan1(:,2)./G_chan1(:,2);
RR2_12=G_in_chan2(:,2)./G_chan2(:,2);
RR3_12=G_in_chan3(:,2)./G_chan3a(:,2);
%E2
RR1_2=G_in_chan1(:,3)./G_chan1(:,3);
RR2_2=G_in_chan2(:,3)./G_chan2(:,3);
RR3_2=G_in_chan3(:,3)./G_chan3a(:,3);

```

B.2. Gráficos

```

%% (1) - RESPUESTA A ESCALÓN DE FLUJO - E1.1
figure(1)
%subplot(2,1,1)
yyaxis left
plot(time,F_in(:,1),'b')
axis([0 18000./3600 1250 1750])
title('E_1_.1: RESPUESTA A ESCALÓN DE FLUJO ')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
axis([8000./3600 13500./3600 1250 1750])

yyaxis right
plot(time,F_out(:,1),'r')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
axis([8000./3600 13500./3600 0 1000])
legend('Flujo de entrada','Flujo. de salida')

%yyaxis right
%%plot(time,G_in(:,1),'m')
%legend('Flujo de entrada','G. de entrada F80')
%ylabel('Granulometría [mm]')

%subplot(2,1,2)
%yyaxis left
%plot(time,F_out(:,1),'r')
%grid on
%grid minor
%xlabel('tiempo[h]')
%ylabel('Flujo [Ton/h]')
%yyaxis right
%plot(time,G_out(:,1),'m')
%axis([0 18000 0 15])
%legend('Flujo de Salida [Ton/h]','Granulometría de Salida P80 [mm]')
%ylabel('Granulometría [mm]')

```

```

%% (2) - RESPUESTA A ESCALÓN DE FLUJO - E1.2
figure(2)
%subplot(2,1,1)
yyaxis left
plot(time,F_in(:,2),'b')

title('E_1_.2: RESPUESTA A ESCALÓN DE FLUJO ')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
axis([8000./3600 13500./3600 1250 1750])

yyaxis right
plot(time,F_out(:,2),'r')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
axis([8000./3600 13500./3600 0 1000])
legend('Flujo de entrada','Flujo. de salida')

%% (3) - RESPUESTA A ESCALÓN DE FLUJO - E2
figure(3)
%subplot(2,1,1)
yyaxis left
plot(time,F_in(:,3),'b')
title('E_2: RESPUESTA A ESCALÓN DE FLUJO ')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
axis([8000./3600 13500./3600 1250 1750])

yyaxis right
plot(time,F_out(:,3),'r')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
%axis([8000./3600 13500./3600 0 1200])
legend('Flujo de entrada','Flujo. de salida')

%% (4) - RESPUESTA A ESCALÓN DE GRANULOMETRÍA - E1.1
figure(4)
%subplot(2,1,1)
yyaxis left
plot(time,G_in(:,1),'b')
title('E_1_.1: RESPUESTA A ESCALÓN DE GRANULOMETRÍA ')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
axis([4000./3600 8000./3600 100 400])

yyaxis right
plot(time,G_out(:,1),'r')

```

```

grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
axis([4000./3600 8000./3600 0 9])
legend('Granulometría de entrada F80','Granulometría de salida P80')

%% (5) - RESPUESTA A ESCALÓN DE GRANULOMETRÍA - E1.2
figure(5)
%subplot(2,1,1)
yyaxis left
plot(time,G_in(:,3),'b')
title('E_1_.2: RESPUESTA A ESCALÓN DE GRANULOMETRÍA ')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
axis([4000./3600 8000./3600 100 400])

yyaxis right
plot(time,G_out(:,3),'r')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
axis([4000./3600 8000./3600 10.6 11.3])
legend('Granulometría de entrada F80','Granulometría de salida P80')

%% (6) - RESPUESTA A ESCALÓN DE GRANULOMETRÍA - E2
figure(6)
%subplot(2,1,1)
yyaxis left
plot(time,G_in(:,3),'b')
title('E_2: RESPUESTA A ESCALÓN DE GRANULOMETRÍA ')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
axis([4000./3600 8000./3600 100 400])

yyaxis right
plot(time,G_out(:,3),'r')
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
axis([4000./3600 8000./3600 9 13])
legend('Granulometría de entrada F80','Granulometría de salida P80')

