



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN METALURGIA

**SIMULADOR PARA EL CIRCUITO DE CHANCADO SECUNDARIO Y
TERCIARIO DE LA PLANTA DE ÓXIDOS DEL GRUPO MINERO LAS CENIZAS**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil Metalurgia”

Profesor Guía: Dr. Mario Santander Muñoz

Yack Chester Venegas Lillo

Copiapó, Chile 2023



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN METALURGIA

**SIMULADOR PARA EL CIRCUITO DE CHANCADO SECUNDARIO Y
TERCIARIO DE LA PLANTA DE ÓXIDOS DEL GRUPO MINERO LAS CENIZAS**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil Metalurgia”

Profesor Guía: Dr. Mario Santander Muñoz

Comisión: Dra. Ana Rivera Varas
Ing. Ivonne López Campusano

Yack Chester Venegas Lillo

Copiapó, Chile 2023

**SIMULADOR PARA EL CIRCUITO DE CHANCADO SECUNDARIO Y TERCARIO
DE LA PLANTA DE ÓXIDOS DEL GRUPO MINERO LAS CENIZAS**

Este documento de Trabajo de Titulación fue aprobado por:

Nombre de la comisión	Calificación	Firma
Dr. Mario Santander Muñoz Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	7.0	
Dra. Ana Rivera Varas Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	7.0	
Ing. Ivonne López Campusano Departamento de Ingeniería en Metalurgia Universidad de Atacama Copiapó-Chile	6.5	

Mg. Juan Chamorro Gonzalez
Director Departamento de Ingeniería en Metalurgia

DEDICATORIA

*A mis seres queridos que siempre confiaron en mis capacidades.
A mis hijos motor de vida que me llevan a querer siempre superarme.
A la perseverancia que llego a mí ya de adulto y que constantemente me dice
debes continuar y no rendirte.
A la humildad que me ha acompañado estos últimos años y que ha permitido solicitar
apoyo cuando lo he requerido.
Y a la vida, que me ha acompañado en las buenas y el las malas, mostrándome un
camino lleno de dificultades, pero haciéndome comprender que no soy el único que lo
padece.*

*La desesperanza es una de causas más importantes por la cual muchos no lograron
cruzar la meta, “romper al destino es lo que ha hecho grande a muchas personas y
sociedades “.
Pero ¿qué es ser “grande” ?, para mi es llegar más arriba de lo pequeño que podemos
ser.*

AGRADECIMIENTOS

“¿A quién agradecer?”, que complicada decisión para quien comienza a redactar estas palabras, más cuando lo que menos he tenido en la vida es el “don de la palabra”. Entonces me centro en el contexto de este trabajo y me pregunto quienes estuvieron cuando trataba de armar algo que tuviera la forma y el contexto de una tesis y ahora es más fácil pensar a quienes agradecer.

De esta querida casa de estudio, de donde fueron y son formados mi hija Wilma y mi hijo Jack, quisiera dar las gracias, entre otras tantas personas, a la profesora Patricia Tapia Rojas y al profesor Mario Santander Muñoz quienes siempre entregaron toda su disposición y paciencia para que este trabajo llegara a puerto. También quiero dar las gracias, como parte importante del Departamento de Ingeniería en Metalurgia, a la Señorita Luz Araya Cortés, nexo primordial de comunicación con los docentes, quien nunca dejo de responder mis solicitudes.

Por sus preocupaciones y siempre importantes palabras de apoyo, que me ayudaron a no abandonar este proyecto, quiero agradecer a mi hijo Jack y mi hija Wilma, a quienes admiro demasiado. Además “a mi familia” en general de quienes siempre he sentido un sentir sincero de pertenencia en mis logros.

Finalmente quiero agradecer a todos quienes forjaron en mí, la forma de ver la vida, con la necesidad de superar nuestras limitaciones y no abandonar nuestros sueños.

Muchas gracias.

RESUMEN

El presente trabajo de título tuvo como objetivo implementar un simulador para el circuito de chancado de la Planta de Óxidos (POX), del Grupo Minero las Cenizas, utilizando los modelos de Whiten para chancadores de cono y harneros vibratorios; el simulador fue programado en Visual Basic para Excel. La información requerida, para calcular los parámetros de los modelos y correlacionarlos con la variable de operación, fue obtenida mediante muestreos realizados bajo diferentes condiciones de operación y la masa mínima de muestra requerida para cada uno de los flujos muestreados fue determinada utilizando la ecuación de Pierre Gy, asumiendo un error de muestreo <5%. Los balances de masa de flujos totales y por fracción granulométrica fueron ajustados aplicando el método de los Multiplicadores de Lagrange. Los resultados del ajuste del balance de masa mostraron que los flujos que experimentaron mayor grado de ajuste en el caso de los chancadores, fue el chancador secundario, que alcanzó diferencias porcentuales relativas entre el flujo de descarga medido y ajustado que variaron entre 4,1% y 38,8%; y el caso de los harneros, el harnero secundario alcanzó una diferencia porcentual relativa entre el flujo de alimentación medido y ajustado de 34,1% y en el harnero terciario el flujo de sobre tamaño alcanzó diferencias porcentuales relativas entre los flujos medidos y ajustados que varían entre 6% y 18,2%. Los parámetros de los modelos fueron correlacionados con las variables de operación aplicando técnicas de regresión no lineal; en el caso de los chancadores los parámetros fueron correlacionados, con el flujo de alimentación, tamaño 80% pasante en la alimentación y abertura del lado cerrado (CSS) de los chancadores; y en el caso de los harneros el parámetro “m” fue correlacionado con el flujo de alimentación y % de partículas con tamaño mayor a la abertura de los harneros. Las predicciones de los modelos fueron validadas verificando que las curvas de fractura y clasificación se ajustara al tipo de cámara de chancado y comparando la razón de reducción de los chancadores y eficiencias de los harneros calculada con las distribuciones granulométricas ajustadas y la predichas por los modelos. Los resultados de la validación mostraron que las curvas de fractura y clasificación se corresponde con el tipo de cámara de chancado y que las razones de reducción de los chancadores y eficiencia de los harneros, calculadas con las distribuciones granulométricas ajustadas y la predichas por el modelo son similares. Una vez validados los modelos fue implementado y utilizado el simulador para analizar el efecto del flujo de alimentación, abertura del lado cerrado de los chancadores y distribución granulométrica de alimentación, los resultados de las simulaciones permitieron estimar que para las condiciones de operación de la POX, el máximo flujo masico de alimentación del circuito chancado estaría en torno a $320 \text{ t/h} \pm 15 \text{ t/h}$ sin superar las capacidades máxima de los chancadores y harneros del circuito, esto con un CSS en los chancadores secundario y terciario de 17 y 10 mm; apertura de las mallas de los harneros secundario y terciario de 25 y 17 mm; área de clasificación de los harneros secundario y terciario 12,7 y 9 m²; 12 mm de tamaño 80% pasante en la alimentación del producto final del circuito chancado.

SUMMARY

The present thesis aimed to implement a simulator for the crushing circuit of the Oxides Plant (POX), owned by the Mining Group "Las Cenizas," using Whiten models for cone crushers and vibrating screens. The simulator was programmed in Visual Basic for Excel. The required information to calculate the model parameters and correlate them with the operating variable was obtained through sampling conducted under various operating conditions. The minimum sample mass required for each of the sampled flows was determined using the Pierre Gy equation, assuming a sampling error of <5%. Mass balances for total flows and by particle size fraction were adjusted using the method of Lagrange Multipliers. The results of the mass balance adjustment showed that the flows experiencing the most significant degree of adjustment in the case of crushers were the secondary crushers, which exhibited relative percentage differences between measured and adjusted discharge flows ranging from 4.1% to 38.8%. In the case of screens, the secondary screen achieved a relative percentage difference between measured and adjusted feed flow of 34.1%, and the tertiary screen's oversize flow exhibited relative percentage differences between measured and adjusted flows ranging from 6% to 18.2%. The model parameters were correlated with the operating variables using nonlinear regression techniques. For crushers, the parameters were correlated with the feed flow, 80% passing size in the feed, and the closed-side setting (CSS) of the crushers. For screens, the parameter "m" was correlated with the feed flow and the percentage of particles with a size greater than the screen openings. The model predictions were validated by ensuring that the fracture and classification curves matched the type of crushing chamber, and by comparing the reduction ratios of the crushers and the efficiencies of the screens calculated using the adjusted particle size distributions with those predicted by the models. The validation results demonstrated that the fracture and classification curves corresponded to the type of crushing chamber and that the reduction ratios of the crushers and the efficiencies of the screens, calculated using the adjusted particle size distributions and those predicted by the model, were similar. Once the models were validated, the simulator was implemented and used to analyze the effects of feed flow, closed-side setting of the crushers, and feed particle size distribution. The simulation results allowed estimating that, under the operating conditions of the POX plant, the maximum mass flow rate of the crushing circuit would be around 320 t/h \pm 15 t/h without exceeding the maximum capacities of the crushers and screens in the circuit. This would be achieved with a CSS of 17 mm for the secondary and tertiary crushers, screen mesh openings of 25 mm for the secondary screen and 17 mm for the tertiary screen, classification area of 12.7 m² for the secondary screen and 9 m² for the tertiary screen, and an 80% passing size of 12 mm in the feed of the final product of the crushing circuit

ÍNDICE DE CONTENIDO

.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes generales	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
2. DESCRIPCIÓN DEL CHANCADO PRIMARIO, SECUNDARIO Y TERCIARIO DE LA PLANTA ÓXIDO DE LA MINERA LAS CENIZAS TALTAL.....	3
2.1. Localización Planta de Óxidos	3
2.2. Chancado primario y secundario.....	3
2.3. Chancado terciario.....	7
3. ANTECEDENTES TEÓRICOS	11
3.1. Modelo de proceso de ruptura (chancador)	11
3.2. Modelo matemático Whiten chancadores de cono.....	17
3.2.1. Matriz Clasificación:.....	18
3.2.2. Matriz fractura:.....	20
3.2.3. Relación de las variables del modelo de Whiten del chancador con las variables de operación.....	23
3.3. Descripción proceso de clasificación.....	24
3.3.1. Modelo matemático de un harnero, modelo de Whiten	26
3.3.2. Relación de la variable “m” del modelo de Whiten del harnero con las variables de operación.....	31
3.4. Ajuste de balance de masas por Lagrange.....	31
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	39
4.1. Muestras Preliminares	39
4.2. Colecta y Preparación de las Muestras.....	41
4.2.1. Método de colecta de las muestras.....	41
4.2.2. Determinación de distribuciones de tamaño y flujos máxicos.....	44
4.3. Ajuste del Balance de Masas.....	47
4.3.1. Ajuste de los flujos máxicos totales en los chancadores	48
4.3.2. Ajuste de los flujos máxicos totales en los harneros	48
4.3.3. Ajuste de los flujos máxicos por fracción granulométrica en los harneros	49
4.4. Estimación de los parámetros de los modelos	50
4.4.1. Chancadores	50
4.4.2. Harneros.....	52

4.5.	Implementación de un simulador de circuito de chancado	53
4.5.1.	Descripción del programa	54
5.	Análisis y Discusión de Resultados.....	64
5.1.	Ajuste de Balances de Masas	64
5.1.1.	Ajuste de balance de masas flujos másicos chancador secundario	64
5.1.2.	Ajuste de balance de masas flujos másicos totales y por tamaños harnero secundario	67
5.1.3.	Ajuste de balance de masas flujos másicos totales y por tamaños harnero terciario	69
5.2.	Estimación parámetros modelo.....	71
5.2.1.	Modelo de Whiten chancador secundario	71
5.2.2.	Modelo de Whiten chancador terciario	73
5.2.3.	Modelo de Whiten harnero secundario.....	75
5.2.4.	Modelo de Whiten harnero terciario	77
5.3.	Validación y discusión de los modelos	79
5.3.1.	Validación del modelo de Whiten para los harneros.....	79
5.3.1.1.	Curva eficiencias harnero secundario	79
5.3.1.2.	Curva eficiencias Harneros terciario	83
5.3.2.	Validación del modelo de Whiten para los Chancadores.....	87
5.3.2.1.	Tipo de cámara del chancador y su comportamiento	87
5.3.2.2.	Análisis curvas chancadores secundarios.....	89
5.3.2.2.1.	Análisis curva fractura chancador secundario	89
5.3.2.2.2.	Análisis curva clasificación chancador secundario	91
5.3.2.2.3.	Análisis gráficos razón de reducción chancador secundario.....	92
5.3.2.3.	Análisis curvas chancador terciario.....	94
5.3.2.3.1.	Análisis curva fractura chancador terciario	94
5.3.2.3.2.	Análisis curva clasificación chancador terciario	96
5.3.2.3.3.	Análisis gráficos razón de reducción chancador terciario	97
5.4.	Simulación del efecto de variables.....	98
5.4.1.	Uso y estructura del simulador.....	98
5.4.1.1.	Ventana principal	98
5.4.1.2.	Ventana simulación	100
5.4.2.	Simulación del efecto de variables operacionales.....	104
5.4.2.1.	Simulación modificando CSS chancador secundario	105
5.4.2.2.	Simulación modificando P80 de alimentación circuito chancador terciario ..	109

5.4.2.3.	Simulación modificando CSS del chancador terciario	111
5.4.2.4.	Simulación modificando flujo alimentación circuito chancado secundario ...	116
5.4.2.5.	Simulación modificando flujo alimentación circuito chancador terciario.....	118
6.	CONCLUSIONES	120
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	123
A.	MUESTREO Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	125
A.1.	Cálculo del tamaño de la muestra representativa.....	126
A.1.2.	Obtención de la contante K.....	127
A.1.2.1.	Factor de composición mineralógica (gr/cm^3).....	127
A.1.2.2.	Factor de distribución de tamaño (sin dimensión)	128
A.1.2.3.	Factor de forma de las partículas (sin dimensión)	128
A.1.2.4.	Factor de liberación ($0 < l < 1$, sin dimensión)	129
A.1.3.	Cálculo de la muestra representativa para un error de 5%	129
A.2.	Muestreo cintas para determinar parámetros de Whiten	130
A.2.1.	Muestreo chancador secundario sin ajustar	131
A.2.2.	Muestreo chancador terciario sin ajustar.....	137
A.2.4.	Muestreo harnero secundario no ajustadas	143
A.2.5.	Muestreo harnero terciario no ajustadas.....	145
A.3	Cálculo de error Muestreos	150
A.4.	Ajuste balance de masa, mediante la técnica de los Multiplicadores de Lagrange de los harneros y modelo de Whiten.....	152
A.4.1.	Muestreo harnero secundario ajustadas y modelo Whiten.....	152
A.4.2.	Muestreo harnero terciario ajustadas y modelo Whiten.....	159
A.4.3.	Muestreo chancador secundario ajustadas y modelo Whiten.....	167
A.4.4.	Muestreo chancador terciario ajustadas y modelo Whiten	179
B.	ECUACIONES DE RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD DE LOS CHANCADORES Y HARNEROS	192
B.1.	Ecuaciones de restricción de capacidad para chancador CH 440	192
B.1.1	Modelación de curvas Cámara EC/ C/ MC/M/MF/F Chancador CH440	194
B.2	Ecuaciones de restricción, de capacidad para Harneros	198
B.2.1	Flujo de alimentación máximo.....	198
B.2.1.1	Parámetro A	199
B.2.1.2	Factor C	199
B.2.1.3	Factor M.....	200
B.2.1.4	Factor K	201

B.2.1.5	Factor P	202
B.2.1.6	Factor Q	202
B.2.1.7	Factor Q6	207
B.2.2	Efecto de la carga en la eficiencia.....	208
B.2.3	Efecto espesor recomendado en el primer deck.	210

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Circuito chancado primario y secundario Planta óxido minera las Cenizas	4
Figura 2.2	Circuito chancado terciario Planta óxido Minera las Cenizas	8
Figura 3.1	Apertura OSS, CSS y ECC de la cámara de un chancador de cono	11
Figura 3.2	Comportamiento de las partículas, para distintos tamaños	13
Figura 3.3	Sucesivas rupturas de una roca de tamaño mayor a OSS, durante los sucesivos ciclos de apertura y cierre	13
Figura 3.4	Diagrama de bloques clasificación y ruptura de un chancador	15
Figura 3.5	Comportamiento del mineral dentro de una cámara de chancado.....	16
Figura 3.6	Diagrama de flujo modelo de Whiten.....	17
Figura 3.7	Función de clasificación de Whiten	19
Figura 3.8	Curva fractura para un tamaño madre.....	21
Figura 3.9	Zonas de clasificación de un Harnero	26
Figura N° 3.10	Curva eficiencia de un harnero.....	27
Figura 3.11	Esquema de la malla de un harnero.....	28
Figura 3.12	Sistema matemáticamente consistente e inconsistente.....	32
Figura 3.13.	Sistema matricial para balance de flujos principales.....	35
Figura 3.14.	Flujos parciales en un nodo j.....	36
Figura 315.	Sistema matricial para balance de flujos parciales por tamaño granulométrico.	38
Figura 4.1	Ubicación puntos de muestreo circuito secundario.....	42
Figura 4.2	Ubicación puntos de muestreo circuito terciara	42
Figura 4.3	Colecta de muestra sobre la correa CT-02.....	44
Figura 4.4	Diagrama Programa de ingreso de datos Whiten	56
Figura 4.5	UserForm ingreso de parámetros Operacionales	56
Figura 4.6	Diagrama Programa de ingreso de datos Operacionales	57
Figura 4.7	UserForm ingreso de parámetros Operacionales	58
Figura 4.8	Diagrama Programa captura de resultados simulación	59
Figura 4.9	UserForm captura los resultados de la simulación	60
Figura 4.10	Diagrama Programa Circuito Secundario	62

Figura 4.11 Diagrama Programa Circuito Terciario	63
Figura 5.1 Flujos de alimentación y descarga medidas y ajustadas, para cada uno de los muestreos realizados en el Chancador secundarios.	66
Figura 5.2 Distribuciones granulométricas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño medidas y ajustadas, para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundario.	68
Figura 5.3 Distribuciones granulométricas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño medidas y ajustadas, para cada uno de los muestreos realizados en el harnero terciario.....	70
Figura 5.4 Distribuciones granulométricas, expresadas % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, descarga ajustadas y modelo Whiten para cada uno de los muestreos realizados en el chancador secundario.	72
Figura 5.5 Distribuciones granulométricas, expresadas % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, descarga ajustadas y modelo Whiten para cada uno de los muestreos realizados en el chancador terciario.	74
Figura 5.6 Distribuciones granulométricas, expresadas % en acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño ajustadas y modeladas por Whiten, para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundarios.	76
Figura 5.7 Distribuciones granulométricas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño ajustadas y modeladas por Whiten, para cada uno de los muestreos realizados en los harneros terciario.....	78
Figura 5.8 Curvas de eficiencia calculadas con las distribuciones granulométricas ajustadas y calculadas con el modelo de Whiten.	80
Figura 5.9 Eficiencias bajo tamaño recuperada harnero secundario.	81
Figura 5.10 Eficiencias bajo tamaño removida harnero secundario.....	82
Figura 5.11 Eficiencia promedio por intervalo de las muestras ajustadas vs modelo de Whiten harnero terciario.....	84
Figura 5.12 Eficiencias bajo tamaño recuperada harnero terciario.	85
Figura 5.13 Eficiencias bajo tamaño removidas harnero terciario.....	86
Figura 5.14. Forma de las cámaras EC y F del chancador CH440 Sandvik.	88
Figura 5.15 Curva Fractura cámara EC, CSS de 22 mm, chancador secundario.	90
Figura 5.16 Curva Fractura partícula madre de 50 mm, cámara EC para distintos CSS, chancador secundario.	90
Figura 5.17 Curva clasificación para distintos CSS chancador secundario.	91
Figura 5.18 Razón de reducción Vs Flujo alimentación chancador secundario.	93
Figura 5.19 Razón de reducción CSS vs F80 alimentación chancador secundario.	93
Figura 5.20 Curva Fractura para una cámara F, CSS de 12 mm, chancador terciario.	95
Figura 5.21 Curva Fractura, partícula madre de 25 mm, para una cámara F para distintos CSS, chancador terciario.	95
Figura 5.22 Curva clasificación para distintos CSS chancador terciario.	96
Figura 5.23 Razón de reducción vs Flujo alimentación chancador terciario.	97

Figura 5.24 Razón de reducción vs F80 chancador terciario.....	98
Figura 5.25 Ventana principal programa simulador circuito chancado planta óxido minera las cenizas Taltal.....	99
Figura 5.26 Ventana simulación, descripción de botones de operación.	100
Figura 5.27 Ventana simulación, información que entrega su pantalla principal.....	101
Figura 5.28 Ventana informe ultima simulación; botón guardar copia informe simulación en formato PDF.	102
Figura 5.28 Botón “Guardar simulaciones PDF”, Guarda copia de hasta las últimas 7 simulación en formato PDF.....	103
Figura 5.29 botón “Guardar simulaciones Excel”, Guarda copia de hasta las últimas 7 simulación en formato Excel.	104
Figura 5.30 Granulometría chancador secundario para distintos CSS chancador secundario.	106
Figura 5.31 Granulometría Harnero secundario para distintos CSS chancador secundario. ...	106
Figura 5.32 Flujos chancador y harnero secundario para distintos CSS chancador secundario.	107
Figura 5.33 P80 del chancador y harnero secundario para distintos CSS chancador secundario.	108
Figura 5.34 P80 del circuito chancado secundario para distintos CSS del chancador secundario.	108
Figura 5.36 Granulometría Harnero terciario con CSS 10 mm chancador terciario, modificación P 80 alimentación Stock Pile Grueso.....	109
Figura 5.36 Granulometría chancador terciario con CSS 10 mm, modificación P 80 alimentación Stock Pile Grueso.	110
Figura 5.37 Comportamiento P80 circuito terc. con CSS 10 mm, modificando P80 alimentación circuito terciario.	111
Figura 5.38 Comportamiento Razón de reducción circuito terc. con CSS 10 mm chancador terciario, modificación P 80 Alimentación Stock Pile Grueso.....	111
Figura 5.39 Granulometría chancador terciario, modificando su CSS.	112
Figura 5.40 Granulometría harnero terciario, modificando el CSS del Chancador terciario.	113
Figura 5.41 Comportamiento P80 circuito terciario, modificando el CSS del chancador terciario.	114
Figura 5.42 Comportamiento razón de reducción circuito terciario, modificando el CSS del chancador terciario.	114
Figura 5.43 Comportamiento Flujos chancador y harnero terciario para distintos CSS chancador terciario.....	115
Figura 5.44 Comportamiento utilización área harnero terciario modificando CSS chancador terciario.....	116
Figura 5.45 Comportamiento Flujos circuito chancador secundario para distintos flujos de alimentación.....	117
Figura 5.46 Comportamiento utilización área harnero secundario para distintos flujos de alimentación.....	117