%% (7) - Flujos Generales - F_in, F_out, Frej - E1.2
figure(7)
plot(time,F_in(:,2),'b',time,F_out(:,2),'r',time,F_rej(:,2),'g')
title('E1-2: Planta de Chancado - Flujos de material')
grid on
grid minor

```

```

legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h]', 'Flujo de Rechazo
[Ton/h]')
%axis([0 3500./3600 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
%% (8) - Flujos Generales - F_in, F_out, Frej - E2
figure(8)
plot(time, F_in(:,3), 'b', time, F_out(:,3), 'r', time, F_rej(:,3), 'g')
title('E2: Planta de Chancado - Flujos de material')
grid on
grid minor

legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h]', 'Flujo de Rechazo
[Ton/h]')
%axis([0 3500 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
%% (9) - Flujos en cada chancador - E1.1
figure(9)
plot(time, F_chan1(:,1), 'b', time, F_chan2(:,1), 'r', time, F_chan3(:,1), 'g', time, F_ch
an3a(:,1), 'm', time, F_chan3b(:,1), 'c')
title('Planta de Chancado - Flujos de material en cada Chancador')
grid on
grid minor
legend('F. Chancador Primario RA-3', 'F. Chancador Secundario RA-11 ', 'F.
Chancador Terciario RA-12A', 'F. Chancador Terciario RA-12B', 'F. Chancadores
Terciarios RA-12 A y B')
%axis([0 3500 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
%% (10) - Flujos en cada chancador - E1.2
figure(10)
plot(time, F_chan1(:,2), 'b', time, F_chan2(:,2), 'r', time, F_chan3(:,2), 'g', time, F_ch
an3a(:,2), 'm', time, F_chan3b(:,2), 'c')
title('Planta de Chancado - Flujos de material en cada Chancador')
grid on
grid minor
legend('F. Chancador Primario RA-3', 'F. Chancador Secundario RA-11 ', 'F.
Chancador Terciario RA-12A', 'F. Chancador Terciario RA-12B', 'F. Chancadores
Terciarios RA-12 A y B')
%axis([0 3500 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
%% (11) - Flujos en cada chancador - E2
figure(11)
plot(time, F_chan1(:,3), 'b', time, F_chan2(:,3), 'r', time, F_chan3(:,3), 'g', time, F_ch
an3a(:,3), 'm', time, F_chan3b(:,3), 'c')
title('Planta de Chancado - Flujos de material en cada Chancador')
grid on
grid minor
legend('F. Chancador Primario RA-3', 'F. Chancador Secundario RA-11 ', 'F.
Chancador Terciario RA-12A', 'F. Chancador Terciario RA-12B', 'F. Chancadores
Terciarios RA-12 A y B')
%axis([0 3500 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
%% (12) - Granulometrías - E1.1
figure(12)

```

```

p=plot(time,G_in(:,1),'r--',time,G_in_chan1(:,1),'g--',time,G_in_chan2(:,1),'k--',
time,G_in_chan3(:,1),'b--',time,G_chan1(:,1),'g',time,G_chan2(:,1),'k',time,G_chan3(:,1),'b',time,G_out(:,1),'r');
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E1')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80','G. de entrada CH1 F80','G. de entrada CH2 F80','G. de entrada CH3 F80','G. salida CH1 P80','G. salida CH2 P80','G. de salida CH3 P80','G. de salida P80')
axis([0 18000/3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3;1.3;1.3;1;1;1;1})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%% (13) - Granulometrías - E1.2
figure(13)
p=plot(time,G_in(:,2),'r--',time,G_in_chan1(:,2),'g--',time,G_in_chan2(:,2),'k--',
time,G_in_chan3(:,2),'b--',time,G_chan1(:,2),'g',time,G_chan2(:,2),'k',time,G_chan3(:,2),'b',time,G_out(:,2),'r');
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E1')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80','G. de entrada CH1 F80','G. de entrada CH2 F80','G. de entrada CH3 F80','G. salida CH1 P80','G. salida CH2 P80','G. de salida CH3 P80','G. de salida P80')
axis([0 18001./3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3;1.3;1.3;1;1;1;1})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%% (14) - Granulometrías - E2
figure(14)
p=plot(time,G_in(:,3),'r--',time,G_in_chan1(:,3),'g--',time,G_in_chan2(:,3),'k--',
time,G_in_chan3(:,3),'b--',time,G_chan1(:,3),'g',time,G_chan2(:,3),'k',time,G_chan3(:,3),'b',time,G_out(:,3),'r');
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E2')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80','G. de entrada CH1 F80','G. de entrada CH2 F80','G. de entrada CH3 F80','G. salida CH1 P80','G. salida CH2 P80','G. de salida CH3 P80','G. de salida P80')
axis([0 18001./3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3;1.3;1.3;1;1;1;1})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%% (15) - Control On/OFF de nivel de Tolva - E1.1
figure(15)
yyaxis left
plot(time,F_in(:,1),'r-',time,F_chu(:,1),'-k',time,F_out_Tolva(:,1),'-m')
yyaxis right
plot(time,Level_Tolva,'g')
legend('F. entrada [Ton/h]','F. neto en Tolva [Ton/h]','F. Salida Tolva [Ton/h]','Nivel Tolva [%]')

title('Planta de Chancado - Control nivel Tolva')
grid on
grid minor

```

```

%axis([0 3500 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
%% (16) - Control On/OFF de nivel de Tolva - E1.2
figure(16)
yyaxis left
plot(time,F_in(:,2),'r-',time,F_chu(:,2),'-k',time,F_out_Tolva(:,2),'-m')
yyaxis right
plot(time,Level_Tolva,'g')
legend('F. entrada [Ton/h]','F. neto en Tolva [Ton/h]','F. Salida Tolva
[Ton/h]','Nivel Tolva [%]')

title('Planta de Chancado - Control nivel Tolva')
grid on
grid minor

%axis([0 3500 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
%% (17) - Control On/OFF de nivel de Tolva - E2
figure(17)
yyaxis left
plot(time,F_in(:,3),'r-',time,F_chu(:,3),'-k',time,F_out_Tolva(:,3),'-m')
yyaxis right
plot(time,Level_Tolva,'g')
legend('F. entrada [Ton/h]','F. neto en Tolva [Ton/h]','F. Salida Tolva
[Ton/h]','Nivel Tolva [%]')

title('Planta de Chancado - Control nivel Tolva')
grid on
grid minor

%axis([0 3500 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
%% (18) - Potencia consumida por cada chancador - E1.1
figure(18)
plot(time,P_ch1(:,1),'r-',time,P_ch2(:,1),'k--o',time,P_ch3(:,1),'-
m',time,P_ch3a(:,1),'-b*',time,P_ch3b(:,1),'--c')
legend('P. Chancador Primario RA-3 [kW]','P. Chancador Secundario RA-11
[kW]','P. Chancadores Terciarios RA12 - A y B [kW]','P. Chancador Terciario RA-
12A [kW]','P. Chancador Terciario RA-12B [kW]')
title('Planta de Chancado - Potencia Consumida')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')
%% (19) - Potencia consumida por cada chancador - E1.2
figure(19)
plot(time,P_ch1(:,2),'r-',time,P_ch2(:,2),'k--o',time,P_ch3(:,2),'-
m',time,P_ch3a(:,2),'-b*',time,P_ch3b(:,2),'--c')
legend('P. Chancador Primario RA-3 [kW]','P. Chancador Secundario RA-11
[kW]','P. Chancadores Terciarios RA12 - A y B [kW]','P. Chancador Terciario RA-
12A [kW]','P. Chancador Terciario RA-12B [kW]')
title('Planta de Chancado - Potencia Consumida')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')

```