Figura 5.47 Comportamiento Flujos circuito chancador terciario para distintos flujos de alimentación.....	118
Figura 5.48 Comportamiento utilización área harnero terciario para distintos flujos de alimentación en función de su área teoría.....	119
Figura A.1 Diagrama de flujo protocolo de muestreo.....	125
Figura A.2: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.	153
Figura A.3: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.	154
Figura A.4: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.	156
Figura A.5: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.	157
Figura A.6: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.	159
Figura A.7: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.	160
Figura A.8: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.	162
Figura A9: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.	163
Figura A10: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.	165
Figura A11: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.	166
Figura A12: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.....	167
Figura A13: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.....	168
Figura A14: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.....	169
Figura A15: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.....	170
Figura A16: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.....	171
Figura A17: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°6.....	172
Figura A18: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°7.....	173
Figura A19: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°8.....	174
Figura A20: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°9.....	175
Figura A21: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°10.....	176

Figura A22: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°11.....	177
Figura A23: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°12.....	178
Figura A24: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.	179
Figura A25: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.	180
Figura A26: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.	181
Figura A27: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.	182
Figura A28: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.	183
Figura A29: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°6.	184
Figura A30: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°7.	185
Figura A31: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°8.	186
Figura A32: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°9.	187
Figura A33: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°10.....	188
Figura A34: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°11.....	189
Figura A35: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°12.....	190
Figura B.1 Ficha operacional del chancador de cono CH de Sandvik.	193
Figura B.2: Curvas de capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara EC.....	194
FiguraB.3: Curvas de capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara C.	195
Figura B.4: Curvas de Chancador Sandvik CH440 cámara MC.	195
Figura B.5: Curvas capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara M.....	196
Figura B.6: Curvas de Chancador Sandvik CH440 cámara MF.....	197
Figura B.7: Curvas de capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara F.....	197
Figura B.8: Factor de capacidad C, análisis Metso para Harnero.....	199
Figura B.9: Factor M, análisis Metso para Harnero.	200
Figura B.10 Factor K, análisis Metso para Harnero.	201
Figura B.11 Mallas deck harneros.....	204
Figura B.12 Factor Q5, análisis Metso para Harnero.....	206

Figura B.13 Factor Q7, análisis Metso para Harnero.....	208
Figura B.14 Eficiencia harnero V/S flujo nominal, análisis Metso para Harnero.....	209
Figura B.15 Espesor cama primer deck, análisis Metso para Harnero.	210

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.a Características de los equipos instalados en los circuitos del chancado primario y secundario.	5
Tabla 2.1.b Características de los equipos instalados en los circuitos del chancado primario y secundario.	6
Tabla 2.2.a Características de los equipos instalados en el circuito del chancado terciario	8
Tabla 2.2. b Características de los equipos instalados en el circuito del chancado terciario.....	9
Tabla 2.2.c Características de los equipos instalados en el circuito del chancado terciario.....	10
Tabla 4.1. Masa mínima de muestra M_S , masa de muestra por unidad de longitud de cinta transportadora, M_M , y longitud de cinta transportadora que debe ser colectada como muestra L_S	40
Tabla 4.2 Velocidades de las diferentes cintas transportadoras	40
Tabla 4.3(a). Frecuencia y abertura CSS, muestreos chancadores secundario.	43
Tabla 4.3(b). Frecuencia y abertura CSS, muestreos chancadores terciario.....	43
Tabla 4.3(c). Frecuencia cinta transportadora en la alimentación al harnero secundario.	43
Tabla 4.3(c). Frecuencia cinta transportadora en la alimentación al harnero terciario.	43
Tabla 4.4(a) Valores de los flujos máxicos de alimentación, descarga, tamaño F80% pasante y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el chancador secundario.	46
Tabla 4.4(b) Valores de los flujos máxicos de alimentación, descarga, tamaño F80% pasante y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el chancador terciario.....	46
Tabla 4.4(c) Valores de los flujos máxicos de alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño, MC % y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el Harnero secundario.	47
Tabla 4.4(d) Valores de los flujos máxicos de alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño, MC % y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el Harnero terciario.....	47
Tabla 5.1. Flujos máxicos medidos y ajustados alimentación y descarga chancador secundario.	65
Tabla 5.2. Diferencia porcentual relativa entre los flujos máxicos totales medidos y ajustados, para la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño harnero secundario.....	67
Tabla 5.3. Diferencia porcentual relativa entre los flujos máxicos totales medidos y ajustados, para la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño harnero terciario.....	69

Tabla 5.4 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el Chancador secundario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.....	71
Tabla 5.5 Ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación del modelo de Whiten para el chancador secundario con las variables de operación a través de una relación del tipo polinómica.....	71
Tabla 5.6 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el Chancador terciario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.....	73
Tabla 5.7 Ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación del modelo de Whiten para el chancador terciario con las variables de operación a través de una relación del tipo lineal.....	73
Tabla 5.8 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el harnero secundario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.....	75
Tabla 5.9 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el harnero terciario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.....	77
Tabla 5.10 Error % eficiencias bajo tamaño recuperada entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundario.....	82
Tabla 5.11 Error % eficiencias bajo tamaño removida entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundario.....	82
Tabla 5.12 Número de rebotes "m" que debiera dar una partícula de tamaño menor a la apertura de la malla sin ser calificada, para cada uno de los muestreos realizados en el harnero secundario.....	83
Tabla 5.13 Error % eficiencias bajo tamaño recuperada entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros terciario.....	86
Tabla 5.14 Error % eficiencias bajo tamaño recuperada entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros terciario.....	86
Tabla 5.15 Numero de rebotes "m" que debiera dar una partícula de tamaño menor a la apertura de la malla sin ser clasificada, para cada uno de los muestreos realizados en el harnero terciario.....	87
Tabla A.1. Cálculo de la muestra representativa.....	129
Tabla A.2. Resumen listado de muestreos.....	130
Tabla A.3 Chancado secundario muestreo sin ajustar N° 1.....	131
Tabla A.4 Chancado secundario muestreo sin ajustar N° 2.....	131
Tabla A.5 Chancado secundario muestreo sin ajustar N°3.....	132
Tabla A.6 Chancado secundario muestreo sin ajustar N°4.....	132
Tabla A.7 Chancado secundario muestreo sin ajustar N°5.....	133
Tabla A.8. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°6.....	133
Tabla A.9. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°7.....	134
Tabla A.10. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°8.....	134

Tabla A.11. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°9.....	135
Tabla A.12. Chancado Secundario Muestreo sin ajustar N°10.....	135
Tabla A.13. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°11.....	136
Tabla A.14. Chancado secundario muestras sin ajustar N°12.....	136
Tabla A.15 Chancado terciario muestreo sin ajustar N°1.....	137
Tabla A.16. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°2.....	137
Tabla A.17. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°3.....	138
Tabla A.18. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°4.....	138
Tabla A.19. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°5.....	139
Tabla A.20. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°6.....	139
Tabla A.21. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°7.....	140
Tabla A.22 Chancado terciario muestreo sin ajustar N°8.....	140
Tabla A.23. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°9.....	141
Tabla A.24. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°10.....	141
Tabla A.25. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°11.....	142
Tabla A.26. Chancado terciario muestras sin ajustar N°12.....	142
Tabla A.27. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°1.....	143
Tabla A.28. Harnero secundario muestreo sin ajustar N° 2.....	143
Tabla A.29. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°3.....	144
Tabla A.30. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°4.....	144
Tabla A.31. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°5.....	145
Tabla A.32 Harnero terciario muestreo sin ajustar N°1.....	145
Tabla A.33. Harnero terciario muestreo sin ajustar N°2.....	148
Tabla A.34. Harnero terciario muestreo sin ajustar N°3.....	148
Tabla A.35. Harnero terciario muestras sin ajustar N°4.....	149
Tabla A.36. Harnero terciario muestreo sin ajustar N°5.....	149
Tabla A.37. Error fundamental muestreos harneros.....	150
Tabla A.38. Error fundamental muestreos chancadores.....	151
Tabla A.39 Harnero secundario muestreo ajustadas N°1.....	152
Tabla A.40 Harnero secundario modelo Whiten N°1.....	152
Tabla A.41 Harnero secundario muestras ajustadas N°2.....	153
Tabla A.42 Harnero secundario modelo Whiten N°2.....	154
Tabla A.43 Harnero secundario muestras ajustadas N°3.....	155
Tabla A.44 Harnero secundario modelo Whiten N°3.....	155
Tabla A.45. Harnero secundario muestras ajustadas N°4.....	156
Tabla A.46 Harnero secundario modelo Whiten N°4.....	157

Tabla A.47. Harnero secundario muestras ajustadas N°5.	158
Tabla A.48. Harnero secundario modelo Whiten N°5.	158
Tabla A.49. Harnero terciario muestras ajustadas N°1.	159
Tabla A.50. Harnero terciario modelo Whiten N°1.	160
Tabla A.51. Harnero Terciario Muestras ajustadas N°2.	161
Tabla A.52. Harnero secundario modelo Whiten N°2.	161
Tabla A.53. Harnero terciario muestras ajustadas N°3.	162
Tabla A.54. Harnero secundario modelo Whiten N°3.	163
Tabla A.55. Harnero terciario muestras ajustadas N°4.	164
Tabla A.56. Harnero secundario modelo Whiten N°4.	164
Tabla A.57. Harnero terciario muestras ajustadas N° 5.	165
Tabla A.58. Harnero secundario modelo Whiten N°5.	166
Tabla A.59. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°1.	167
Tabla A.61. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°2.	168
Tabla A.62. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°3.	169
Tabla A.63. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°4.	170
Tabla A.64. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°5.	171
Tabla A.65. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°6.	172
Tabla A.66. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°7.	173
Tabla A.67. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°8.	174
Tabla A.68. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°9.	175
Tabla A.69. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°10.	176
Tabla A.70. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°11.	177
Tabla A.71. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°12.	178
Tabla A.72. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°1.	179
Tabla A.73. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°2.	180
Tabla A.74. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°3.	181
Tabla A.75. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°4.	182
Tabla A.76. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°5.	183
Tabla A.77. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°6.	184
Tabla A.78. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°7.	185
Tabla A.79. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°8.	186
Tabla A.80. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°9.	187
Tabla A.81. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°10.	188
Tabla A.82. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°11.	189
Tabla A.83. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°12.	190

Tabla B.1 Capacidad nominal MTPH chancador de cono CH 440 Sandvik.....	192
Tabla B.2 factor Q1, análisis Metso para Harnero.....	202
Tabla B.3 factor Q2, análisis Metso para Harnero.....	203
Tabla B.4 factor Q3.....	203
Tabla B.5 factor Q4, análisis Metso para Harnero.....	204
Tabla B.6 factor Q5, análisis Metso para Harnero.....	206
Tabla B.7 factor Q6, análisis Metso para Harnero.....	207

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes generales

El escenario complicado que ha tenido que enfrentar la minería de cobre en Chile, producto de la volatilidad del precio del cobre y las bajas de las leyes de los yacimientos, ha generado la necesidad de optimizar cada vez más las operaciones metalúrgicas y una herramienta útil y fundamental para realizarla, es el uso de los simuladores. La simulación de procesos puede ser definida, como una técnica para evaluar en forma rápida un proceso con base en una representación del mismo, mediante modelos matemáticos. Permite efectuar el análisis de plantas metalúrgicas y llevar a cabo las siguientes tareas, las cuales son comunes en las diversas áreas de la industria minero-metalúrgica: predicción de los efectos de cambios en las condiciones de operación y capacidad de la planta, optimización de las variables de operación, optimización del proceso cuando cambian las características de los insumos y/o las condiciones económicas del mercado, evaluación de alternativas de proceso para reducir el consumo de energía, análisis de condiciones críticas de operación, etc.

Para la modelación de los procesos han surgido una gran variedad de software, dedicados a una o varias áreas de la ingeniería, es el caso del simulador JKSimmet desarrollado para modelar los procesos de chancado, molienda y flotación o el PlantDesigner de Sandvik, dedicado a la simulación de equipos fabricados por esta compañía.

En el caso de la Planta Óxido del Grupo Minero las Cenizas, solo se han utilizado dos software de simulación, uno es el aplicado por la empresa CYTEC para entregar los informes del proceso de extracción de solvente basados en los Diagramas de McCabe-Thiele y el segundo corresponde a las simulaciones hechas por Sandvik el 2008 a partir de las granulometrías existentes de la mina Altamira, mina que ya no abastece a la planta, debido al que el 2015 se comenzó a recibir mineral desde la Mina Barreal.

El 2015 se consideró la idea de adquirir el programa JKSimmet, para realizar las simulaciones del chancado, pero esto fue desechado debido a que el programa utiliza las pruebas de rompimiento de partículas de JK para predecir tanto el rompimiento como

el consumo de la energía del chancador y por lo cual, se requiere enviar muestras de mineral a un laboratorio.

Con el propósito de tener una herramienta que permita predecir el efecto de los cambios en las condiciones de operación sobre el rendimiento y capacidad de la planta, surge la necesidad de implementar un simulador para el circuito de chancado secundario y terciario de la Planta de Óxido del Grupo Minero las Cenizas, utilizando los modelos para chancadores de cono y harneros vibratorios formulados Whiten.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Implementar un simulador para el circuito de chancado secundario y terciario de la Planta de Óxidos del Grupo Minero las Cenizas, utilizando los modelos para chancadores de cono y harneros vibratorios formulados por Whiten.

1.2.2. Objetivos Específicos

a) Realizar muestreos al circuito de chancador secundario y terciario bajo diferentes condiciones de operación (flujo de alimentación, CSS chancadores y distribuciones granulométricas).

b) Consolidar la información obtenida en el muestreo ajustando el balance de masa aplicando la técnica de los Multiplicadores de Lagrange.

c) Obtener las correlaciones entre los parámetros de los modelos y las variables de operación aplicando técnicas de regresión no lineal.

d) Validar los modelos verificando que las curvas de fractura y clasificación se ajusten al tipo de cámara de chancado y comparando que la razón de reducción de los chancadores y eficiencias de los harneros calculada con las distribuciones granulométricas ajustadas y la predichas por los modelos.

e) Analizar mediante simulación el efecto de CSS y flujo de alimentación sobre el rendimiento de la planta de chancado

2. DESCRIPCIÓN DEL CHANCADO PRIMARIO, SECUNDARIO Y TERCIARIO DE LA PLANTA ÓXIDO DE LA MINERA LAS CENIZAS TALTAL

A continuación, se describen los diferentes circuitos y equipos del área chancado de la Planta óxido Minera las Cenizas Taltal.

2.1. Localización Planta de Óxidos

El Grupo Minero las Cenizas beneficia el mineral oxidado extraído desde la Mina a rajo abierto Barreal Seco en la planta de óxidos ubicada a 60 kilómetros al sureste de la comuna de Taltal, Región de Antofagasta, a 850 m.s.n.m. El yacimiento tiene reservas de 9,05Mt con una ley de cobre total 0,77% y se extraen 600.000 t/mes de las cuales 100.00 t/mes son mineral de alta ley. El mineral con un tamaño máximo de 47 pulgadas es transportado, una distancia de 36 km, en camiones por un camino público hasta las canchas de acopio en la Planta de Óxidos. Desde las canchas es transportado en camiones de 30 t a la tolva de alimentación que tiene una capacidad de 80 t, la cual cuenta con una parrilla de clasificación con abertura de 700 x700 mm.

2.2. Chancado primario y secundario

En la Figura 2.1 presenta un diagrama de flujos, con el número de cada uno de los equipos instalados en el circuito de chancado primario y secundario de la Planta de Óxidos. La tolva primaria (1) con capacidad de 80 t, descarga sobre el alimentador vibratorio (2), grizzly SV 1232 Sandvik. El bajo tamaño pasa a través de la parrilla de clasificación, la cual selecciona el mineral 100% bajo 5". El sobre tamaño es alimentado al chancador primario (3) tipo mandíbula CJ412 Sandvik, que con un CSS de 3,5" procesa como máximo 220 t/h, reduciendo el mineral a 100% bajo 4". El bajo tamaño junto con el producto del chancador primario es descargado en la correa 100-CT-001 (4), cuya capacidad máxima es de 800 t/h.

La correa 100-CT-002 (5) cuya capacidad es de 800 t/h, es alimentada con el producto del circuito primario y el producto del chancador secundario (11) de cono CH440 Sandvik, chancador que, con un C_{ss} de 22 mm, una ECC de 34 mm y una cámara EC procesa como máximo 290 t/h, reduce el mineral 100% bajo 1". La correa 100-CT-002 y el chancador secundario cierran el circuito cerrado inverso.

El harnero secundario (6) LF-2160-D Sandvik de dos Deck de 45 y 30 mm de apertura, que es alimentado por la correa 100-CT-002, descarga el sobre tamaño en la tolva secundario (7) con capacidad 30 t y su bajo tamaño sobre la correa 100-CT-005 (8) cuya capacidad máxima es de 600 t/h.

La tolva secundaria (7) descarga sobre el alimentador vibratorio (9) SP 1025 Sandvik de capacidad máxima 430 t/h, alimentando la correa 100-CT-004 (10) cuya capacidad máxima es de 400 t/h. Esta correa alimenta al chancador secundario con una granulometría 100% bajo 5”.

Finalmente, la correa 100-CT-005 alimenta el Stock Pile grueso (12) cuya capacidad total de 3700 t, con 1900 t de carga viva, altura de 11 m, diámetro 27 m. Este Stock pile almacena el producto final del área chancada primaria y secundaria.

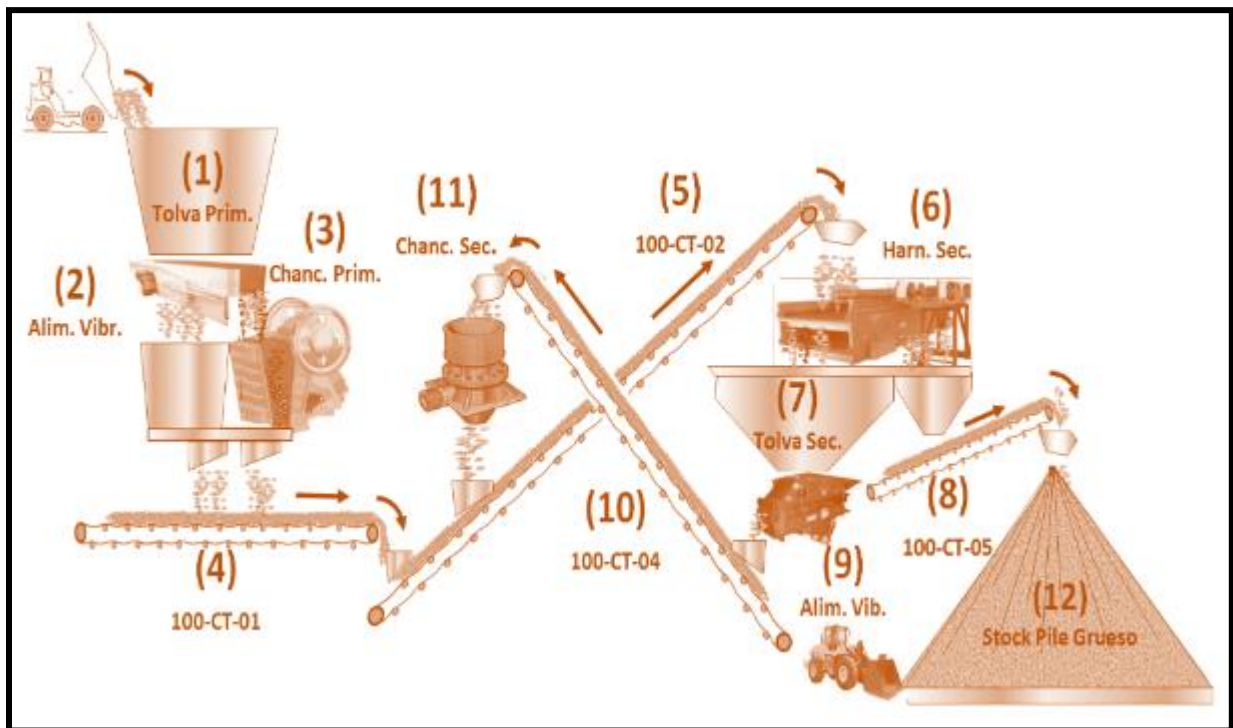


Figura 2.1 Circuito chancado primario y secundario Planta óxido minera las Cenizas

Las características técnicas de los equipos que aparecen en la Fig. 2.1, se resumen en la Tabla 2.1, donde se indica la función que cumplen en el proceso y los parámetros operacionales, mecánicos y eléctricos.

Tabla 2.1.a Características de los equipos instalados en los circuitos del chancado primario y secundario.

EQUIPOS CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO				
Fig. N 2.1	EQUIPO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
1	TOLVA ALIM. PRIMARIA	Pulmón al alimentador vibratorio SCREEN SV 1232	Largo 6 m	80 t
			Ancho 4,5 m	
			Altura 3 m	
2	ALIM. VIBRANTE (SCREEN VIBRATING) SANDVIK SV1232	Alimentar correa 100-CT-001 con bajo tamaño	Área de clasificación 1,1 m ²	Min 200 t/h Max 750 t/h
		Alimentar Chanc. primario con Sobre tamaño	Apertura rieles 120 x 0,9mm	
			Motor de 20 HP	
3	CHANCADOR PRIMARIO DE MANDÍBULA SANDVIK CJ412:01	Reducir el tamaño de sobre tamaño del mineral de la tolva a 100 % bajo 4"	Apertura de alimentación 1200x830 mm	Min 220 t/h Max 290 t/h para este C _{ss}
			Motor de 200 HP	
			Tamaño de alim. 750 mm	
			CSS de 4"	
6	HARNERO VIBR. SANDVIK LF-2160-D	Clasificar de alimentación a Chancador Secundario	Dos Deck	700 t/h
			Admisión de 45 y 30 mm	
			Área de clasif. 12,6x m ²	
			Motor de 2x30 HP	
11	CHANC. SECUNDARIO DE CONO SANDVIK CH440	Reducir el tamaño de sobre tamaño del Harnero Secundario a 100 % bajo 1"	Cámara EC	290 t/h
			Tamaño máximo alimentación 130 mm	
			CSS 22 mm	
			Motor 300 HP	

Tabla 2.1.b Características de los equipos instalados en los circuitos del chancado primario y secundario.