```

ylabel('Potencia[kW]')
%% (20) - Potencia consumida por cada chancador - E2
figure(20)
plot(time,P_ch1(:,3),'r-',time,P_ch2(:,3),'k--o',time,P_ch3(:,3),'-
m',time,P_ch3a(:,3),'-b*',time,P_ch3b(:,3),'--c')
legend('P. Chancador Primario RA-3 [kW]','P. Chancador Secundario RA-11
[kW]','P. Chancadores Terciarios RA12 - A y B [kW]','P. Chancador Terciario RA-
12A [kW]','P. Chancador Terciario RA-12B [kW]')
title('Planta de Chancado - Potencia Consumida')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')
%% (21) - Potencia consumida por todas las etapas de chancado - E1.1 vs E1.2 vs
E2

figure(21)
plot(time,P_tot_1_1,time,P_tot_1_2,time,P_tot_2)
title(' Potencia Consumida en las 3 etapas de Chancado- E1.1 vs E1.2 VS E2')
legend('E_1_._1','E_1_._2','E_2')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')

%% (22) - Granulometrías - E1-1 vs E1-2 vs E2 - Chancado Primario
figure(22)
p=plot(time, F_chan1(:,1),'b--',time, F_chan1(:,2),'b*',time,SP1,'r--
',time,G_in_chan1(:,1),'m--',time,G_in_chan1(:,2),'m*',time,G_chan1(:,1),'g--
',time,G_chan1(:,2),'g',time,CSS1,'k');
% falta incluir CSS1 de E1
title('Planta de Chancado - Flujo de Entrada y Granulometrías CH1 - Control
PID')
grid on
grid minor
legend('F. entrada CH1 - E1 [TPH]','F. entrada CH1 - E2 [TPH]','SP de G. P80
CH1 [mm]','G. de entrada CH1 F80 - E1 [mm]','G. de entrada CH1 F80 - E2
[mm]','G. salida CH1 P80 - E1 [mm]','G. salida CH1 P80 - E2 [mm]','CSS1 CH1 - E2
[mm]')
axis([0 18001./3600 -25 1400])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3;1.6;1.3;1;1;1;1})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm] y Flujo [TPH]')
%% (23) Granulometrías - E1 vs E2 - Chancado Secundario
figure(23)
p=plot(time,G_in(:,2),'r--',time,G_in_chan1(:,2),'g--',time,G_in_chan2(:,2),'k--
',time,G_in_chan3(:,2),'b--
',time,G_chan1(:,2),'g',time,G_chan2(:,2),'k',time,G_chan3(:,2),'b',time,G_out(:,
2),'r');
title('Planta de Chancado - Granulometrías')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80','G. de entrada CH1 F80','G. de entrada CH2 F80','G.
de entrada CH3 F80','G. salida CH1 P80','G. salida CH2 P80','G. de salida CH3
P80','G. de salida P80')
axis([0 10001./3600 -50 1050])

```



```

set(p, {'LineWidth'}, {1.3;1.3;1.3;1.3;1;1;1;1})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')

%% (24) Granulometrías - E1 vs E2 - Chancado Terciario
figure(24)
p=plot(time,G_in(:,2),'r--',time,G_in_chan1(:,2),'g--',time,G_in_chan2(:,2),'k--',
time,G_in_chan3(:,2),'b--',
time,G_chan1(:,2),'g',time,G_chan2(:,2),'k',time,G_chan3(:,2),'b',time,G_out(:,2),'r');
title('Planta de Chancado - Granulometrías')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80','G. de entrada CH1 F80','G. de entrada CH2 F80','G. de entrada CH3 F80','G. salida CH1 P80','G. salida CH2 P80','G. de salida CH3 P80','G. de salida P80')
axis([0 18000./3600 -50 1050])
set(p, {'LineWidth'}, {1.3;1.3;1.3;1.3;1;1;1;1})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')