Fig. N 2.1	EQUIPO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
7	TOLVA ALIM. SEC. SP 1025	Pulmón de alimentación del alimentador SP 1025	Largo 4 m	30 t
			Ancho 4 m	
			Altura 3 m	
4	CORREA TRANS. 100-CT- 001	Alimentación correa 100-CT-002	Ancho 42" x Largo 9,5 m	800 t/h
			Ángulo elevación 0°	
			Motor 25HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
5	CORREA TRANS. 100-CT- 002	Alimentación Harnero secundario Recibir producto del Chancador Secundario	Ancho 30"x Largo 34 m	800 t/h
			Ángulo elevación 18°	
			Motor 50 HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
10	CORREA TRANS. 100-CT- 004	Alimentación Chancador Secundario	Ancho 24"x Largo 29 m	400 t/h
			Ángulo elevación 18 °	
			Motor 20 HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
8	CORREA TRANS. 100-CT- 005	Alimentación Stock Pile Grueso	Ancho 42"x Largo 34 m	600 t/h
			Ángulo elevación 18°	
			Motor 30HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
12	STOCK PILE GRUESO	Pulmón de alimentación Circuito Terciario	Altura de 11 m	1900 t
			diámetro 27 m	
			4 alimentadores	
9	ALIM. VIBRANTE SANDVIK SP 1025	Alimentación Correa 100-CT-004	Motor 2 x 2 HP	375 h

2.3. Chancado terciario

En la Figura 2.2 se presenta un diagrama de flujos, con el número cada uno de los equipos instalados en el circuito de chancado terciario de la Planta de óxidos. Dentro del túnel del stock pile grueso existen 4 alimentador vibratorio (1) SP 750 Sandvik con capacidad máxima 220 t/h, descargan sobre la correa 100-CT-006 (2) cuya capacidad máxima es de 700 t/h y está a su vez alimenta la correa 100-CT-007 (3) de capacidad máxima 700 t/h y que alimenta la correa 100-CT-008 (4) de capacidad máxima 600 t/h.

La correa 100-CT-007 además es alimentada por el producto del chancador terciario (11) tipo cono CH440 Sandvik, chancador que, con un CSS de 11 mm, una ECC de 34 mm y una cámara F procesa como máximo 190 t/h, reduciendo el mineral 100% bajo ½". La correa 100-CT-007 y el chancador terciario cierran el circuito cerrado inverso.

El harnero terciario (5) LF-1848-S Sandvik de un deck de 17,5 mm de apertura, que es alimentado por la correa 100-CT-008, descarga el sobre tamaño en la correa 100-CT-009 (7) de capacidad máxima 450 t/h y su bajo tamaño sobre la correa 100-CT-011 (6) cuya capacidad máxima es de 700 t/h el bajo tamaño del harnero debiera ser 100% bajo 5/8.

La correa 100-CT-009, alimenta la correa 100-CT-010 (8) de capacidad máxima 400 t/h y este alimenta a la tolva terciara de capacidad de 30 t y al alimentador vibratorio (10) SP 1025 Sandvik de capacidad máxima 430 t/h. Este alimentador alimenta el chancador terciario con un tamaño máximo de 1".

La correa 100-CT-011, alimenta la correa 100-CT-012 (12) de capacidad máxima 600 t/h y este alimenta al stock pile fino (13) cuya capacidad total es de 1900 t, con 900 t de carga vivas, altura de 9 m, diámetro 22 m. Este stock pile almacena el producto final del área de chancado terciario.

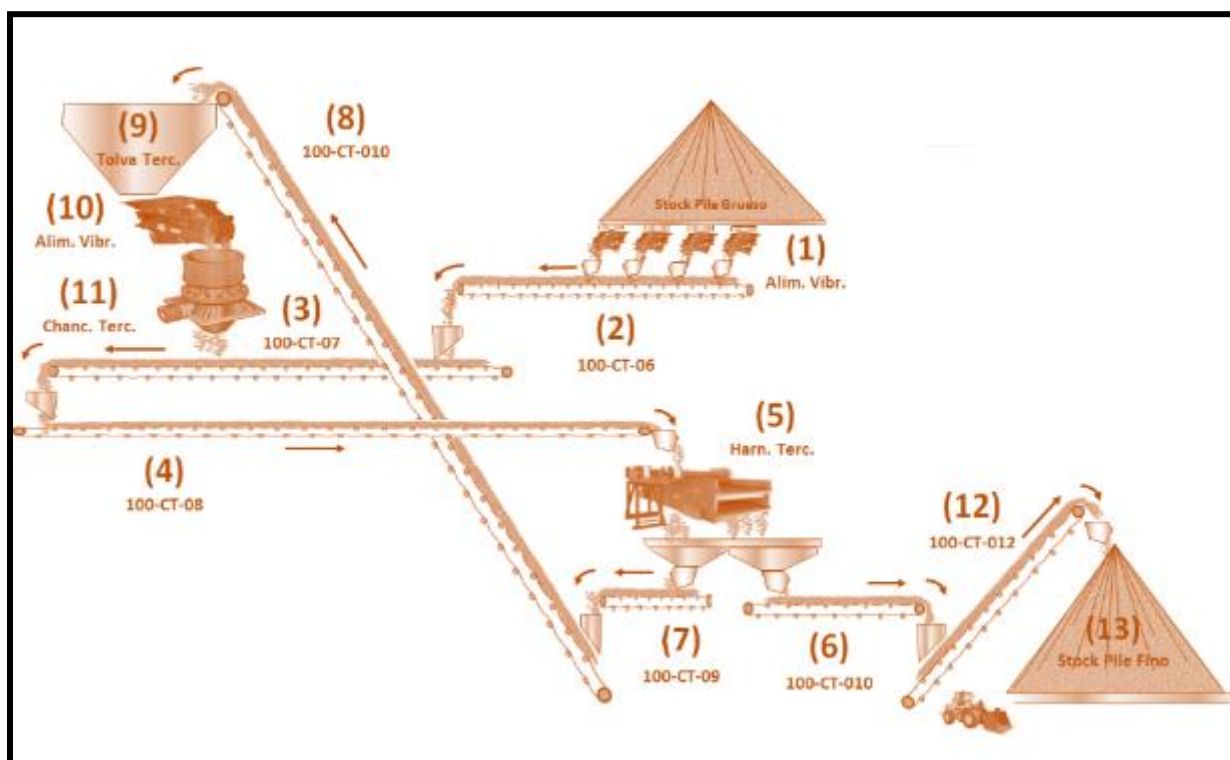


Figura 2.2 Circuito chancado terciario Planta óxido Minera las Cenizas

Las características técnicas de los equipos que aparecen en la Fig. 2.2, se resumen en la Tabla 2.2, donde se indica la función que cumplen en el proceso, parámetros operacionales, mecánicos y eléctricos.

Tabla 2.2.a Características de los equipos instalados en el circuito del chancado terciario

EQUIPOS CIRCUITO TERCIARIO				
Fig. N 2.2	EQUIPO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
1	ALIM. VIBR. SANDVIK SP 715	Pulmón de alim. de la Correa 100-CT-006	Motor 2 x 1 HP	180 t/h
5	HARNERO VIBR. SANDVIK LF-1848-S	Clasificar de alimentación a Chancador Terciario	Un Deck Apertura de 17,5 mm Área de clasificación 9 m ² Motor de 2x15 HP Motor 300 HP	700 t/h

Tabla 2.2. b Características de los equipos instalados en el circuito del chancado terciario

Fig. N 2.2	EQUIPO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
11	CHANC. TERCIARIO DE CONO SANDVIK CH440	Reducir el tamaño de sobre tamaño del Harnero Terciario a 100 % bajo 1/2"	Cámara F	190 t/h
			Tamaño máximo alimentación 80 mm	
			CSS 11 mm	
			Motor 300 HP	
2	CORREA TRANS. 100-CT-006	Alimentación correa 100-CT- 007	Ancho 30" x Largo 28 m	700 t/h
			Ángulo elevación 0°	
			Motor 25HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
3	CORREA TRANS. 100-CT-007	Alimentación correa 100-CT- 008	Ancho 30" x Largo 39 m	700 t/h
			Ángulo elevación 0°	
			Motor 25HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
10	ALIM. VIBRANTE SANDVIK SP 1025	Alimentación Chancador Terciario	Motor 2 x 2 HP	375 t/h
9	TOLVA ALIM. TERC.	Pulmón al alimentador vibratorio SP 1025	Largo 4 mt.	30 t
			Ancho 4 mt.	
			Altura 4 mt.	
4	CORREA TRANS. 100-CT-008	Alimentación de Harnero Terciario	Ancho 30" x Largo 44 m	600 t/h
			Ángulo elevación 18°	
			Motor 30HP	
			Velocidad 1,6 m/s	

Tabla 2.2.c Características de los equipos instalados en el circuito del chancado terciario

Fig. N 2.2	EQUIPO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
7	CORREA TRANS. 100-CT- 009	Alimentación Correa 100-CT-010	Ancho 24"x Largo 11 m	450 t/h
			Ángulo elevación 0°	
			Motor 15 HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
8	CORREA TRANS. 100-CT- 010	Alimentación Tolva Terciario	Ancho 24"x Largo 51 m	400 t/h
			Ángulo elevación 15 °	
			Motor 20 HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
6	CORREA TRANS. 100-CT- 011	Alimentación Correa 100-CT-012	Ancho 30"x Largo 21 m	700 t/h
			Ángulo elevación 0°	
			Motor 25 HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
12	CORREA TRANS. 100-CT- 012	Alimentación Stock Pile Fino	Ancho 30"x Largo 38 m	600 t/h
			Ángulo elevación 18°	
			Motor 30 HP	
			Velocidad 1,6 m/s	
13	STOCK PILE FINO	Pulmón de alimentación Circuito Aglomerado	Altura de 9 m	1900 t Total 900 t vivas
			diámetro 22 m	
			3 alimentadores	

3. ANTECEDENTES TEÓRICOS

3.1. Modelo de proceso de ruptura (chancador)

En el chancado de cono, el material es triturado entre dos superficies rígidas. La acción de trituración se logra gracias a un movimiento de giro excéntrico del eje principal. Cada uno de los fragmentos de material se corta, comprimen y trituran entre las paredes de la cámara.

En la Figura 3.1 se observa el eje principal desplazado del centro del equipo por un movimiento excéntrico, produciéndose una apertura máxima y una mínima las cuales se definen como:

- CSS: Apertura mínima entre el manto y cóncavo del chancador en la zona de descarga de la cámara, también definida como la apertura en el lado cerrado.
- OSS: Apertura máxima entre el manto y cóncavo del chancador en la zona de descarga de la cámara, también definida como la apertura en el lado abierto.
- ECC: Diferencia de apertura entre el lado abierto y cerrado, generado por el movimiento excéntrico del poste con relación al eje del equipo.

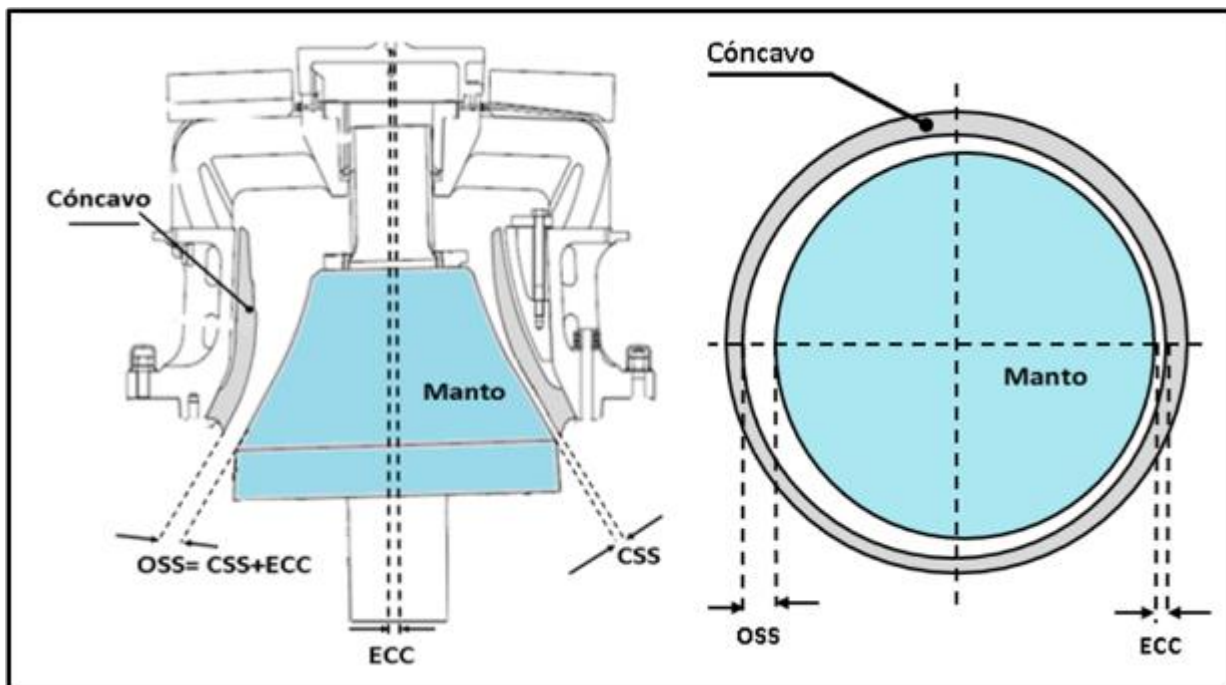


Figura 3.1 Apertura OSS, CSS y ECC de la cámara de un chancador de cono

La modelación del proceso de ruptura dentro de una máquina trituradora considera dos etapas:

- La selección de las partículas para el rompimiento.
- La ruptura de las partículas seleccionadas.

Las etapas se van desarrollando en toda la superficie de la cámara, a medida que las partículas descienden de ésta, se encuentran de forma general tres tamaños de partículas concentradas sobre y bajo de los tamaños OSS y CSS.

- Partícula A de tamaño mayor al OSS.
- Partícula B de tamaño menor al OSS y mayor al CSS.
- Partícula C de tamaño menor al CSS.

Analizando en forma separada, estos tres tamaños de partículas, el comportamiento de ellas dentro de la cámara responde de la siguiente manera:

- Las partículas de tamaño A: Tienen un 100% probabilidad de ser trituradas en la cámara, donde en algún instante del ciclo de cierre o apertura del chancador, las partículas van a hacer seleccionadas por la cámara y serán sometidas al proceso de ruptura. Figura 3. 2.a.

- Las Partículas de tamaño B: tienen una probabilidad menor de ser seleccionadas por la cámara, siendo sometida al proceso de ruptura cuando la cámara se encuentre entre el tamaño de la partícula y el CSS. Si la partícula descendiera por el lado donde la cámara se encuentra OSS, no será seleccionada y abandonará la cámara sin ser triturada. Figura 3.2.b.

- Las partículas de tamaño C: Tienen 0% de probabilidad de ser trituradas y pasará directamente hacia la descarga del chancador. Figura 3.2.c.

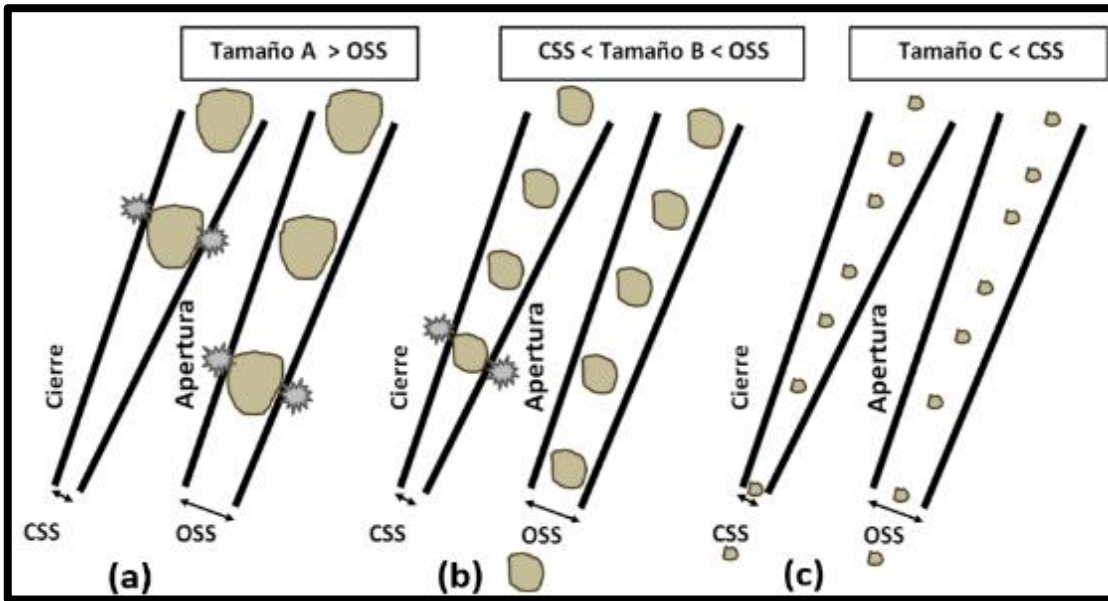


Figura 3.2 Comportamiento de las partículas, para distintos tamaños

Considerando que las partículas de tamaño A y B, al ser trituradas generan partículas de tamaños menores, las cuales vuelven hacer clasificadas por la cámara. Esto lo observamos en la Figura 3.3, en la cual la roca de tamaño A al ser triturada, genera material de tamaño A, B y C, las cuales, en el ciclo siguiente de apertura y cierre, vuelven a ser clasificadas, volviendo a triturarse las partículas de tamaño A y B. Lo anterior se repetirá hasta que todas las partículas de tamaño B y C abandonen la cámara.

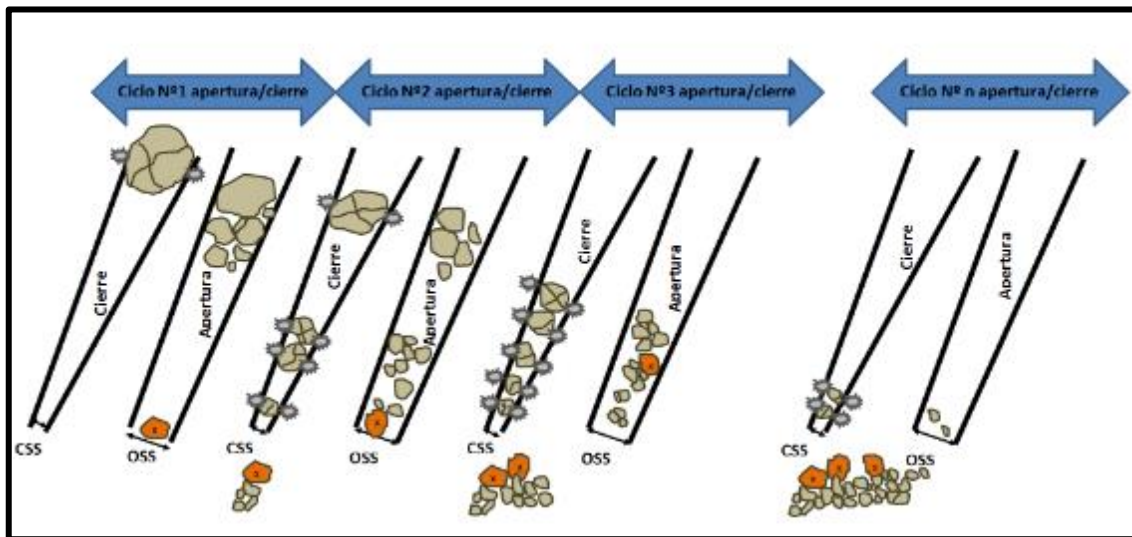


Figura 3.3 Sucesivas rupturas de una roca de tamaño mayor a OSS, durante los sucesivos ciclos de apertura y cierre

El proceso anterior es descrito en el diagrama de flujo de la Figura 3.4, como la ocurrencia de n ciclos de clasificación y ruptura del material que ingresa al chancador. Las partículas que son clasificadas, durante la ruptura generan partículas de menor tamaño, que serán sometidas a $n-1$ procesos de clasificación, las partículas nuevamente clasificadas, vuelven a ser procesadas y clasificadas sucesivamente hasta que finalmente abandonan la cámara.

Debemos considerar que tal como se observa en las Figura 3.2 y 3.3 hay partículas tipo B, que alcanzan a abandonar la cámara cuando ésta se encuentra en la posición OSS. En un circuito de chancado cerrado inverso, estas partículas tienen una gran probabilidad de ser consideradas como sobre tamaño en la malla del harnero, pudiendo volver a ser procesadas por el chancador. Las partículas tipo C tienen casi nula posibilidad de ser consideradas como sobre tamaño por el harnero, dependiendo lo anterior solo de la eficiencia del harnero.

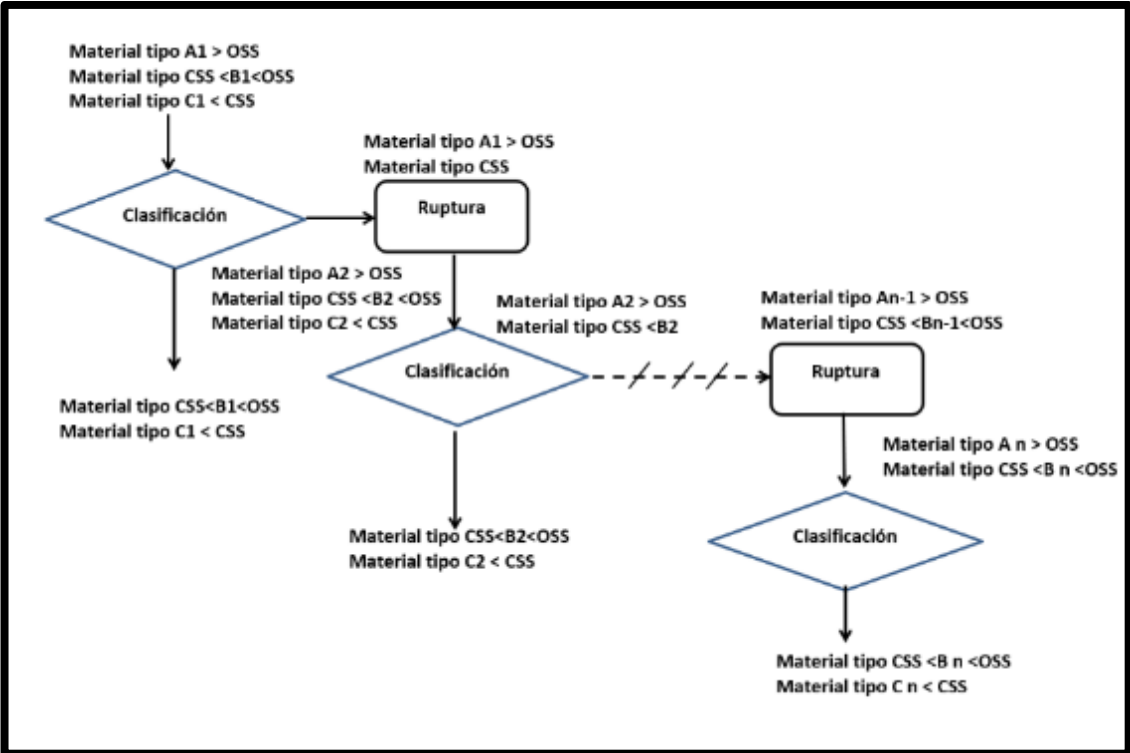


Figura 3.4 Diagrama de bloques clasificación y ruptura de un chancador

Un factor que no fue tomado en cuenta en el análisis realizado en las figuras 3.2 y 3.3, es que solo se ve el comportamiento de una roca que va reiteradamente siendo triturada por la cámara del chancador, pero lo que ocurre generalmente es el ingreso de un flujo másico continuo compuesto por rocas de distintos tamaños que ocupan el volumen total de la cámara, siendo importante este dato en el tiempo de residencia del material y las veces que es triturado por la cámara. En otras palabras, la fragmentación de la partícula, no solo depende de su tamaño comparado con el CSS y del OSS del chancador, además depende de la granulometría de las partículas que la acompañan, la forma de la cámara y volumen de la cámara. Esto último está directamente ligado a la etapa de selección de las partículas para la ruptura.