%% (25)
figure(25)
plot(time,F_in,time,F_out,time,F_rej,time,F_chu)
title('Planta de Chancado - Flujos de material')
grid on
grid minor
legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h]', 'Flujo de Rechazo [Ton/h]', 'Flujo en Tolva [Ton/h]')
%axis([0 3500./3600 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')
subplot(3,1,2)
plot(time,G_in,time,G_chan1,time,G_chan2,time,G_chan3,time,G_out)
title('Planta de Chancado - Granulometrías')
grid on
grid minor
legend('Granulometría de entrada F80','Granulometría salida CH1 d80','Granulometría salida CH2 P80','Granulometría de salida CH3 P80','Granulometría de salida P80')
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
subplot(3,1,3)
yyaxis left
plot(time,F_in,time,F_chu,time,F_out_Tolva)
yyaxis right
plot(time,Level_Tolva)
legend('F. entrada [Ton/h]', 'F. neto en Tolva [Ton/h]', 'F. Salida Tolva [Ton/h]', 'Nivel Tolva [%]')

title('Planta de Chancado - Control nivel Tolva')
grid on
grid minor

%axis([0 3500./3600 0 110])

```

```

xlabel('tiempo[h]')
%% (26) Flujo, Granulometría y Potencias E_1.1 VS E_1.2 VS E_2
figure(26)
subplot(3,1,1)
plot(time,F_in(:,1),'b',time,F_out(:,1),'r',time,F_out(:,2),'k',time,F_out(:,3),
'm')
title('Planta de Chancado - Flujos de material')
grid on
grid minor
legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h] E_1_.1', 'Flujo de
Salida [Ton/h] E_1_.2', 'Flujo de Salida [Ton/h] E_2')
%axis([0 3500./3600 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')

subplot(3,1,2)
p=plot(time,G_in(:,1),'r--
',time,G_out(:,1),'r',time,G_out(:,2),'k',time,G_out(:,3),'m');
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E1')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80', 'G. de salida P80 E_1_.1', 'G. de salida P80
E_1_.2', 'G. de salida P80 E_2')
axis([0 18001./3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3;1.3;1.3})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')

subplot(3,1,3)
plot(time,P_tot_1_1,time,P_tot_1_2,time,P_tot_2)
title('Potencia Consumida en las 3 etapas de Chancado- E1.1 vs E1.2 VS E2')
legend('E_1_.1', 'E_1_.2', 'E_2')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')
%% (27) Flujo, Granulometría y Potencia E_1_1
figure(27)
subplot(3,1,1)
plot(time,F_in(:,1),'b',time,F_out(:,1),'r')
title('Planta de Chancado - Flujos de material')
grid on
grid minor
legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h]')
%axis([0 3500./3600 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')

subplot(3,1,2)
p=plot(time,G_in(:,1),'r--',time,G_out(:,1));
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E1')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80', 'G. de salida P80 E_1_.1')
axis([0 18001./3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3})
xlabel('tiempo[h]')

```

```

ylabel('Granulometría [mm]')

subplot(3,1,3)
plot(time,P_tot_1_1)
title(' Potencia Consumida en las 3 etapas de Chancado E_1_.1 ')
legend('E_1_.1')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')

%% (28) Flujo, Granulometría y Potencia E_1_2
figure(28)
subplot(3,1,1)
plot(time,F_in(:,2),'b',time,F_out(:,2),'r')
title('Planta de Chancado - Flujos de material E_1_.2')
grid on
grid minor
legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h] ')
%axis([0 3500./3600 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')

subplot(3,1,2)
p=plot(time,G_in(:,2),'r--',time,G_out(:,2));
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E_1_.2')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80', 'G. de salida P80 ')
axis([0 18001./3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')

subplot(3,1,3)
plot(time,P_tot_1_2)
title(' Potencia Consumida en las 3 etapas de Chancado E_1_.2 ')
legend('E_1_.2')
grid on
grid minor
%axis([0 3500./3600 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')

%% (29) Flujo, Granulometría y Potencia E2
figure(29)
subplot(3,1,1)
plot(time,F_in(:,3),'b',time,F_out(:,3),'r')
title('Planta de Chancado - Flujos de material E_2')
grid on
grid minor
legend('Flujo de entrada [Ton/h]', 'Flujo de Salida [Ton/h]')
%axis([0 3500./3600 0 3250])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')

subplot(3,1,2)

```

```

p=plot(time,G_in(:,3),'r--',time,G_out(:,3));
title('Planta de Chancado - Granulometrías - E_2')
grid on
grid minor
legend('G. de entrada F80','G. de salida P80 E_2')
axis([0 18001./3600 -50 1050])
set(p,{'LineWidth'},{1.3;1.3})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')

subplot(3,1,3)
plot(time,P_tot_2)
title(' Potencia Consumida en las 3 etapas de Chancado E_2 ')
legend('E_1_._1')
grid on
grid minor
%axis([0 3500 0 110])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Potencia[kW]')

%% (7) - Granulometrías - E1-1
figure(77)
p=plot(time,G_in(:,1),'r-');
title('Planta de Chancado - Granulometría de entrada')
grid on
grid minor
legend('Granulometría de entrada F80')
axis([0 18000./3600 0 500])
set(p,{'LineWidth'},{1.3})
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%%
figure(111)
plot(time,F_in(:,1),'b')
title('Planta de Chancado - Flujo de Entrada')
grid on
grid minor
legend('Flujo de entrada [Ton/h]')
axis([0 18050./3600 850 2050])
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Flujo [Ton/h]')

%% PID 1

figure(112)
subplot(4,1,1)
p1=plot(time,F_chan1(:,3));
legend('Flujo[t/h]')
title('Flujo a través de Chancador Primario RA-3');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Toneladas por hora [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,2)
p2=plot(time,G_in_chan1(:,3));
%axis([0 18000./3600 280 530])

```

```

legend('G. de entrada F80')
title('Granulometría de entrada a Chancador Primario');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,3)
p3=plot(time,SP1,'--',time,G_chan1(:,3),'m');
legend('Set-point','G. de salida P80 ');
title('Set-point y Granulometría de salida de Chancador Primario');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p3,{'LineWidth'},{1.5;0.5})

subplot(4,1,4)
p4=plot(time,CSS1(:,3));
legend('CSS1')
title('Close Side Setting Chancador Primario');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p4,{'LineWidth'},{1.3})
F_chan1=[data5_1(:,2),data5_2(:,2), dataE(:,2)]; %Flujo Chancado Primario [TPH]

%% PID 2
figure(113)

subplot(4,1,1)
p1=plot(time,F_chan2(:,3));
legend('Flujo[t/h]')
title('Flujo a través de Chancador Secundario RA-11');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Toneladas por hora [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,2)
p2=plot(time,G_in_chan2(:,3));
legend('G. de entrada F80')
title('Granulometría de entrada a Chancador Secundario RA-11');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%axis([0 18000 0 230])
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,3)
p3=plot(time,SP2,'--',time,G_chan2(:,3),'m');
legend('Set-point','G. de salida P80 ');
title('Set-point y Granulometría de salida de Chancador Secundario RA-11');

```

```

grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
set(p3,{'LineWidth'},{1.3;1.3})

subplot(4,1,4)
p4=plot(time,CSS2(:,3));
legend('CSS2')
title('Close Side Setting Chancador Secundario');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
set(p4,{'LineWidth'},{1.3})

%% PID 3a
figure(114)

subplot(4,1,1)
p1=plot(time,F_chan3a(:,3));
legend('Flujo[t/h]')
title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12A');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Toneladas por hora [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,2)
p2=plot(time,G_in_chan3(:,3));
legend('G. de entrada F80')
title('Granulometría de entrada a Chancador Terciario RA-12A');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%axis([0 18000./3600 0 230])
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,3)
p3=plot(time,SP3a,'--',time,G_chan3a(:,3),'m');
legend('Set-point','G. de salida P80 ')
title('Set-point y Granulometría de salida de Chancador Terciario RA-12A');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
set(p3,{'LineWidth'},{1.3;1});

subplot(4,1,4)
p4=plot(time,CSS3a(:,3));
legend('CSS3a')
title('Close Side Setting Chancador Terciario RA-12A');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')

```