En la Figura 3.5. se observa cómo las partículas de tonos grises ingresan a la cámara precedida de otras que ya están sufriendo el proceso de conminución aumentando el tiempo de residencia de las superiores. Dependiendo del tamaño de fragmentación, éstas van avanzando por la cámara con más o menor velocidad, sufriendo más o menor procesos de ruptura.

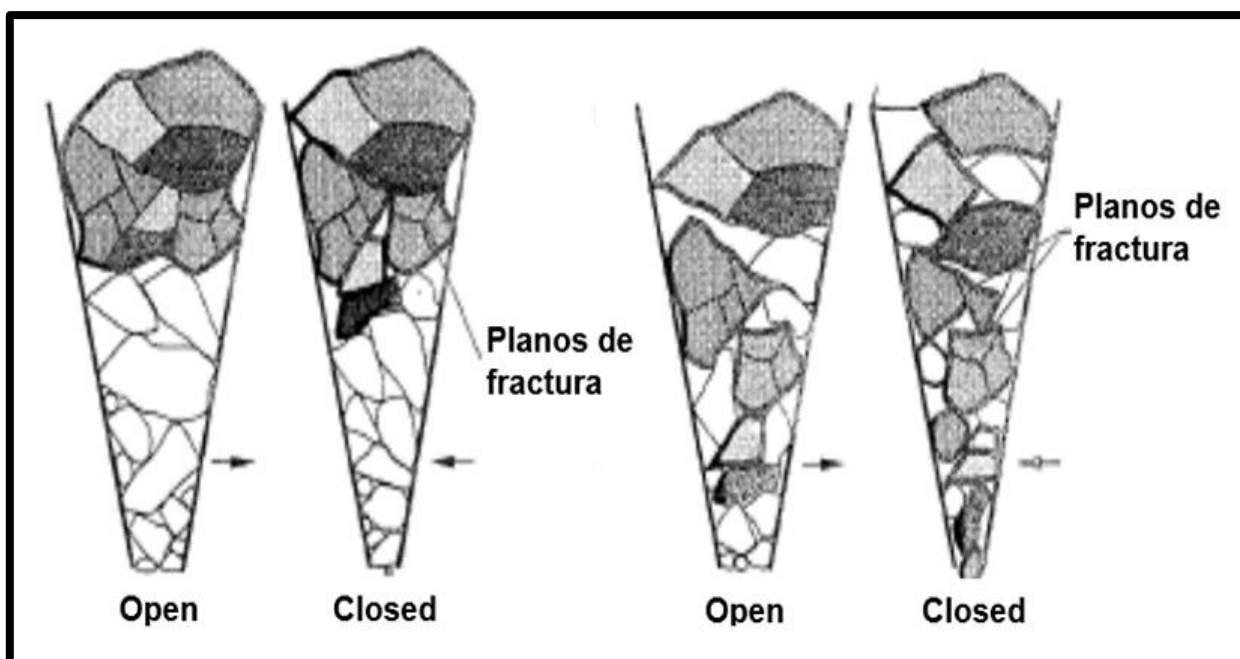


Figura 3.5 Comportamiento del mineral dentro de una cámara de chancado

3.2. Modelo matemático Whiten chancadores de cono

Basado en las características propias del modo de operación de un chancador de cono, Whiten (Whiten 1972) propuso un modelo para los chancadores de cono, cuyos componentes se presentan en la Figura 3.6.

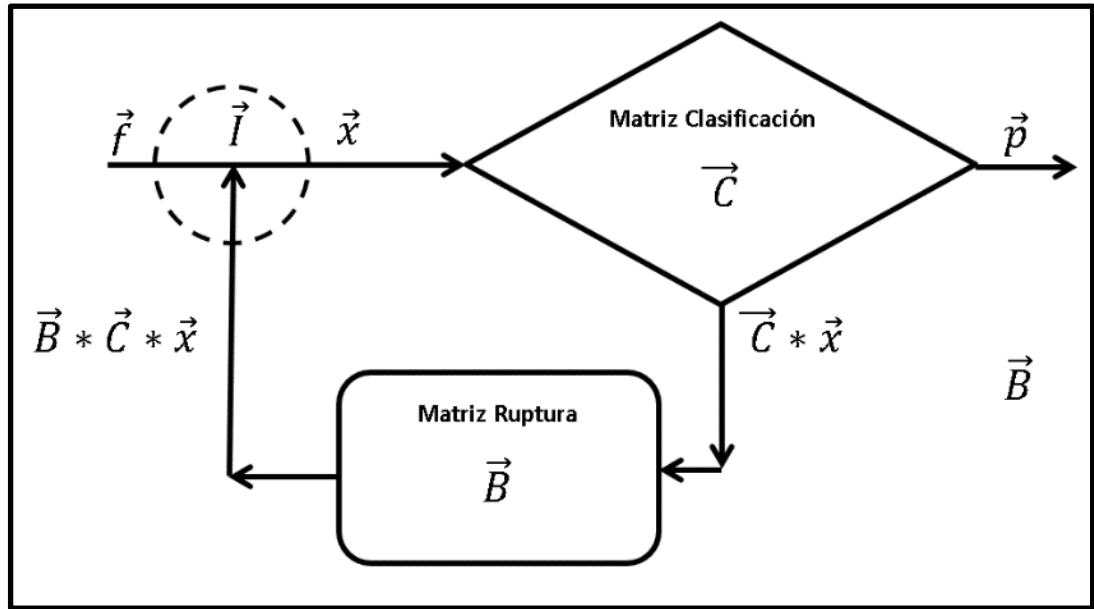


Figura 3.6 Diagrama de flujo modelo de Whiten

Donde

\vec{p} : Vector que describe la distribución granulométrica fracción retenida en el producto al chancador

\vec{x} : Vector que describe la distribución granulométrica fracción retenida en la alimentación compuesta.

\vec{I} : Matriz identidad.

\vec{C} : Matriz clasificación (diagonal).

\vec{B} : Matriz fractura (triangular inferior).

Las ecuaciones de balance de masa obtenida sobre cada nodo de la Figura 3.6, describe el proceso repetitivo de la clasificación y la ruptura, y son expresados como:

Nodo I:

$$\vec{f} + \vec{B} * \vec{C} * \vec{x} = \vec{x} \quad (3.1)$$

Nodo II:

$$\vec{p} + \vec{C} * \vec{x} = \vec{x} \quad (3.2)$$

Despejando \vec{x} :

$$\vec{x} = (\vec{I} * \vec{B} * \vec{C})^{-1} \vec{f} \quad (3.3)$$

$$\vec{x} = (\vec{I} - \vec{C})^{-1} * \vec{p} \quad (3.4)$$

Despejando \vec{p} :

$$\vec{p} = (\vec{I} - \vec{C}) * (\vec{I} - \vec{B} * \vec{C})^{-1} * \vec{f} \quad (3.5)$$

3.2.1. Matriz Clasificación:

La matriz de clasificación \vec{C} es la probabilidad que una partícula sea seleccionada por la matriz de ruptura, dependiendo esto del tamaño de la partícula.

Por ejemplo, tal como se indica en el punto 3.1 una partícula más pequeña que la CSS de chancador, probablemente no va a ser triturada, o tiene pequeña probabilidad de ser seleccionada. Whiten utiliza el siguiente conjunto de funciones para describir la función de clasificación (.

Esta matriz es diagonal, donde sus elementos C_{ij} están dados por las expresiones:

$$C_{ij} = \frac{[C^*(i) - C^*(i + 1)]}{[T_i - T_{i+1}]} \quad \text{para } i=j \quad (3.6)$$

$$C_{ij} = 0 \quad \text{para } i \neq j \quad (3.7)$$

Donde

$$C^*(i) = k_1 + \frac{[k_2 - k_1]}{[k_3 + 1]} \quad \text{para } T_i \leq k_1 \quad (3.8)$$

$$C^*(i) = T_i + \left[\frac{[k_2 - k_1]}{[k_3 + 1]} \frac{[k_2 - T_i]}{[k_2 + k_1]} \right]^{k_3+1} \quad \text{para } k_1 \leq T_i \leq k_2 \quad (3.9)$$

$$C^*(i) = T_i \quad \text{para } T_i \geq k_2 \quad (3.10)$$

Dónde para la matriz de clasificación, tal modo se observa en la Figura 3.7., se tiene que

- K1 es igual al tamaño bajo el cuales las partículas menores tienen 0% probabilidad de ser clasificadas para ser triturada. En el caso del punto 3.1, serían los tamaños C
- K2 es igual al tamaño sobre el cuales las partículas mayores tienen 100% probabilidad de ser clasificadas para ser trituradas. En el caso del punto 3.1 serían los tamaños A.
- K3 es el exponente más uno, de la función exponencial que describe la probabilidad de clasificación de las partículas que se encuentran entre los tamaños K1 y K2. En el caso del punto 3.1 serían los tamaños B.

Se espera que los parámetros K1 siempre dependa de CSS y que K2 de OSS. Y que K3 sea un valor cercano a 2,3.

Una buena estimación inicial es $K1 = CSS$; $K2 = OSS$ y $K3 = 2,3$.

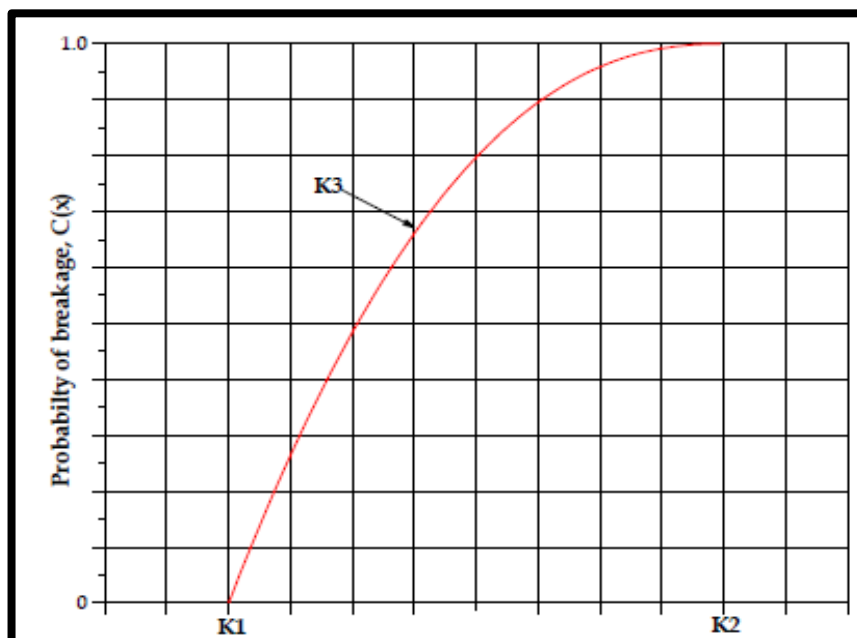


Figura 3.7 Función de clasificación de Whiten

3.2.2. Matriz fractura:

A partir del análisis del punto 3.1, se han realizado estudios con relación a la ruptura de las partículas de diferentes tamaños, considerando el comportamiento por separado de ellas.

Estos estudios han concluido que existen ciertas relaciones entre la partícula madre (tamaño inicial de la partícula, partículas madres) y las partículas obtenidas producto la ruptura dentro de la cámara (partículas de menor tamaño, hijas) y las sucesivas reducciones de tamaño posteriores. En base a lo anterior la función de ruptura depende de la relación de los tamaños de los fragmentos de las partículas hijas y al tamaño de partícula madres, obteniéndose una función del siguiente tipo:

$$B(d_i, d_1) \propto \left(\frac{d_i}{d_1}\right)^n \quad (3.11)$$

Demostrándose la relación existente entre los tamaños del fragmento de la progenie y al tamaño de la partícula inicial, donde:

- B : es la función o matriz de rotura.
- d_i : es el tamaño de partícula hija i -ésima.
- d_1 : es el tamaño de partícula madre.
- n : es el módulo de distribución.

El concepto detrás de esta función de rotura es que la población de hijos se compone de la mezcla de poblaciones separadas que ocurren como resultado de la compresión, impacto y abrasión de partículas de distinto tamaño, que es independiente del tamaño de partícula iniciales.

En la Figura 3.8. se muestra una distribución típica del tamaño del producto resultante, la cual tiene dos componentes, una distribución fina resultante de una fractura localizada de la partícula contra la superficie de carga y una distribución gruesa resultante de la fractura principal de la partícula.

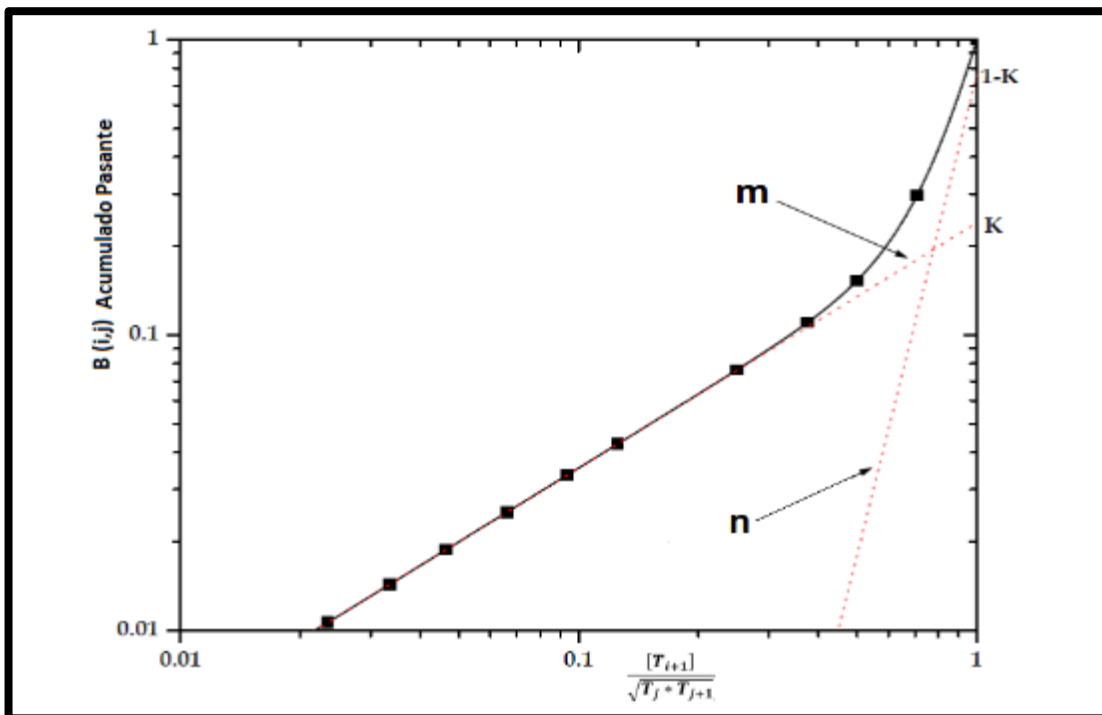


Figura 3.8 Curva fractura para un tamaño madre

Diferentes valores de “n” representan los fragmentos más grandes producidos por tensiones de tracción inducidas (al inicio de la cámara) y diferentes valores de “m” representan los fragmentos más pequeños producidos por tensiones de compresión directa (bajo el área de carga de la trituradora), y / o los fragmentos producidos por abrasión.

La función de ruptura de la Figura 3.8 puede ajustarse con la siguiente expresión:

$$B(i, j) = (1 - k) \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right]^n + k \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right]^m \quad (3.12)$$

Donde está la función de fragmentos de los hijos que contribuyen a la fracción más fina, donde se han obtenido valores “m” se encuentran entre 0,6 y 1,3 y la función de los fragmentos de los hijos que contribuyen a la fracción más gruesa donde con valores “n” se encuentran entre 2,5 y 5.

Esta ecuación se puede descomponer en

$$B(i, j) = B(i, j)_1 + B(i, j)_2 \quad (3.13)$$

Donde la primera expresión representa los fragmentos más gruesos

$$B(i, j)_1 = (1 - k) \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right]^n \quad (3.14)$$

Aplicando logaritmo

$$\log [B(i, j)_1] = \log \left[(1 - k) \left[\frac{[]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right]^n \right] \quad (3.15)$$

$$\log [B(i, j)_1] = \log (1 - k) + n * \log \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right] \quad (3.16)$$

Donde “n” es la pendiente de la recta y 1-k es el valor que toma $B(i, j)_1$ cuando T_{i+1} tiende a T_{j+1} .

La segunda expresión representa los fragmentos más pequeños.

$$B(i, j)_2 = k \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right]^m \quad (3.17)$$

Aplicando logaritmo

$$\log [B(i, j)_2] = \log \left[k \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right]^m \right] \quad (3.18)$$

$$\log [B(i, j)_2] = \log (k) + m * \log \left[\frac{[T_{i+1}]}{[\sqrt{T_j * T_{j+1}}]} \right] \quad (3.19)$$

Donde “m” es la pendiente de la recta y k es el valor que toma $B(i, j)_2$ cuando T_{i+1} tiende a T_{j+1}

Los elementos de la matriz fractura son calculados por:

$$b_{(i, j)} = 1 - B_{(i, j)} \quad \text{para } i = j \quad (3.20)$$

$$b_{(i, j)} = B_{(i-1, j)} - B_{(i, j)} \quad \text{para } i > j \quad (3.21)$$

$$b_{(i, j)} = 0 \quad \text{para } i < j \quad (3.22)$$

Estas ecuaciones pueden generar una serie de curvas a partir de una especie madre.

3.2.3. Relación de las variables del modelo de Whiten del chancador con las variables de operación

Las ecuaciones del modelo son desarrolladas por un análisis de regresión no lineal de datos de ensayo recolectadas por un amplio rango de condiciones operativas (parámetros operacionales), seguidas por una regresión lineal múltiple de los parámetros ajustados a las condiciones operacionales.

Las variables de operación típicas que se encuentran son:

- **CSS** = Apertura lado cerrado del chancador.
- **F** = Flujo máximo alimentación.
- **P80** = Tamaño que deja pasar 80% del producto del chancador.
- **F80** = Tamaño que deja pasar 80% de la alimentación del chancador.
- **OSS = EXT + CSS** = Apertura en lado abierto del chancador.

Estas variables operacionales se relacionan con las constantes de las matrices clasificación y ruptura por medio de sistemas de ecuaciones:

Matriz Fractura

$$k = a_0 - a_1 * C_{ss} \quad (3.23)$$

$$n = b_1 * C_{ss} \quad (3.24)$$

$$m = c_0 \quad (3.25)$$

Matriz Clasificación

$$k_1 = d_1 * C_{ss} \quad (3.26)$$

$$k_2 = e_1 * C_{ss} + e_2 * P_{80} + e_3 * F \quad (3.27)$$

$$k_3 = f_1 * C_{ss} \quad (3.28)$$

A partir de métodos numéricos se pueden obtener las constantes **a0, a1, b1, c0, d1, e1, e2, e3, f1**.

Estas contantes dependen del mineral y la forma del revestimiento, por lo cual son únicas para cada planta, estado de las cámaras y distribución del mineral.

Un aspecto importante a tener en cuenta, en la elección o modelación de los chancadores son la información entregada por el proveedor con relación a las capacidades en MTPH (STPH), dependiendo del tipo de cámara y CSS. Estos aspectos son señalados el Anexo B de las curvas para los chancadores Sandvik de cono y mandíbula. Los cuáles serán incluidos en los límites de capacidad de los flujos del modelo.

3.3. Descripción proceso de clasificación

Se llama harneado o clasificación, al proceso mecánico de separación de partículas basado en su tamaño, mediante aceptación o rechazo por una superficie, normalmente una malla. Para describir este proceso de clasificación, primero se realiza una explicación de cómo se comporta la partícula sobre la superficie de la malla del harnero.

En el proceso de harneado se distinguen tres zonas, las cuales se indican en la Figura 3.9:

- **Primera Zona A-B:** Una vez colocado el material sobre la malla de impacto y esparcido a lo largo de todo el ancho, las partículas comienzan a desplazarse hacia adelante debido al movimiento y/o vibración de la malla del harnero. En este instante el material hace su primer contacto con la malla y se produce el fenómeno de estratificación, zona A- B, que consiste en la formación de un lecho, en el cual las partículas grandes ascienden, mientras las partículas pequeñas descienden acercándose a la superficie de la malla, para ser aceptadas o rechazadas por las aberturas de ésta. La estratificación de partículas siempre ocurre en la zona del primer contacto del material con la superficie de la malla y continúa repitiéndose una y otra vez hasta que las partículas pasan por las aberturas o son descargadas al final de la malla. Sin este fenómeno, el proceso de separación o clasificación no podría ocurrir. Para que el fenómeno de estratificación ocurra, es necesario controlar el espesor del lecho de

material sobre la malla. Si es muy delgada, las partículas finas y las gruesas son lanzadas al aire, perdiéndose la oportunidad de que las partículas finas hagan contacto con la malla y pasen por las aberturas. Si el lecho es muy grueso, entonces las partículas finas son desplazadas por las gruesas y no ocurre completamente la estratificación.

- **Segunda Zona B-C:** Ocurre en el segundo tercio de la superficie del harnero y a esta área se le llama zona de Clasificación por Saturación, pues la superficie de la malla se satura con partículas pequeñas, todas tratando de pasar por las aberturas en el mismo instante, convirtiendo a esta zona en la de mayor abrasión y desgaste. Es el punto más alto de probabilidad de clasificación, por ser alto el número de partículas de menor tamaño a la apertura de la malla.

- **Tercera Zona C-D:** Es conocida como zona de Clasificación por Repetición, pues al desplazarse por la superficie de la malla, las partículas tratan una y otra vez de pasar por las aberturas, repitiéndose el proceso de prueba y error, hasta que pasan o son descargadas al final de la malla. Esta es el área de menor probabilidad de selección de las partículas de menor tamaño.