```

set(p4,{'LineWidth'},{1.3})
%% PID 3b

figure(115)

subplot(4,1,1)
p1=plot(time,F_chan3b(:,3));
legend('Flujo[t/h]')
title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Toneladas por hora [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,2)
p2=plot(time,G_in_chan3(:,3));
legend('G. de entrada F80')
title('Granulometría de entrada a Chancador Terciario RA-12B');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
%axis([0 18000./3600 0 230])
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(4,1,3)
p3=plot(time,SP3b,'--',time,G_chan3b(:,3),'m');
legend('Set-point','G. de salida P80 ')
title('Set-point y Granulometría de salida de Chancador Terciario RA-12B');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
set(p3,{'LineWidth'},{1.3;1});

subplot(4,1,4)
p4=plot(time,CSS3b(:,3));
legend('CSS3b')
title('Close Side Setting Chancador Terciario RA-12B');
grid on
grid minor
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
set(p4,{'LineWidth'},{1.3})

%% GRANULOMETRÍA E1.1

figure(116)

subplot(3,1,1)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan1(:,1),time,G_chan1(:,1));
legend('G_i_n]')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Primario RA-3');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [t/h]')
grid on

```

```

grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS1(:,1));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan2(:,1),time,G_chan2(:,1));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Secundario RA-11');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS2(:,1));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,3)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan3(:,1),time,G_chan3a(:,1));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Terciario RA-12A');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS3a(:,1));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

%% GRANULOMETRÍA E1.2

```



```

figure(117)

subplot(3,1,1)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan1(:,2),time,G_chan1(:,2));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Primario RA-3');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS1(:,2));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan2(:,2),time,G_chan2(:,2));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Secundario RA-11');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [t/h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS2(:,2));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,3)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan3(:,2),time,G_chan3a(:,2));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Terciario RA-12A');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

```

```

yyaxis right
p2=plot(time,CSS3a(:,2));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

%% GRANULOMETRÍA E2
figure(118)

subplot(3,1,1)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan1(:,3),time,G_chan1(:,3));
legend('G_i_nj')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Primario RA-3 - E2');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS1(:,3));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan2(:,3),time,G_chan2(:,3));
legend('G_i_nj')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Secundario RA-11 - E2');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS1(:,3));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

```

```

subplot(3,1,3)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan3(:,3),time,G_chan3a(:,3));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Terciario RA-12A - E2');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS3a(:,3));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

% %Granulometrías
% G_in=[data2_1(:,2),data2_2(:,2), dataB(:,2)]; %Granulometría de entrada F80
% G_chan1=[data2_1(:,3),data2_2(:,3), dataB(:,3)]; %Granulometría de salida
Chancado Primario P80
% G_chan2=[data2_1(:,4),data2_2(:,4), dataB(:,4)]; %Granulometría de salida
Chancado Secundario P80
% G_chan3=[data2_1(:,5),data2_2(:,5), dataB(:,5)]; %Granulometría de salida
Chancado Terciario P80
% G_chan3a=[data8_1(:,5),data8_2(:,5), dataI(:,5)]; %Granulometría de salida P80
Chancador Terciario RA12-A
% G_chan3b=[data9_1(:,2),data9_2(:,2), dataJ(:,2)]; %Granulometría de salida P80
Chancador Terciario RA12-B
% G_out=[data4_1(:,2),data4_2(:,2), dataD(:,2)]; %Granulometría de salida P80
% G_in_chan1=[data4_1(:,3),data4_2(:,3), dataD(:,3)]; %Granulometría de entrada
Chancado Primario F80
% G_in_chan2=[data4_1(:,4),data4_2(:,4), dataD(:,4)]; %Granulometría de entrada
Chancado Secundario F80
% G_in_chan3=[data4_1(:,5),data4_2(:,5), dataD(:,5)]; %Granulometría de entrada
Chancado Terciario F80
%
%
% CSS1=[data7_1(:,5),data7_2(:,5),dataH(:,5)]; %Closed Side Setting para RA-3
% CSS2=[data8_1(:,2),data8_2(:,2),dataI(:,2)]; %Closed Side Setting para RA-11
% CSS3a=[data8_1(:,3),data8_2(:,3),dataI(:,3)]; %Closed Side Setting para RA-12A
% CSS3b=[data8_1(:,4),data8_2(:,4),dataI(:,4)]; %Closed Side Setting para RA-12B

%%

figure(119)

subplot(3,1,1)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan1(:,3),time,G_chan1(:,3));
legend('G_i_n')

```