En la Figura 3.9, se observa que no es posible alcanzar una clasificación perfecta (100 % de eficiencia), puesto que desde el punto "C" la capacidad de paso a través de la malla es extremadamente baja. Teóricamente para una separación, absolutamente perfecta, la malla tendería a un largo infinito, ya que la curva tiende a ser asintótica con respecto al eje de las X. De lo anterior se desprende que una eficiencia del orden del 90 al 95 %, es considerado bueno desde un punto de vista comercial.

Otro aspecto a tomar en cuenta, es la elección del tamaño o superficie del harnero, que permita lograr que se produzcan eficientemente los tres tipos de eventos. Los cálculos para la elección de una eficiente área de harneado son abordados en el anexo N°1 “**Selección y dimensionamiento de un harnero, METSO**” y serán aplicados como restricciones en el modelo a diseñar.

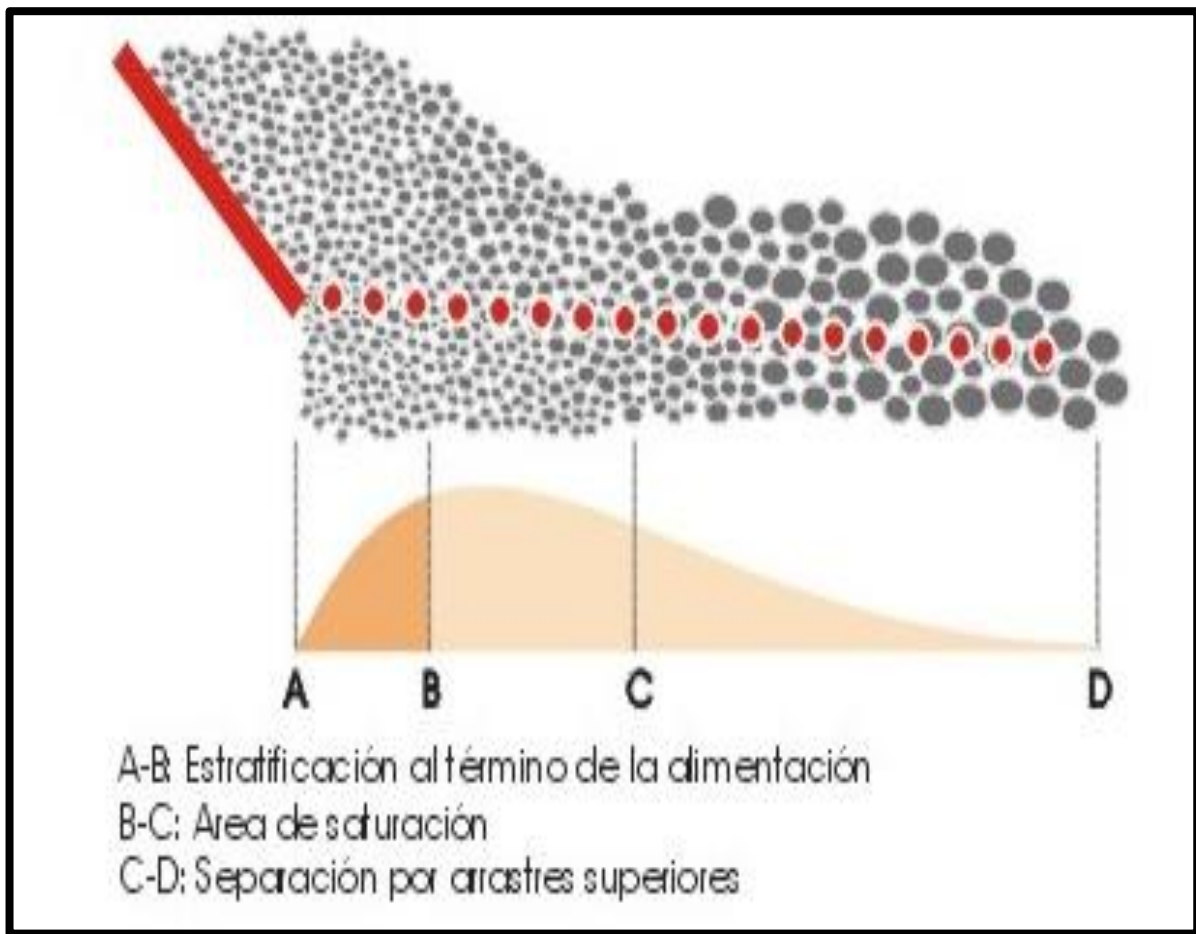


Figura 3.9 Zonas de clasificación de un Harnero

3.3.1. Modelo matemático de un harnero, modelo de Whiten

Aplicando lo descrito en el punto 3.3, mecánicamente, el proceso de clasificación puede ser considerado como una serie de intentos, en las cuales las partículas de determinado tamaño tienen la probabilidad de pasar a través de una apertura definida. Este concepto de definir la eficiencia del proceso de harneado o clasificación, como el número de intentos (o rebotes), es la base para obtener el modelo del harnero.

En la Figura 3.10, se observa una curva típica de eficiencia de harneros vibratorios, en esta curva existen tres regiones:

- La región A describe las partículas que son de mayor tamaño que apertura de la malla y que tienen un 100% de probabilidad de no pasar por la apertura.

- La región B son las partículas que son menores al tamaño de la apertura de la malla en la cual la probabilidad de que pasar por la apertura dependen directamente del tamaño de la partícula. Esta es la curva de eficiencia descrita por el modelo de Whiten.
- La región C son las partículas ultra finas que se adhieren a las partículas gruesas.

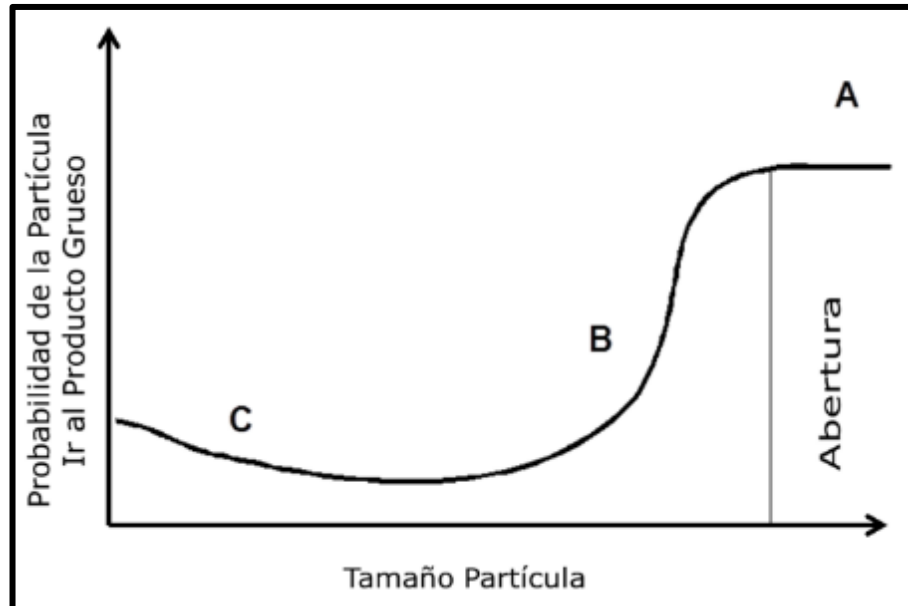


Figura N° 3.10 Curva eficiencia de un harnero

El modelo probabilístico de Whiten, describe la probabilidad de paso a través de una malla de abertura h y un diámetro del alambre d , de una partícula de diámetro S :

De la Figura 3.11 se describe el esquema de la malla del harnero, el área unitaria básica de separación del tamiz, está dada por la abertura de la malla más el diámetro del alambre:

$$(h + d)^2 \tag{3.29}$$

De la misma Figura 3.11, para pasar a través del harnero, la partícula de tamaño s tiene que caer dentro de un área.

$$(h - s)^2 \tag{3.30}$$

Luego la probabilidad de que una partícula pase por la abertura h es:

$$E(S) = \left[\frac{h - s}{h + d} \right]^2 \tag{3.31}$$

La probabilidad de que una partícula de tamaño “ s ” no pase a través del harnero en “ m ” intentos es:

$$E(S) = \left(1 - \left[\frac{h-s}{h+d}\right]^2\right)^m \quad (3.32)$$

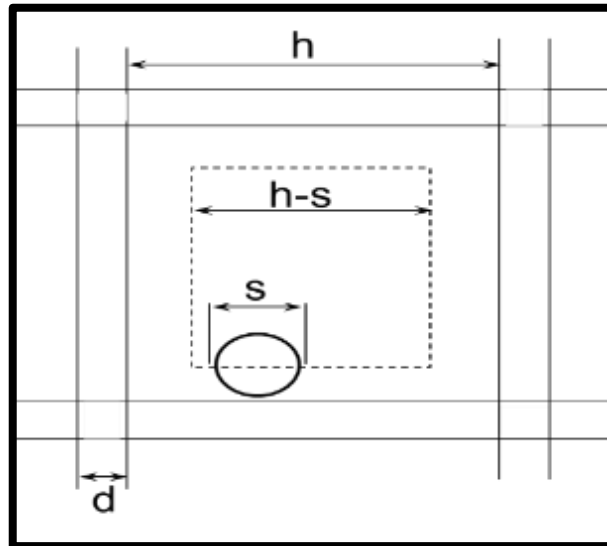


Figura 3.11 Esquema de la malla de un harnero

Para utilizar este modelo en la predicción de la cantidad de material de un tamaño determinado s_i , que no pasará por la malla, se requiere un valor promedio de la probabilidad para cada intervalo de tamaño. Un método para el cálculo de un valor razonablemente preciso es el siguiente:

$$E(S) = \frac{\int_{s_i}^{s_{i+1}} \left(1 - \left[\frac{h-s}{h+d}\right]^2\right)^m ds}{(s_{i+1} - s_i)} \quad (3.33)$$

Esta ecuación no tiene solución analítica y por ello es necesario hacer la siguiente aproximación:

$$\left(1 - \left[\frac{h-s}{h+d}\right]^2\right)^m = e^{\left(-m\left[\frac{h-s}{h+d}\right]^2\right)} \quad (3.34)$$

Observando el comportamiento analizado en la curva de la Figura 3.10 la ecuación (3.35) se puede definir por tramos de la siguiente manera:

$$E(S) = 1 \quad \text{para } S > h \quad (3.35)$$

Estas partículas comúnmente no logran traspasar la malla, a menos que encuentren en la zona C-D del harnero, tras reiterados intentos, la apertura justa que esté levemente por sobre h (apertura mayor a h, debido a la disminución del espesor d)

$$E(S) = e^{\left(-m\left[\frac{h-s}{h+d}\right]^2\right)} \quad \text{para } S_{min} < S \leq h \quad (3.36)$$

Estas partículas en un gran porcentaje logran pasar entre la zona A - C del harnero, a menos que por el tipo de alimentación no se haya logrado realizar la suficiente estratificación. Es menor el porcentaje de estas partículas que cruza por la zona C-D.

Este modelo se comportará adecuadamente si son aplicados los parámetros de diseño del anexo N°1

$$E(S) = \text{constante} \quad \text{para } S < S_{min} \quad (3.37)$$

Estas partículas tienden adherirse a las partículas de mayor tamaño y no logran ser estratificadas, generando un porcentaje de fino que depende mucho el tipo de mineral.

Volviendo a calcular la predicción de la cantidad de mineral en intervalo de tamaño para la zona B, se tiene que:

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = \frac{\int_{S_{(i)}}^{S_{(i+1)}} E(S) dS}{(S_{(i+1)} - S_{(i)})} = \frac{\int_{S_{(i)}}^{S_{(i+1)}} e^{\left(-m\left[\frac{h-s}{h+d}\right]^2\right)} dS}{(S_{(i+1)} - S_{(i)})} \quad (3.38)$$

Al realizar la sustitución de variable:

$$y = \sqrt{m} \frac{(h-s)}{(h+d)} ; dy = -\frac{\sqrt{m}}{(h+d)} ds ; ds = -\frac{(h+d)}{\sqrt{m}} dy \quad \text{se tiene} \quad (3.39)$$

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = -\frac{(h+d)}{\sqrt{m}} \frac{\int_{y_{(i)}}^{y_{(i+1)}} e^{-y^2} dy}{(S_{(i+1)} - S_{(i)})} = \frac{(h+d)}{\sqrt{m}} \frac{\int_{y_{(i)}}^{y_{(i+1)}} e^{-y^2} dy}{(S_{(i)} - S_{(i+1)})} \quad (3.40)$$

Si definimos

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = \int_{y_{(i)}}^{y_{(i+1)}} e^{-y^2} dy \quad (3.41)$$

Y reemplazamos en (2.41)

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = \frac{(h+d)}{\sqrt{m}} \frac{\left(\int_{y_{(i)}}^{\infty} e^{-y^2} dy - \int_{y_{(i+1)}}^{\infty} e^{-y^2} dy \right)}{(S_{(i)} - S_{(i+1)})} \quad (3.42)$$

Luego

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = \frac{(h+d)}{\sqrt{m}} \frac{[W(S_{(i)}, \infty) - W(S_{(i+1)}, \infty)]}{(S_{(i)} - S_{(i+1)})} \quad (3.43)$$

Para las integrales (3.42) se puede utilizar la aproximación de Hart. Donde

$$\int_y^{\infty} e^{-y^2} dy = \frac{0,124734}{y^3 - 0,4378805y^2 + 0,266982y + 0,138375} \quad (3.44)$$

$$\int_0^{\infty} e^{-y^2} dy = 0,89 \quad (3.45)$$

Finalmente

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = 1 \quad \text{para } S_{(i)} > h \quad (3.46)$$

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = \frac{(h+d)}{\sqrt{m}} \frac{[0,89 - W(S_{(i+1)}, \infty)]}{(S_{(i)} - S_{(i+1)})} \quad \text{para } S_{(i)} = h \quad (3.47)$$

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) \quad \text{para } S_{min} < S_{(i)} < h \quad (3.48)$$

$$= \frac{(h+d)}{\sqrt{m}} \frac{[W(S_{(i)}, \infty) - W(S_{(i+1)}, \infty)]}{(S_{(i)} - S_{(i+1)})}$$

$$E(S_{(i)}, S_{(i+1)}) = \text{contante} \quad \text{para } S_{(i)} \leq S_{min} \quad (3.49)$$

3.3.2. Relación de la variable “m” del modelo de Whiten del harnero con las variables de operación

Tal como en el modelo de Whiten para los chancadores se deben realizar una serie de ensayos para recopilar las condiciones operacionales (parámetros operacionales) y seguidas de análisis de regresión lineal para obtener las variables del modelo.

Las variables de operación típicas que pueden ser utilizadas son:

- **F** = Flujo máximo alimentación.
- **%MC** = Porcentaje de material en la alimentación mayor a una malla característica.
- **%H** = Porcentaje de humedad del mineral.
- **X** = Altura de la cama de mineral sobre la malla.
- Otros

Estas variables operacionales se relacionan con la constante m por medio de una ecuación como:

$$m = a_0 - a_1 \times F - a_2 \times \% NC \quad (3.50)$$

A partir de métodos numéricos se pueden obtener las constantes **a0, a1, a2**.

3.4. Ajuste de balance de masas por Lagrange

En el procesamiento de minerales se efectúan muestreos con diversos fines, ya sea para determinar parámetros de la operación, eficiencia de equipos, análisis de errores, etc. Dentro de los equipos muestreados existen algunos como los harneros que pueden considerarse como nodos, en los cuales existen variables de entrada y salidas.

Al obtener los análisis granulométricos en un nodo determinado, el problema con que se encuentra inicialmente es que “Los análisis granulométricos del sistema tienen que ser matemáticamente consistentes.”, es decir que la suma de los flujos de entrada sea igual a la suma de los flujos de salida. Pero debido a errores de muestreo, análisis u

operación durante la manipulación de las muestras, pueden dar valores en los cuales esto no se cumpla.

En el caso de la Figura 3.12.a, la suma de los flujos de las variables de entrada es igual a la suma de flujos de las variables de salida. Es decir, matemáticamente el sistema es consistente. ¿Pero qué pasa, en el caso de la Figura 3?12.b ?, donde la suma de los flujos de las variables de entrada es mayor en 0,12 t/h, que el flujo de las variables de salida?

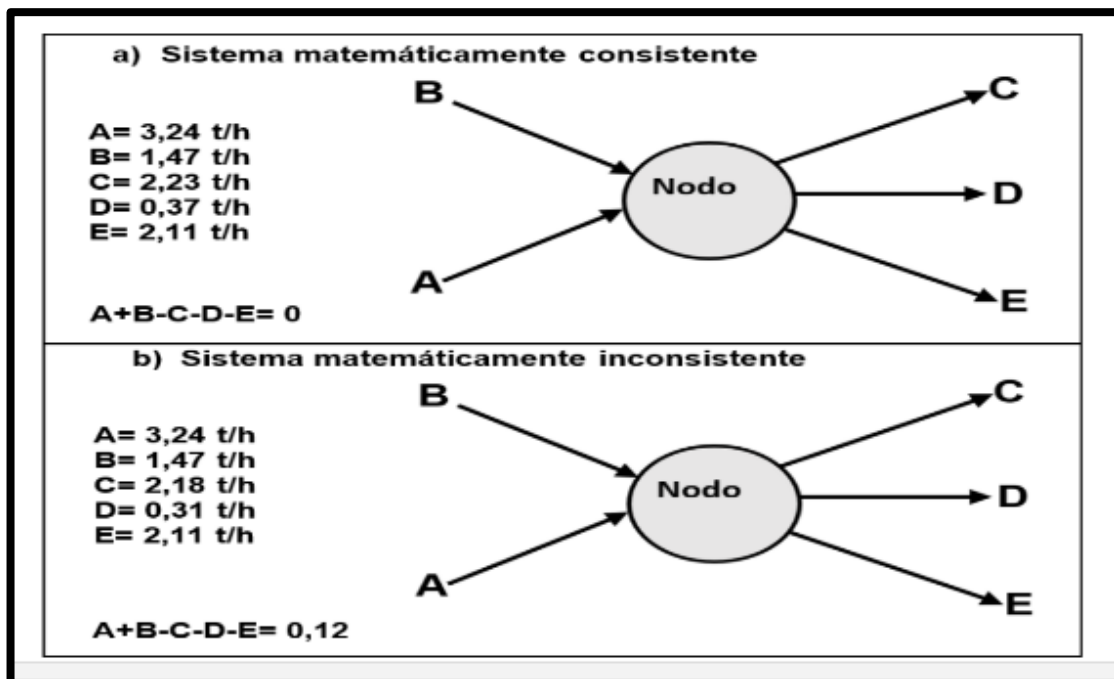


Figura 3.12 Sistema matemáticamente consistente e inconsistente

Para ajustar el nodo de la Figura 3.12.b. se puede sumar a cada flujo de salida 0,4 t/h, o solo a un flujo 1,2 t/h, haciendo el sistema consistente matemáticamente, sin embargo, en este caso se está atribuyendo el error de muestreo solamente a los flujos de salida.

Se conoce que el error asociado a cada muestra, influye considerablemente en las desviaciones que puede tener un balance, se puede definir un ponderado que es inversamente proporcional a la varianza del error de muestreo.

$$W_i = \frac{1}{S_i^2} \quad (3.51)$$

Donde

W_i = Factor ponderador de la variable i

S_i^2 = Varianza o error asociado a la variable i .

Luego la resolución de los balances deberá cumplir con:

- Las variables ajustadas deben parecerse lo más posible, uno a uno, a las variables originales o medidas.
- Que la diferencia entre valores medidos y ajustados está dentro de un rango esperado de dispersión de los valores medidos.
- Que las relaciones de balance de masa se cumplan exactamente, es decir que las muestras sean matemáticamente consistentes.

En general esto se puede lograr, mediante el planteamiento de una función objetivo que consiste en la sumatoria de los cuadrados de las diferencias entre variables medidas y calculadas ponderadas por factores de peso W_i , esto es.

$$\phi = \sum_{i=1}^m W_i \left(\frac{F_i - \hat{F}_i}{F_i} \right)^2 \quad (3.52)$$

Sujeto a las restricciones de balance en n nodos, es decir

$$\phi = \sum_{i=1}^m K_{ji} F_i = 0 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \quad (3.53)$$

Donde

n = Número de nodos.

m = Número de variables independientes.

F_i = Valor medido o experimental del flujo i .

\hat{F}_i = Valor ajustado del flujo i .

K_{ji} = Parámetro o coeficiente de la j -ésima restricción del flujo F_i , para que este sea entrada, salida o no pertenezcan al nodo j , pudiendo tomar los valores 1, -1 o 0.

Para resolver este sistema lineal, se utiliza el método de los multiplicadores de Lagrange que consiste en definir una nueva función objetivo, la cual se forma a partir de la original más las restricciones multiplicadas por el peso λ (multiplicador de Lagrange), cuyo número dependerá de la cantidad de restricciones que tenga el sistema ($n+p$) donde:

p = número de restricciones adicionales.

La solución de la función optimizada con restricciones, pasa por minimizar ϕ . Para lo cual se definen las nuevas variables ya mencionadas, multiplicadores de Lagrange. De esta manera la nueva función objetivo extendida es:

$$\phi(\hat{F}_1, \hat{F}_2, \dots, \hat{F}_m, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \sum_{i=1}^m W_i \left(\frac{F - \hat{F}_i}{F_i} \right)^2 + \sum_{j=1}^n \lambda_j \sum_{i=1}^m K_{ji} \hat{F}_i \quad (3.54)$$

El minimizar la función ϕ , implica que todas las primeras derivadas de la función deben ser nulas. Esto es:

$$\frac{\partial \phi}{\partial \hat{F}_i} = -2 \sum_{i=1}^m \frac{W_i}{F_i} \left(\frac{F_i - \hat{F}_i}{F_i} \right) + \sum_{i=1}^n \lambda_j \sum_{i=1}^m K_{ji} = 0 \quad (3.55)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda_j} = \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m K_{ji} \hat{F}_i = 0 \quad (3.56)$$

Ordenando la ecuación (3.54) tenemos que

$$2 \sum_{i=1}^m \frac{W_i \hat{F}_i}{F_i^2} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \sum_{i=1}^m K_{ji} = 2 \sum_{i=1}^m \frac{W_i}{F_i} \quad (3.57)$$

$$\sum_{i=1}^m W_i \hat{F}_i + \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{2} \sum_{i=1}^m K_{ji} F_i^2 = \sum_{i=1}^m W_i F_i \quad (3.58)$$

Con $\lambda = \frac{\lambda}{2}$ Se tiene que

$$\sum_{i=1}^m W_i \hat{F}_i + \sum_{j=1}^n \lambda_j \sum_{i=1}^m K_{ji} F_i^2 = \sum_{i=1}^m W_i F_i \quad (3.59)$$

Ordenando las ecuaciones (3.56) (3.59) como sistema matricial se obtiene la matriz de la Figura 3.13.

$$\begin{pmatrix} W_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & (F_1)^2 K_{11} & (F_1)^2 K_{21} & \dots & (F_1)^2 K_{j1} & \dots & (F_1)^2 K_{n1} \\ 0 & W_2 & \ddots & & 0 & (F_2)^2 K_{12} & (F_2)^2 K_{22} & \dots & (F_2)^2 K_{j2} & \dots & (F_2)^2 K_{n2} \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & W_i & \ddots & 0 & (F_i)^2 K_{1i} & (F_i)^2 K_{2i} & \dots & (F_i)^2 K_{ji} & \dots & (F_i)^2 K_{ni} \\ \vdots & & \ddots & \ddots & 0 & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & W_m & (F_m)^2 K_{1m} & (F_m)^2 K_{2m} & \dots & (F_m)^2 K_{jm} & \dots & (F_m)^2 K_{nm} \\ \\ K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1i} & \dots & K_{1m} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2i} & \dots & K_{2m} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ K_{j1} & K_{j2} & \dots & K_{ji} & \dots & K_{jm} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{ni} & \dots & K_{nm} & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \vdots \\ \hat{F}_i \\ \vdots \\ \hat{F}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_1 F_1 \\ W_2 F_2 \\ \vdots \\ W_i F_i \\ \vdots \\ W_m F_m \\ \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.60)$$

Figura 3.13. Sistema matricial para balance de flujos principales.

El sistema anterior puede ser formulado como

$$A * B = C \quad (3.60)$$

La solución de este sistema está dada por:

$$A^{-1} * C = B \quad (3.61)$$

Obteniéndose de esta manera los flujos \hat{F}_i ajustados.

En el caso de los flujos parciales, que pueden ser analizados utilizando la Figura 3.14, donde se observan los r flujos parciales que ingresan o salen de un nodo j, para cada intervalo de tamaño granulométrico k, donde el número de variables independientes será m x r. K_{jik} es el parámetro o coeficiente de la j-ésima restricción del flujo f_{ik} , pudiendo tomar los valores 1, -1 o 0, dependiendo si es de entrada, salida o no pertenezcan al nodo

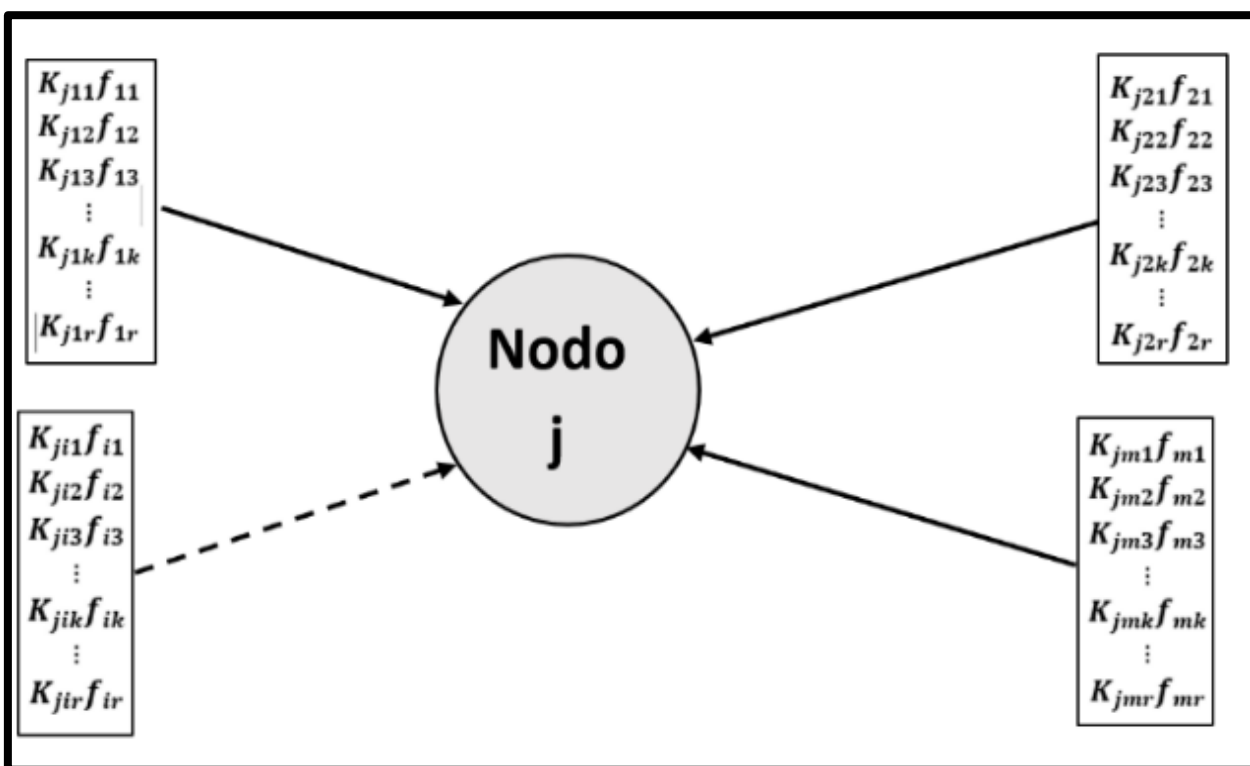


Figura 3.14. Flujos parciales en un nodo j

Aplicando un algoritmo similar al utilizado para obtener el sistema matricial de la figura 3.13 se tiene que:

$$\phi = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r W_{ik} \left(\frac{f_{ik} - \widehat{f}_{ik}}{f_{ik}} \right)^2 \quad (3.62)$$

Sujeto a las restricciones de balance en n nodos, es decir

$$\phi = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r K_{jik} \widehat{f}_{ik} = 0 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \quad (3.63)$$

Además, se considerarán restricciones en las cuales se incluyen los flujos ajustados \widehat{F}_i , teniendo:

$$\phi = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r (K_{ik} \widehat{f}_{ik} - \widehat{F}_i) = 0 \quad \text{para } l = 1, 2, \dots, p \quad (3.64)$$

Para (3.62), (3.63) y (3.64), se tiene que:

r = Número de Intervalo de tamaño granulométrico.

p = Numero de restricciones adicionales a las de los n nodos

f_{ik} = Valor medido o experimental del flujo ik parcial.

\widehat{f}_{ik} = Valor ajustado del flujo ik parcial.

K_{jik} = Parámetro o coeficiente de la j -ésima restricción en el flujo parcial ik para el intervalo de medida k .

Luego la función a minimizar es

$$\begin{aligned} \phi(\hat{f}_{11}, \dots, \hat{f}_{1r}, \dots, \hat{f}_{mr}, \hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \dots, \hat{\lambda}_n) & \quad (3.65) \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r W_{ik} \left(\frac{f_{ik} - \widehat{f}_{ik}}{f_{ik}} \right)^2 + \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r K_{jik} \widehat{f}_{ik} \\ &+ \sum_{i=n+1}^{n+p} \hat{\lambda}_j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r (K_{lik} \widehat{f}_{ik} - \widehat{F}_i) \end{aligned}$$

El minimizar de la función ϕ implica que todas las primeras derivadas de la función deben ser nulas. Esto es:

$$\frac{\partial \phi}{\partial \widehat{f}_{ik}} = -2 \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r \frac{W_{ik}}{f_{ik}} \left(\frac{f_{ik} - \widehat{f}_{ik}}{f_{ik}} \right) + \sum_{j=1}^{n+p} \hat{\lambda}_j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r K_{jik} = 0 \quad (3.66)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda_j} = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n K_{jik} \widehat{f}_{ik} = 0 \quad (3.67)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda_l} = \sum_{j=n+1}^{n+p} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r (K_{jik} \widehat{f}_{ik} - \widehat{F}_i) = 0 \quad (3.68)$$

Ordenando la ecuación (A.13) con $\lambda = \frac{\lambda}{2}$ tenemos que

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r W_{ik} \widehat{f}_{ik} + \sum_{j=1}^{n+p} \lambda_j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r K_{jik} f_{ik}^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r W_{ik} f_{ik} \quad (3.69)$$

Ordenando las ecuaciones (3.67), (3.68) y (3.69) como sistema matricial se tiene que.

$$\begin{pmatrix}
W_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{11}^2 K_{111} & f_{11}^2 K_{j11} & f_{11}^2 K_{(n+p)11} \\
0 & W_{1r} & 0 & \vdots & \vdots & 0 & f_{1r}^2 K_{11r} & f_{1r}^2 K_{j1r} & f_{1r}^2 K_{(n+p)1r} \\
0 & 0 & W_{i1} & \vdots & \vdots & 0 & f_{i1}^2 K_{1i1} & f_{i1}^2 K_{ji1} & f_{i1}^2 K_{(n+p)ik} \\
0 & \vdots & \vdots & W_{ir} & 0 & 0 & f_{ir}^2 K_{1ir} & f_{ir}^2 K_{jir} & f_{ir}^2 K_{(n+p)ir} \\
0 & \vdots & \vdots & 0 & W_{m1} & 0 & f_{m1}^2 K_{1m1} & f_{m1}^2 K_{jm1} & f_{m1}^2 K_{(n+p)ir} \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{mr} & f_{mr}^2 K_{1mr} & f_{mr}^2 K_{jmr} & f_{mr}^2 K_{(n+p)mr} \\
K_{111} & K_{11r} & K_{1i1} & K_{1ir} & K_{1m1} & K_{1mr} & 0 & 0 & 0 \\
K_{j11} & K_{j1r} & K_{ji1} & K_{jir} & K_{jm1} & K_{jmr} & 0 & \vdots & 0 \\
K_{n11} & K_{n1r} & K_{ni1} & K_{nir} & K_{nm1} & K_{nmr} & 0 & \vdots & 0 \\
K_{(n+1)11} & K_{(n+1)1r} & K_{(n+1)i1} & K_{(n+1)ir} & K_{(n+1)m1} & K_{(n+1)mr} & 0 & \vdots & 0 \\
K_{(n+p)11} & K_{(n+p)1r} & K_{(n+p)i1} & K_{(n+p)ir} & K_{(n+p)m1} & K_{(n+p)mr} & 0 & 0 & 0
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
\widehat{f}_{11} \\
\widehat{f}_{1r} \\
\widehat{f}_{i1} \\
\widehat{f}_{ir} \\
\widehat{f}_{m1} \\
\widehat{f}_{mr} \\
\lambda_1 \\
\lambda_j \\
\lambda_n \\
\lambda_{n+1} \\
\lambda_{n+p}
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
W_{11} f_{11} \\
W_{1r} f_{1r} \\
W_{i1} f_{i1} \\
W_{ir} f_{ir} \\
W_{m1} f_{m1} \\
W_{mr} f_{mr} \\
0 \\
0 \\
0 \\
\widehat{F}_1 \\
\widehat{F}_m
\end{pmatrix}$$

Figura 315. Sistema matricial para balance de flujos parciales por tamaño granulométrico.

El sistema anterior puede ser formulado como

$$\mathbf{A} * \mathbf{B} = \mathbf{C} \tag{3.70}$$

La solución de este sistema está dada por:

$$\mathbf{A}^{-1} * \mathbf{C} = \mathbf{B} \tag{3.71}$$

Obteniéndose de esta manera los flujos \widehat{f}_{ik} ajustados.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo de titulación se aplicó el siguiente procedimiento experimental.

4.1. Muestreos Preliminares

Se realizó un muestreo preliminar, para determinar la longitud de la correa transportadora que debe ser colectada como muestra para que la masa de mineral muestreado sea igual o mayor a la mínima “ M_s ” requerida de acuerdo con la ecuación de Pierre Gy para que sea representativa, asumiendo un error de muestreo $< 5\%$.

Por lo anterior, se realizó un muestreo previo en todas las cintas transportadoras, para cual se detuvo la Planta de Chancado Secundario y Terciario con carga, cuando el sistema se encontraba en régimen estacionario y con alimentación nominal. Con este muestreo se obtuvo la siguiente información; masa de muestra por unidad de longitud de cinta transportadora, " M_M ", tamaño máximo de partícula y velocidad de las cintas transportadoras.

Mediante la aplicación de la ecuación Pierre Gy, ecuación 4.1, se determinó la masa mínima de muestra, " M_s " y con la masa de muestra por unidad de longitud de cinta transportadora, " M_M ", y la ecuación 4.2, se calculó la longitud de cinta transportadora, " L_s " que debe ser colectada para que la muestra sea representativa.

$$M_s = \frac{K \cdot d^3}{S^2} \quad (4.1)$$

$$L_s = \frac{M_s}{M_M} \quad (4.2)$$

En la Tabla 4.1, se muestra la masa mínima de muestra M_s determinada con la ecuación de Pierre Gy, la masa de muestra por unidad de longitud de cinta transportadora, M_M , colectada en cada cinta transportadora y la longitud de cinta transportadora L_s que debe ser colectada para que la masa de muestra sea representativa de cada flujo muestreado con un error de muestreo de 5%. En la tabla se

observa que para todos los puntos de muestreo se requiere coleccionar una longitud de cinta transportadora inferior a 1 m para que la muestra sea representativa. En la Tabla 4.2 se presentan las velocidades de las diferentes cintas transportadoras, medidas con un Tacómetro digital Marca SKF (Modelo TMRT1, Precisión 0.01%, ± 1 dígito). En el anexo A punto A.1 se presenta la información obtenida del muestreo para aplicar la ecuación de Pierre Gy, así como los cálculos de la masa M_s y la longitud de correa L_s .

Tabla 4.1. Masa mínima de muestra M_s , masa de muestra por unidad de longitud de cinta transportadora, M_M , y longitud de cinta transportadora que debe ser coleccionada como muestra L_s .

Correa	M_s	M_M	L_s
	kg	Kg/m	m
100-CT-001	11,6	34,2	0,34
100-CT-002	8,8	60,3	0,15
100-CT-004	11,8	33,6	0,35
100-CT-005	1,5	48,6	0,03
100-CT-006	4,9	38,4	0,14
100-CT-008	6,1	61,0	0,10
100-CT-010	14,2	22,1	0,42
100-CT-012	4,5	51,8	0,09

Tabla 4.2 Velocidades de las diferentes cintas transportadoras

Correa N.º	Medición Nº1	Medición Nº2	Medición Nº3	Promedio	Desviación estándar
100-CT-001	m/s	m/s	m/s	m/s	\pm m/s
100-CT-002	1,907	1,892	1,897	1,899	0,008
100-CT-004	1,533	1,529	1,541	1,534	0,006
100-CT-005	1,633	1,627	1,631	1,630	0,003
100-CT-006	1,583	1,575	1,579	1,579	0,004
100-CT-008	1,651	1,642	1,647	1,647	0,005
100-CT-010	1,483	1,477	1,480	1,480	0,003
100-CT-012	1,433	1,424	1,421	1,426	0,006

4.2. Colecta y Preparación de las Muestras

4.2.1. Método de colecta de las muestras

Para obtener las constantes de las ecuaciones que relacionan las variables de operación con los parámetros de los modelos de Whiten para chancadores y harneros (secundarios y terciarios), se colectaron muestras bajo diferentes condiciones de operación en los flujos de entrada y salida de cada uno de los equipos. Los puntos de muestreo para el circuito de chancado secundario y terciario son los indicados en la Figura 4.1 y 4.2, respectivamente. En las figuras se observa que el chancador secundario es alimentado desde la cinta transportadora CT-004 y el chancador terciario es alimentado desde un alimentador vibratorio. La muestra de alimentación al chancador terciario fue colectada en la cinta CT-010, debido a que no fue posible colectarla en el alimentador vibratorio, por esta razón no es posible estimar el flujo alimentación a este equipo.

Se colectaron muestras en la alimentación y descarga de los chancadores secundarios y terciarios, variando el flujo de alimentación (FA) y la abertura del lado cerrado de los chancadores (CSS) e indirectamente el tamaño 80% pasante en la alimentación (F80). En los harneros secundario y terciarios se colectaron muestra en la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño, variando el flujo de alimentación (FA) e indirectamente el % mayor a una malla característica en la alimentación (MC). El flujo de alimentación se modificó variando la frecuencia de las correas transportadoras (F).

En las Tabla 4.3(a) y 4.3 (b), se muestran los valores de las frecuencias y abertura del CSS, para los muestreos realizados en el chancado secundario y terciario, respectivamente. La Tabla 4.3(c) y 4.3 (d), se muestran los valores de la frecuencia, para los muestreos realizados en el harnero secundario y terciario.

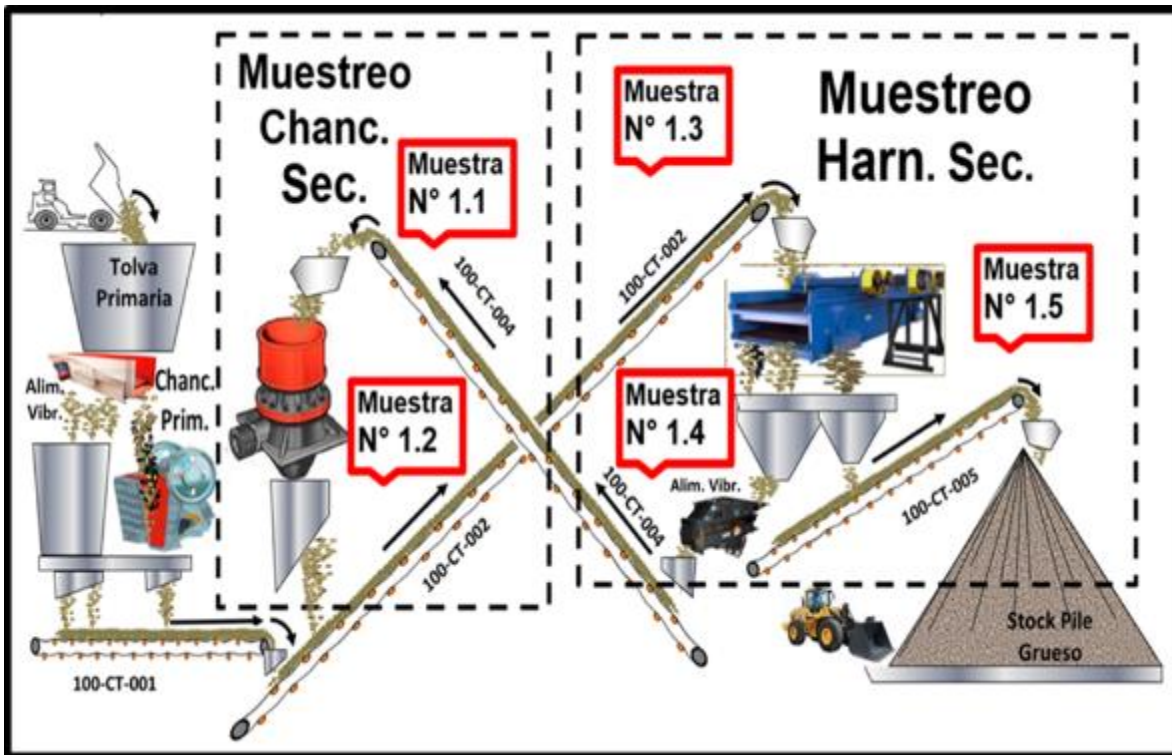


Figura 4.1 Ubicación puntos de muestreo circuito secundario

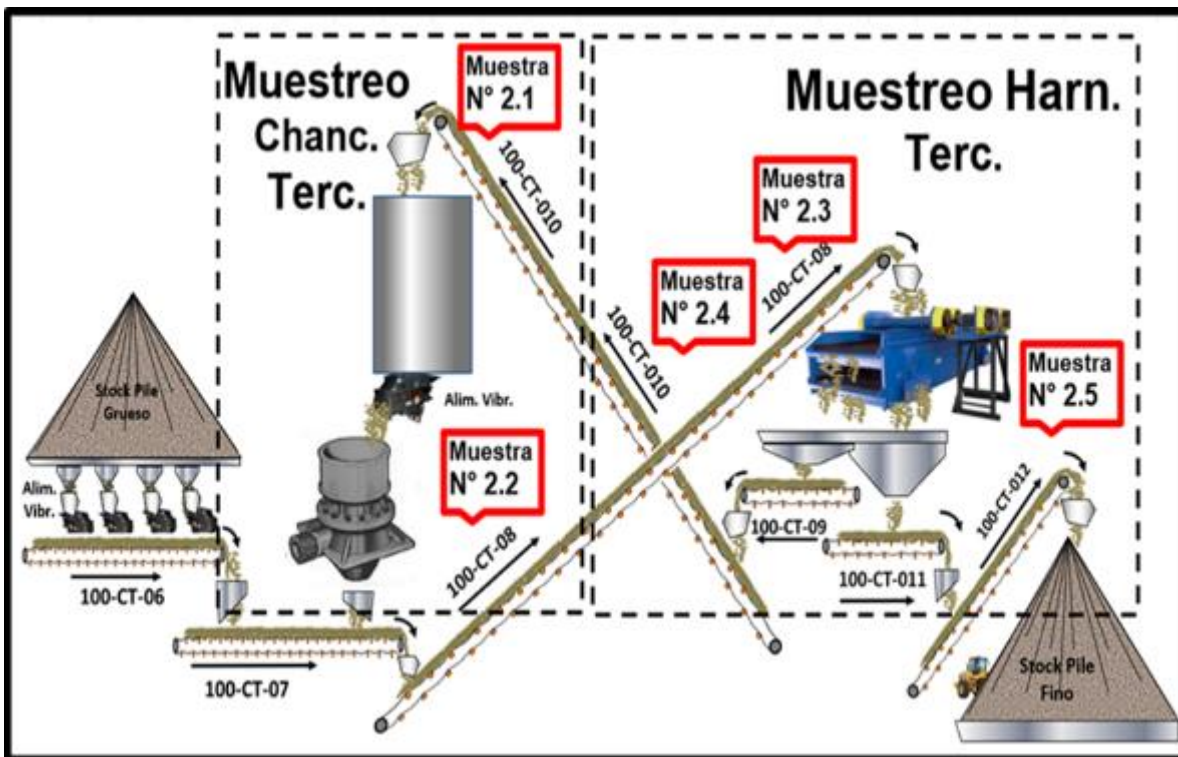


Figura 4.2 Ubicación puntos de muestreo circuito terciara

Tabla 4.3(a). Frecuencia y abertura CSS, muestreos chancadores secundario.

Muestreo	Frecuencia, Hz	CSS, mm
1	42	22
2	30	25
3	35	25
4	37	25
5	39	25
6	42	25
7	30	28
8	35	28
9	37	28
10	39	28
11	42	28
12	42	31

Tabla 4.3(b). Frecuencia y abertura CSS, muestreos chancadores terciario.