```

title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Primario RA-3 - E2');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel('Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS1(:,3));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
yyaxis left
p1=plot(time,G_in_chan2(:,3),time,G_chan2(:,3));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Secundario RA-11 - E2');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p2=plot(time,CSS1(:,3));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,3)
yyaxis left
p3=plot(time,G_in_chan3(:,3),time,G_chan3a(:,3));
legend('G_i_n')
title('F80, P80 y Close Side Setting - Chancador Terciario RA-12A - E2');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' Granulometría [mm]')
grid on
grid minor
set(p3,{'LineWidth'},{1.3})

yyaxis right
p4=plot(time,CSS3a(:,3));
legend('F80','P80','CSS')
%title('Flujo a través de Chancador Terciario RA-12B');
xlabel('tiempo[h]')
ylabel(' [mm]')
grid on

```

```

grid minor
set(p4,{'LineWidth'},{1.3})

%% Razón de Reducción - E1.1

figure(120)

subplot(3,1,1)
p1=plot(time,RR1_11);
legend('RR Chancador Primario')
title('Razón de Reducción E1.1');
xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
p2=plot(time,RR2_11);
legend('RR Chancador Secundario')

xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,3)
p3=plot(time,RR3_11);
legend('RR Chancador Terciario')

xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p3,{'LineWidth'},{1.3})

%% Razón de Reducción - E1.2

figure(121)

subplot(3,1,1)
p1=plot(time,RR1_12);
legend('RR Chancador Primario')
title('Razón de Reducción E1.2');
xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
p2=plot(time,RR2_12);
legend('RR Chancador Secundario')

xlabel('tiempo[h]')

```

```

grid on
grid minor
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,3)
p3=plot(time,RR3_12);
legend('RR Chancador Terciario')

xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p3,{'LineWidth'},{1.3})

%% Razón de Reducción - E2

figure(122)

subplot(3,1,1)
p1=plot(time,RR1_2);
legend('RR Chancador Primario')
title('Razón de Reducción E2');
xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p1,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,2)
p2=plot(time,RR2_2);
legend('RR Chancador Secundario')
axis([0.02917 5 0 7])
xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p2,{'LineWidth'},{1.3})

subplot(3,1,3)
p3=plot(time,RR3_2);
legend('RR Chancador Terciario')

xlabel('tiempo[h]')
grid on
grid minor
set(p3,{'LineWidth'},{1.3})

```

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA
RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO**

Departamento : Departamento de Ingeniería Eléctrica
Carrera : Ingeniería Civil Electrónica
Nombre del memorista : René Augusto Felipe Guevara Bain
Título de la memoria : **SIMULACIÓN DE UN CIRCUITO DE CHANCADO
USANDO IDEAS™**
Fecha de la presentación oral : 03/01/2023

Profesor(es) guía : Daniel Sbarbaro H.
Profesor(es) revisor(es) : José Espinoza, Alejandro Rojas
Concepto :
Calificación :

Resumen (máximo 200 palabras)

En este trabajo se realizó una simulación de un circuito de chancado de Minas “El Romeral”, esta mina está ubicada al norte de la ciudad de La Serena, Región de Coquimbo. En la mina se producen los siguientes productos: Pellet Feed, Granzas y Finos.

La planta de chancado consta de tres etapas de chancado: Chancado Primario, Chancado Secundario y Chancado Terciario.

La simulación se realizó sobre el programa IDEAS™ de Andritz. El programa consta de una gran variedad de librerías las cuales contienen los objetos a utilizar. Los objetos, en el caso de las librerías relacionadas a minería, corresponden a dispositivos reales. Estos objetos son puestos en una hoja de trabajo y se unen, formando una planta.

Luego de haber simulado la planta, se le efectuaron algunas optimizaciones, tales como: control On/Off sobre la tolva de repaso y control PID sobre las tres etapas de chancado. Esto resultó en un mayor flujo de mineral de baja granulometría hacia la siguiente etapa, con un consumo extra de energía.

Se concluye entonces que es posible realizar la simulación de este circuito de chancado en el simulador IDEAS™. Incluso es posible optimizar el circuito al incluir exitosamente distintas estrategias de control.