Muestreo	Frecuencia, Hz	CSS, mm
1	42	8
2	30	12
3	35	12
4	37	12
5	39	12
6	42	12
7	30	16
8	35	16
9	37	16
10	39	16
11	42	16
12	42	19

Tabla 4.3(c). Frecuencia cinta transportadora en la alimentación al harnero secundario.

Muestreo	Frecuencia, Hz
1	27
2	30
3	33
4	36
5	39

Tabla 4.3(c). Frecuencia cinta transportadora en la alimentación al harnero terciario.

Muestreo	Frecuencia, Hz
1	27
2	30
3	33
4	36
5	39

Las muestras fueron colectadas sobre las cintas transportadoras (detenidas) con un delimitador de incremento de 1 m de longitud. En la Figura 4.3 se muestra la colecta de muestra en la cinta transportadora CT-02; el procedimiento aplicado fue el siguiente una vez detenidas las cintas transportadoras, se instaló el delimitador de incremento, separando y limpiando el mineral unos 20 centímetros a ambos lados del extremo del delimitador, retirando los finos con una brocha. Lo anterior se realiza para evitar que, al momento de retirar el delimitador, el mineral contenido fuera de éste ingrese hacia el centro y contamine la muestra. Para todas las muestras se aplicó el mismo procedimiento de colecta de muestra y la masa de muestra colectada es mayor a la calculada con la ecuación de Pierre Gy.



Figura 4.3 Colecta de muestra sobre la correa CT-02

4.2.2. Determinación de distribuciones de tamaño y flujos másicos

Para la determinación de las distribuciones de tamaño y flujos másicos, se aplicó procedimiento descrito a continuación:

a) Se midió la masa de la muestra colectada en cada punto de muestreo en una Báscula Marca Sartorius (Modelo Midrics 1, Resolución 1 g, Capacidad máxima 150 Kg). Antes de realizar cada medición la báscula fue tarada con la bandeja contenedora de la muestra instalada en la báscula.

b) Se determinó la distribución de tamaño de partículas a cada una de las muestras colectadas, utilizando un harnero tamizador de laboratorio Gibson Marca Salas, utilizando harneros con aberturas de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 5/8", 1/2" y 3/8". La totalidad de la muestra fue tamizada durante 15 minutos, para asegurar una eficiencia de harneado adecuada. La masa de mineral contenido en cada harnero fue medida en la Báscula marca Sartorius.

c) El material 100% bajo 3/8", obtenido en el harnero vibratorio, fue homogenizado y dividido hasta obtener una muestra de 1000 g aproximadamente.

d) El total de la muestra obtenida en (c) fue tamizada en una batería de tamices de 1/4", # 6, # 12, # 30, # 50, # 70. Tiempo tamizado fue 15 minutos (Ro-Tap Marca TYLER, Modelo RX-29, rango de tiempo 0 -99 minutos; vibraciones por minuto 150, capacidad máxima 3 Kg).

e) Se determinó las distribuciones granulométricas expresadas en porcentaje parciales y acumulados pasantes, así el tamaño 80% pasante en la alimentación a los chancadores y % de tamaño mayor a la malla característica en la alimentación a los harneros.

f) Se determinó los flujos máxicos multiplicando la masa de la muestra colectada por unidad de longitud de correa por la velocidad de la correa.

En la Tabla 4.4(a) se presenta los valores de los flujos máxicos de alimentación y descarga, así como el tamaño 80% pasante para los diferentes muestreos realizados en el chancador secundario. En la tabla se observan diferencias en los flujos de alimentación y descarga de los chancadores, esto se debe al error inherente asociado al muestreo. En la Tabla 4.4(b) se presenta los valores de los flujos máxicos de descarga y el tamaño 80% pasante en la alimentación para los diferentes muestreos realizados en el chancador terciario; el flujo máxico de alimentación no pudo ser estimado como se explicó en el punto 4.2.1. En las Tablas 4.4(c) y (d), se muestran los valores de los flujos máxicos de alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño, así como los % mayores a la malla característica para los diferentes muestreos realizados en los harneros secundarios y terciarios. En las tablas se observa que la suma de los flujos de sobre

tamaño y bajo tamaño es diferente al flujo de alimentación, esto se debe al error inherente asociado al muestreo. En las Tablas 4.4(a), (b), (c) y (d), también se entrega la varianza del error asociada a cada uno los flujos muestreados.

Tabla 4.4(a) Valores de los flujos máxicos de alimentación, descarga, tamaño F80% pasante y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el chancador secundario.

Muestreo	Flujo Alimentación t/h	Flujo Descarga (t/h)	CSS (mm)	F80 (mm)	Varianza Error Alimentación	Varianza Error Descarga
1	124,35	107,70	22	87,115	4,87E-04	7,02E-05
2	48,92	51,37	25	99,502	1,30E-03	1,93E-04
3	85,95	76,40	25	99,254	7,39E-04	1,25E-04
4	110,41	96,05	25	81,959	5,37E-04	1,01E-04
5	123,10	112,18	25	46,323	6,89E-04	8,66E-05
6	149,98	116,19	25	51,589	3,48E-04	8,70E-05
7	69,84	55,47	28	97,605	9,03E-04	1,82E-04
8	63,31	83,43	28	89,438	9,65E-04	1,26E-04
9	82,60	123,56	28	60,764	9,65E-04	1,26E-04
10	125,26	131,27	28	79,455	4,68E-04	7,77E-05
11	152,94	132,08	28	49,947	3,38E-04	7,44E-05
12	147,66	112,46	31	49,607	6,91E-04	9,20E-05

Tabla 4.4(b) Valores de los flujos máxicos de alimentación, descarga, tamaño F80% pasante y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el chancador terciario.

Muestreo	Flujo Descarga (t/h)	CSS (mm)	F80 (mm)	Varianza Error
1	101,20	8	26,76	1,19E-05
2	75,10	12	26,77	4,00E-05
3	111,11	12	26,77	2,33E-05
4	137,27	12	26,77	1,69E-05
5	156,00	12	19,87	1,44E-05
6	63,31	12	26,77	5,50E-05
7	83,77	16	26,77	1,03E-04
8	110,06	16	28,87	3,50E-05
9	152,93	16	28,87	2,45E-05
10	140,98	16	28,87	2,55E-05
11	56,46	16	28,87	7,85E-05
12	121,74	19	26,76	9,53E-05

Tabla 4.4(c) Valores de los flujos máxicos de alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño, MC % y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el Harnero secundario.

Muestreo	Flujo Alim. t/h	Flujo Sobre tamaño (t/h)	Flujo Bajo tamaño (t/h)	MC (%)	Varianza Error Alim.	Varianza Error Sobre tamaño	Varianza Error Bajo tamaño
1	125,73	78,95	50,14	52,86	2,8E-04	1,1E-03	1,6E-04
2	200,77	126,02	118,55	48,53	2,9E-04	4,8E-04	6,1E-05
3	376,38	89,99	138,40	39,90	1,6E-04	2,9E-04	5,4E-05
4	412,06	185,43	285,33	35,41	1,2E-04	3,0E-04	2,1E-05
5	463,54	215,05	307,34	28,54	1,0E-04	2,6E-04	1,6E-05

Tabla 4.4(d) Valores de los flujos máxicos de alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño, MC % y la varianza del error de muestreo para los diferentes muestreos realizados en el Harnero terciario.

Muestreo	Flujo Alim. t/h	Flujo Sobre tamaño (t/h)	Flujo Bajo tamaño (t/h)	MC (%)	Varianza Error Alimentación	Varianza Error Sobre tamaño	Varianza Error Bajo tamaño
1	59,44	21,59	28,13	36,72	1,2E-04	6,8E-04	4,3E-05
2	85,07	39,51	56,34	32,52	7,9E-05	3,8E-04	2,3E-05
3	127,51	49,37	71,73	26,01	3,4E-05	2,4E-04	2,4E-05
4	267,85	77,22	172,54	21,39	1,7E-05	1,8E-04	8,3E-06
5	361,74	117,56	265,69	22,31	1,5E-05	1,1E-04	6,1E-06

En el Anexo A se presentan las distribuciones granulométricas expresadas en porcentajes parciales y en porcentajes acumulados pasante para las muestras colectadas en los distintos muestreos.

4.3. Ajuste del Balance de Masas

El balance de masa de flujos totales y por fracción granulométrica calculado con los datos experimentales, no ajusta debido a que tienen asociado errores de muestreo, preparación y análisis. Para ajustar dichos balances y de esta manera obtener

información consistente para estimar los parámetros de modelo de chancadores y harneros vibratorios se aplicó el método de los Multiplicadores de Lagrange.

4.3.1. Ajuste de los flujos máxicos totales en los chancadores

Consideran que no fue posible determinar el flujo máxico de alimentación al chancador terciario, solo se ajustó el balance de masas de los flujos máxicos totales en el chancador secundario.

Se planteó la siguiente función objetivo:

$$FO = WA \cdot \left(\frac{FA - \overline{FA}}{FA} \right)^2 + WD \cdot \left(\frac{FD - \overline{FD}}{FD} \right)^2 \quad (4.3)$$

Sujeta a la siguiente restricción:

$$\overline{FA} - \overline{FD} = 0 \quad (4.4)$$

Donde

FA : Flujo máxico de alimentación medido, t/h

\overline{FA} : Flujo máxico de alimentación ajustado, t/h

WA : Factor ponderador del error de muestro en el flujo de alimentación, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.

FD : Flujo máxico de descarga medido, t/h

\overline{FD} : Flujo máxico de descarga ajustado, t/h

WD : Factor ponderador del error de muestro en el flujo de descarga, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.

4.3.2. Ajuste de los flujos máxicos totales en los harneros

Para el ajuste de los flujos máxicos de alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño en los harneros secundarios y terciarios, para cada uno de los muestreos, se planteó la siguiente función objetivo:

$$FO = WA \cdot \left(\frac{FA - \overline{FA}}{FA} \right)^2 + WSt \cdot \left(\frac{FSt - \overline{FSt}}{FSt} \right)^2 + WBt \cdot \left(\frac{FBt - \overline{FBt}}{FBt} \right)^2 \quad (4.6)$$

Sujeto a la siguiente restricción:

$$\overline{FA} - \overline{FSt} - \overline{FBt} = 0 \quad (4.7)$$

Donde

FA : Flujo másico de alimentación medido, t/h

\overline{FA} : Flujo másico de alimentación ajustado, t/h

WA : Factor ponderador del error de muestro en el flujo de alimentación, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.

FSt : Flujo másico de descarga medido, t/h

\overline{FSt} : Flujo másico de descarga ajustado, t/h

WSt : Factor ponderador del error de muestro en el flujo de sobre tamaño, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.

FBt : Flujo másico de bajo tamaño medido, t/h

\overline{FBt} : Flujo másico de bajo tamaño ajustado, t/h

WBt : Factor ponderador del error de muestro en el flujo de bajo tamaño, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.

4.3.3. Ajuste de los flujos másicos por fracción granulométrica en los harneros

Para ajustar los flujos másicos por fracción granulométrica se aplicó la siguiente metodología:

a) Se calculó los flujos másicos por fracción granulométrica multiplicado las fracciones granulométricas medidas por los flujos másicos totales ajustados

b) Se planteó la siguiente función objetivo

$$FO = \sum w_{a,i} \cdot \left(\frac{fa,i - \overline{fa,1}}{fa,i} \right)^2 + \sum w_{st,i} \cdot \left(\frac{fst,i - \overline{fst,1}}{fst,i} \right)^2 + \sum w_{bt,i} \cdot \left(\frac{fbt,i - \overline{fbt,1}}{fbt,i} \right)^2 \quad (4.8)$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\overline{fa,1} - \overline{fst,1} - \overline{fbt,1} = 0 \quad (4.9)$$

$$\sum f_{a,i} - FA = 0 \quad (4.10)$$

$$\sum f_{st,i} - FSt = 0$$

Donde:

- $f_{a,i}$: Flujo másico de alimentación medido para el tamiz i, t/h
- $\overline{f_{a,i}}$: Flujo másico de alimentación ajustado para el tamiz i, t/h
- $w_{a,i}$: Factor ponderador del error de muestro en el flujo de alimentación para el tamiz i, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.
- $f_{st,i}$: Flujo másico de sobre tamaño medido para el tamiz i, t/h
- $\overline{f_{st,i}}$: Flujo másico de sobre tamaño ajustado para para el tamiz i, t/h
- $w_{st,i}$: Factor ponderador del error de muestro en el flujo de sobre tamaño para el tamiz i, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.
- $f_{bt,i}$: Flujo másico de bajo tamaño medido para el tamiz i, t/h
- $\overline{f_{bt,i}}$: Flujo másico de bajo tamaño ajustado para el tamiz i, t/h
- $w_{bt,i}$: Factor ponderador del error de muestro en el flujo de bajo tamaño para el tamiz i, determinado como el inverso de la varianza del error de muestreo.

4.4. Estimación de los parámetros de los modelos

4.4.1. Chancadores

Para estimar los parámetros del modelo de Whiten para el chancador secundario y terciario se aplicó la siguiente metodología:

a) Se asumió que la relación de dichos parámetros con las variables de operación, flujo de alimentación (FA), abertura del lado cerrado del chancador (CSS) y tamaño 80% pasante en la alimentación (F80), puede ser representado por medio de una ecuación; lineal, exponencial o polinómica.

- Matrices con componentes Lineales

Matriz Fractura

$$k = a_0 - a_1 * C_{SS}$$

$$n = b_1 * C_{SS}$$

$$m = c_0$$

Matriz Clasificación

$$k_1 = d_1 * C_{SS} \quad (4.12)$$

$$k_2 = e_1 * C_{SS} + e_2 * F_{80} + e_3 * F \quad (4.13)$$

$$k_3 = f_1 * C_{SS} \quad (4.14)$$

- Matrices con componentes Exponenciales

Matriz Fractura

$$k = a_0 - a_1 * e^{C_{SS}}$$

$$n = b_1 * e^{C_{SS}}$$

$$m = c_0$$

Matriz Clasificación

$$k_1 = d_1 * e^{C_{SS}} \quad (4.15)$$

$$k_2 = e_1 * e^{C_{SS}} + e_2 * e^{F_{80}} + e_3 * e^F \quad (4.16)$$

$$k_3 = f_1 * e^{C_{SS}} \quad (4.17)$$

- Matrices con componentes polinómicos

Matriz Fractura

$$k = a_0 - C_{SS}^{a_1}$$

$$n = C_{SS}^{b_1}$$

$$m = c_0$$

Matriz Clasificación

$$k_1 = C_{SS}^{d_1} \quad (4.18)$$

$$k_2 = C_{SS}^{e_1} + F_{80}^{e_2} + F^{e_3} \quad (4.19)$$

$$k_3 = C_{SS}^{f_1} \quad (4.20)$$

b) Se minimizó la suma residual de cuadrados (SRC), utilizando el complemento Solver de Excel, para encontrar los mejores valores de las constantes de las ecuaciones que relaciona los parámetros de los modelos con las variables de operación de chancadores:

$$SRC = \sum_i^n (gd, i - \overline{gd, i})^2 \quad (4.21)$$

Donde:

gd, i : Distribución granulométrica de la descarga ajustada para el tamiz i, %

$\overline{gd, i}$: Distribución granulométrica de la descarga predicha por el modelo de chancadores de cono para el tamiz i, %

c) Se selecciona la ecuación que permitiera obtener la menor SRC como ecuación representativa de la relación entre los parámetros del modelo de chancadores y las variables de operación.

4.4.2. Harneros

Para estimar los parámetros del modelo de Whiten para el harnero secundario y terciario se aplicó la siguiente metodología:

d) Se asumió que la relación dichos parámetros con las variables de operación, flujo de alimentación (FA) y % mayor a la malla característica, puede ser representado por medio de una ecuación; lineal, exponencial o polinómica.

- Ecuación Lineales.

$$m = a_0 - a_1 * \widehat{Fa} + a_2 * \%MC \quad (4.22)$$

- Ecuación Exponencial.

$$a_0 - \widehat{Fa}^{a_1} + \%MC^{a_2} \quad (4.23)$$

- Ecuación Polinómica

$$m = a_0 - a_1 * e^{\widehat{Fa}} + a_2 * e^{\%MC} \quad (4.24)$$

e) Se minimizo, la suma residual de cuadrados (SRC), utilizando el complemento Solver de Excel, para encontrar los mejores valores de las constantes de las ecuaciones que relaciona los parámetros de los modelos con las variables de operación de chancadores:

$$SRC = \frac{\sum_i^n [(gst, i - \overline{gst, i})^2 + (gbt, i - \overline{gbt, i})^2]}{n} \quad (4.25)$$

Donde:

gst, i Distribución granulométrica sobre tamaño ajustada para el tamiz i, %

$\overline{gst, i}$ Distribución granulométrica sobre tamaño predicha por el modelo de harnero para el tamiz i, %

gbt, i Distribución granulométrica bajo tamaño ajustada para el tamiz i, %

$\overline{gbt, i}$ Distribución granulométrica bajo tamaño predicha por el modelo de harnero para el tamiz i, %

f) Se selecciona la ecuación que permitiera obtener la menor SRC como ecuación representativa de la relación entre los parámetros del modelo de harneros y las variables de operación.

4.5. Implementación de un simulador de circuito de chancado

Se implementó un simulador para el circuito de chancado de la Planta Óxidos para simular los efectos de las siguientes variables: flujo de alimentación a los chancadores, abertura del lado cerrado de los chancadores, F80 de alimentación a los chancadores, flujo de alimentación a los harneros y % mayor a la malla característica en la alimentación a los harneros.

De forma general el programa se realizó en programación macros Visual Basic Excel, utilizando las modelaciones Whiten para determinar la granulometría de los equipos principales, chancadores y harneros. Como método de restricciones de las capacidades de estos equipos se utilizan las curvas de operacionales descritas en el Anexo B.

Previo a la realización de la programación se definió el siguiente criterio de diseño:

- Las áreas a modelar son las comprendidas, entre la correa 100-CT-002 y el Stock pile grueso (para el chancado grueso), y entre la correa 100-CT-006 y el stock pile fino (para el chancado fino). Estas áreas fueron descritas en el capítulo II.
- Para simular los equipos principales, Chancador Secundario, Chancador Terciario, Harneros Secundario y Harnero Terciario, se utilizan la modelación de Whiten, con sus ecuaciones y constantes calculadas según lo descrito en 4.3.
- Como parámetros de restricción de la capacidad de los chancadores se utilizaron las curvas de capacidad t/h versus CSS del chancador Ch 440 de Sandvik. El caso de los harneros se utilizó la teoría de diseño Metso. Las curvas capacidad t/h versus CSS, representadas en ecuaciones son presentadas en el Anexo B.

4.5.1. Descripción del programa

El programa se puede dividir en cuatro partes:

- Un módulo de ingreso de datos o UserForm que permite ingresar los parámetros Whiten a utilizar en el circuito.
- Un módulo de ingreso de datos o UserForm que permite ingresar los parámetros operacionales del sistema, flujo masico alimentación, granulometrías, cte.
- Un módulo de captura de datos o UserForm que permite visualizar los parameros operacionales del circuito una vez realizada la simulación del proceso.
- El programa simulación del proceso que determina la granulometría y parámetros metalúrgicos de cada uno de sus equipos, correas, chancadores y harneros.

a) Modulo ingreso de parámetros Whiten

Este módulo o UserForm permite realizar las siguientes operaciones, (ver Figura 4.5):

- De forma manual digitando cada una de las constantes, en las ventanas de color Negro. Están deben ser validadas con el “botón ingreso de datos”.
- Muestra el valor actual de las constantes, actualizándose en la medida que se cambian los datos.
- Permite ingresar constantes Whiten de tres bases de datos que fueron previamente cargadas, Oprimiendo los botones “Prog. Línea”; “Prog. Exp”; y “Prog. Pot.” para cada uno de los equipos. Validadas con la ventana desplegable “desea cambiar los datos”.
- Tiene un botón de escape; “salir”, del UserForm.

- El la Figura 4.4 se observa el diagrama de flujo de la programación.

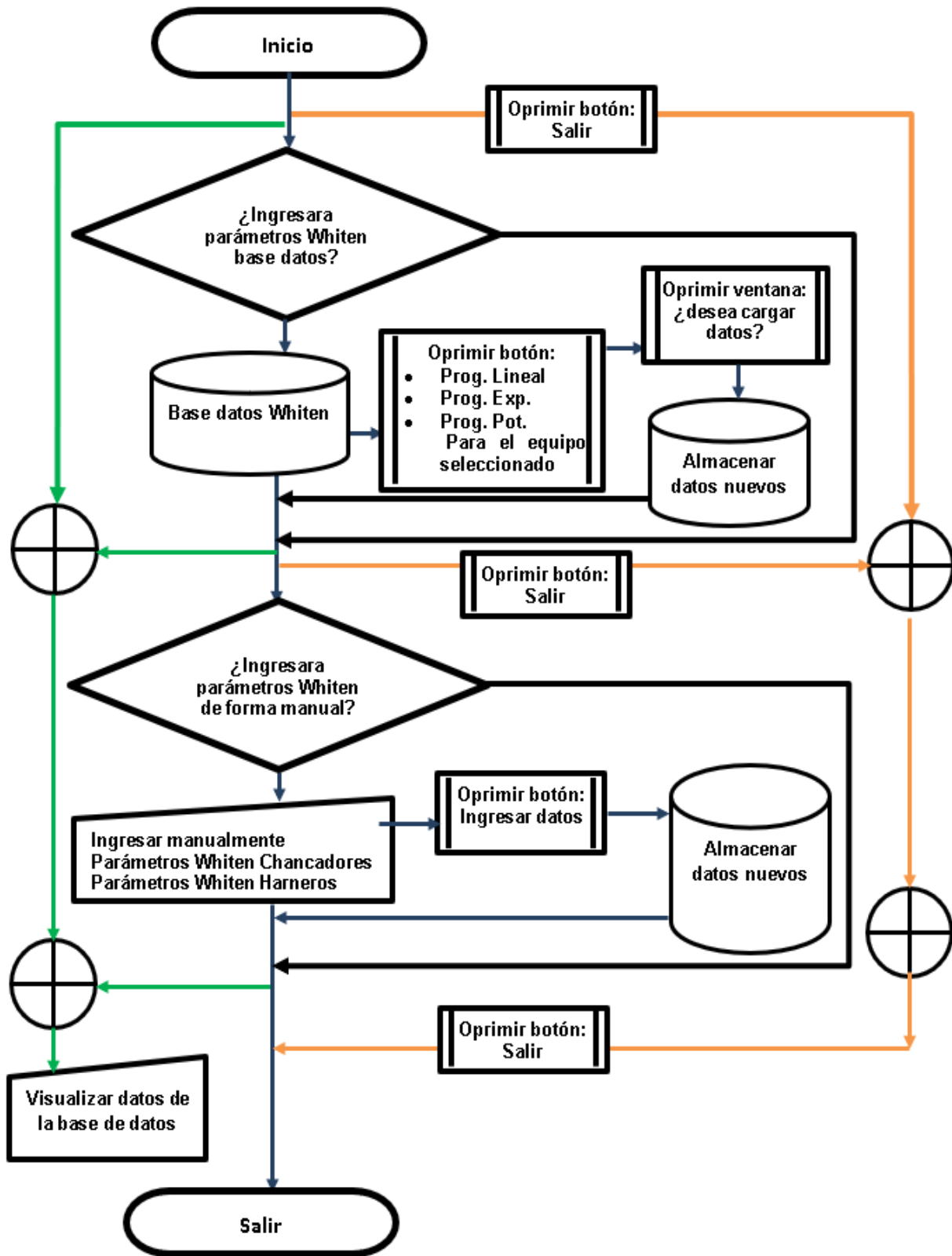


Figura 4.4 Diagrama Programa de ingreso de datos Whiten

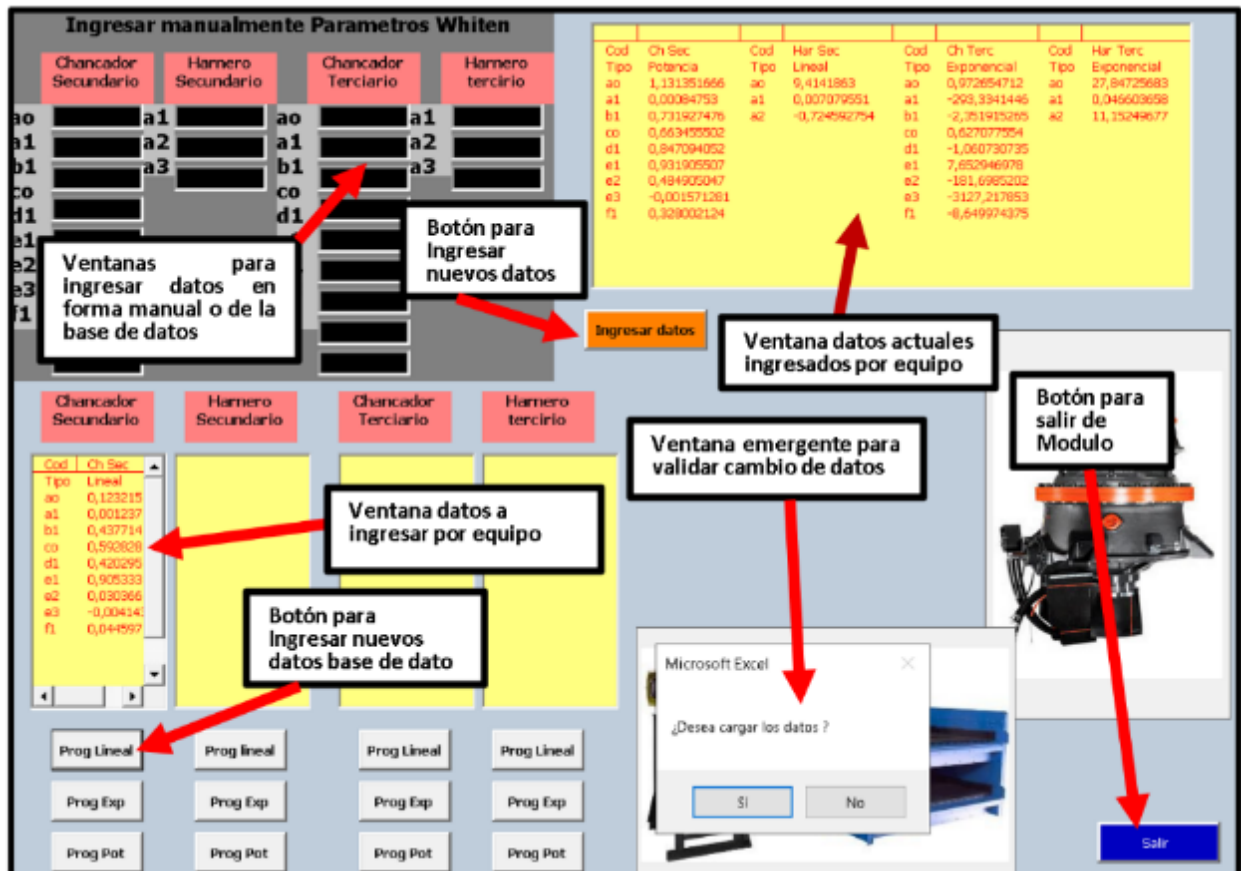


Figura 4.5 UserForm ingreso de parámetros Operacionales

b) Modulo ingreso de parámetros Operacionales

Este módulo o UserForm permite realizar las siguientes operaciones (ver Figura 4.7)

- Utilizar Botones de giro (spin Button) y cuadro de listas (ComboBox) para modificar el valor de los parámetros operacionales.
- Visualizar los actuales parámetros operacionales y granulometrías.
- Visualizar cuatro bases de dato granulométricas distintas, Fina, Media, Gruesa y otra no clasificada.
- Botones que permite ingresar las granulometrías de cuatro bases de datos distintas.
- Emerge una ventana para validar el ingreso de la nueva granulometría.
- Tiene un botón de escape; "salir", del UserForm.

- El la Figura 4.6 se observa el diagrama de flujo de la programación.

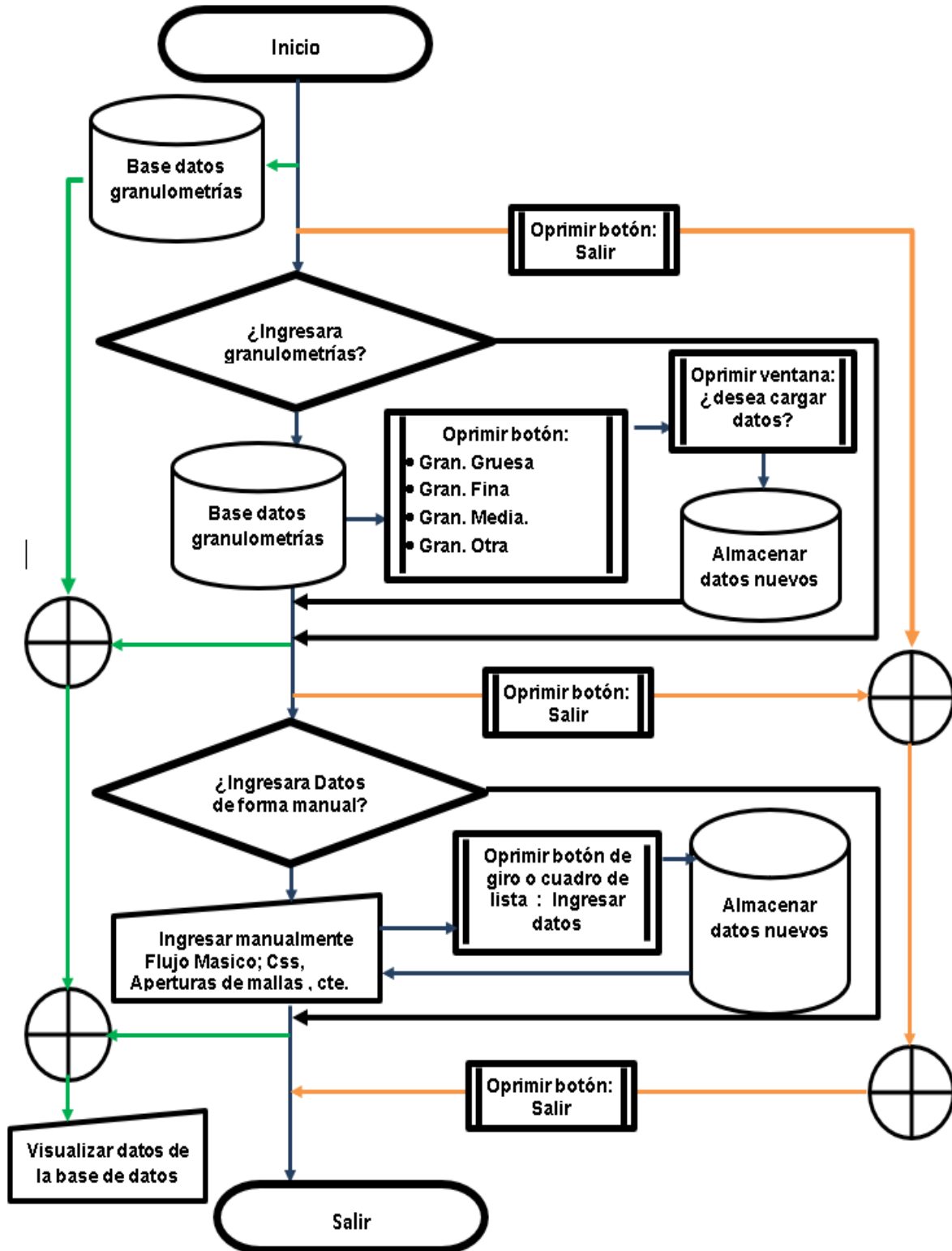


Figura 4.6 Diagrama Programa de ingreso de datos Operacionales

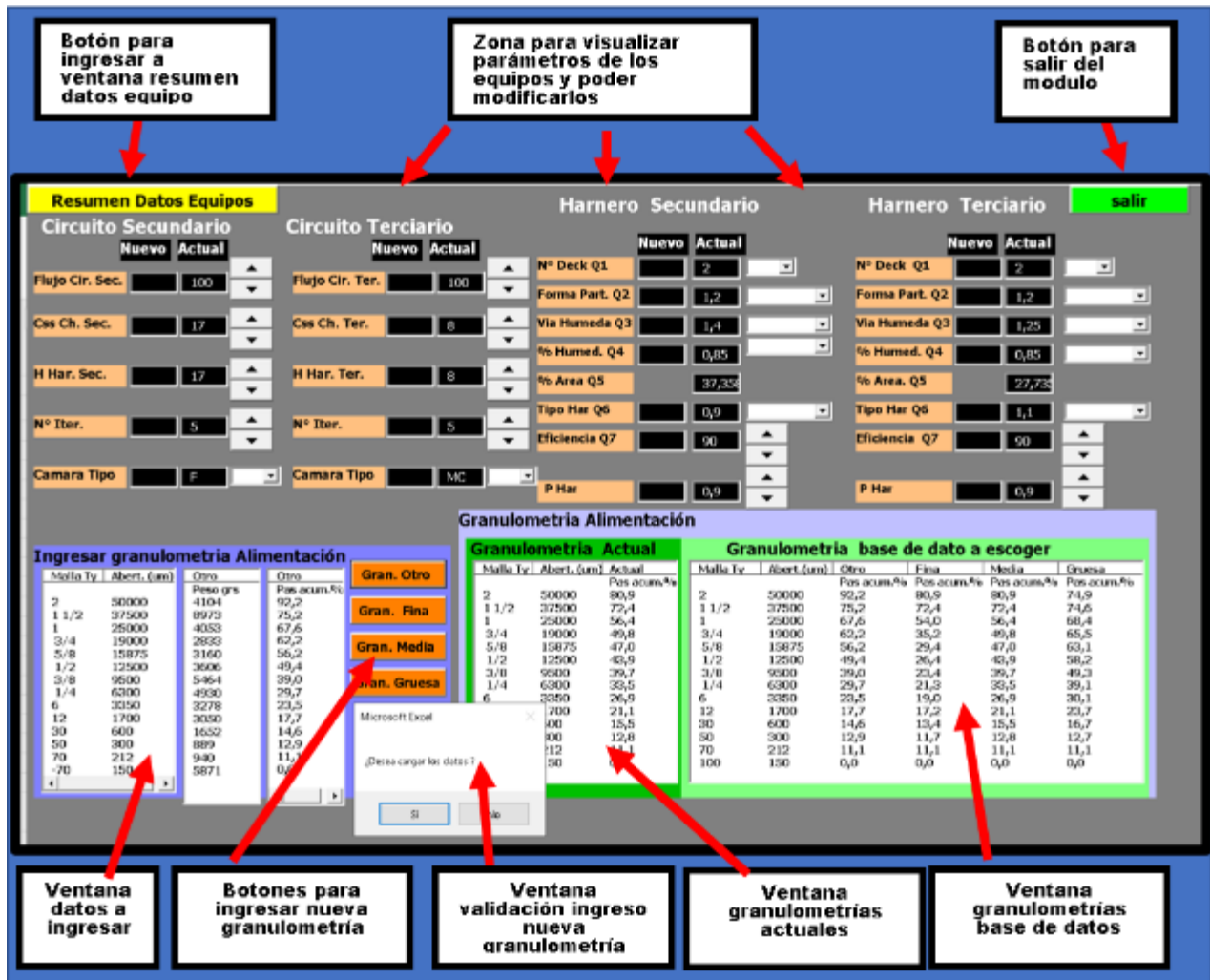


Figura 4.7 UserForm ingreso de parámetros Operacionales

c) Modulo captura resultados simulación

Este módulo o UserForm permite capturar los resultados de la simulación (ver Figura 4.9)

- Donde permite captura los parámetros operacionales de los equipos, después de la simulación.
- Tiene un botón de escape; “salir”, del UserForm.
- El la Figura 4.8 se observa el diagrama de flujo de la programación.

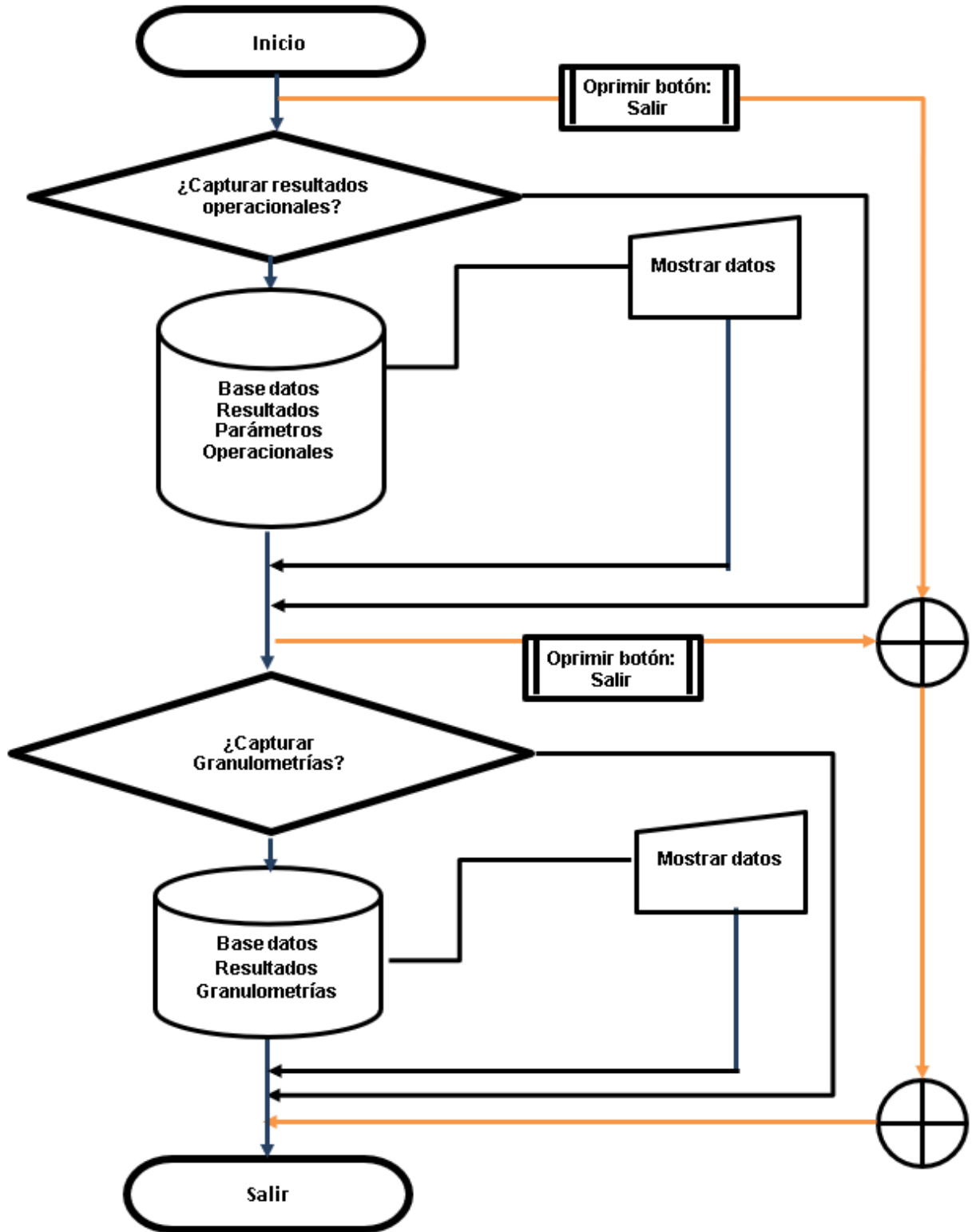


Figura 4.8 Diagrama Programa captura de resultados simulación

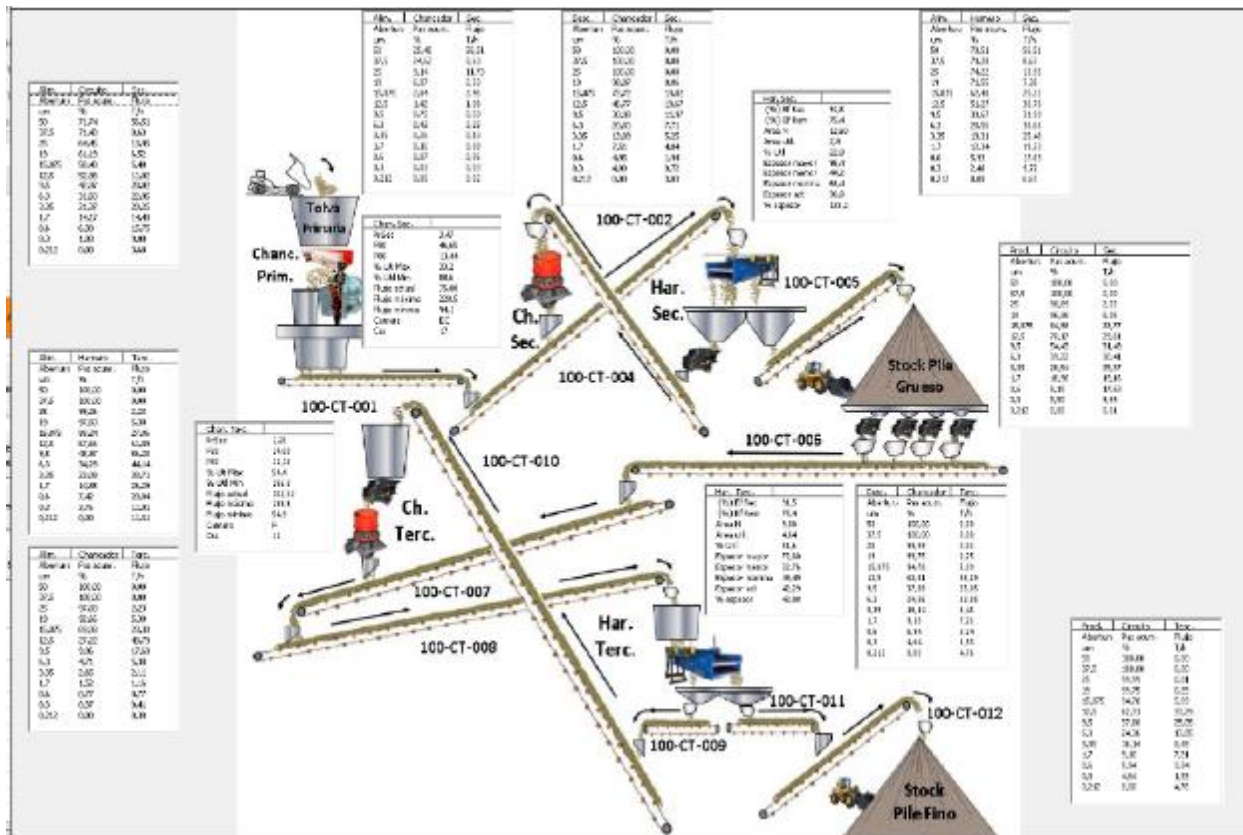


Figura 4.9 UserForm captura los resultados de la simulación

d) Modulo Programación

En las Figura 4.10 y 4.11 se observa el diagrama de flujo de las simulaciones de los circuitos Secundario y Terciario respectivamente.

Para la programación el circuito secundario se utilizando la siguiente lógica:

- Se lee desde de una base de dato, las granulometrías de la alimentación de la correa 100-CT-001, el flujo masico total, las velocidades de las cintas y se calculan los flujos parciales de la correa 100-CT1-001.
- Por ser un circuito cerrado inverso, se identifican tres nodos de operación. La correa 100-CT-002 es alimentada por la correa 100-CT-001 y el producto del chancador secundario. El harnero secundario es alimentado por la correa 100-CT-002, cuyo producto descarga en la correa 100-CT-004 y 100-CT-005. El

chancador secundario es alimentado por la correa 100-CT-004 que descarga en la correa 100-CT-002.

- El programa iterativamente va calculando la granulometría en cada uno de estos nodos hasta que la diferencia de los flujos total de la correa 100-CT-001 y 100-CT-005 es menos 0,001.
- Para la determinación de las granulometrías del chancador y harnero secundario se utilizó el modelo de Whiten.

Para la programación el circuito terciario se utilizó la siguiente lógica:

- Se asigna las granulometrías de la correa 100-CT-005 a la correa 100-CT-006.
- Se lee desde de una base de dato, el flujo masico total, las velocidades de las cintas y se calculan los flujos parciales de la correa 100-CT-006
- Por ser un circuito cerrado inverso, se identifican tres nodos de operación. La correa 100-CT-008 alimentada por la correa 100-CT-006 y el producto del chancador terciario. El harnero terciario es alimentado por la correa 100CT-008, cuyo producto descarga en a la correa 100-CT-010 y 100-CT-012. El chancador terciario es alimentado por la correa100-CT-010 y descarga en la correa 100-CT-008.
- El programa iterativamente va calculando la granulometría en cada uno de estos nodos hasta que la diferencia de los flujos totales de la correa 100-CT-006 y 100-CT-012 es menos 0,001.
- Para la determinación de las granulometrías del chancador y harnero terciario se utilizó el modelo de Whiten.

Todos los cálculos son guardados en una base de dato, para ser utilizado después en las ventanas de acceso del programa o UserForm.

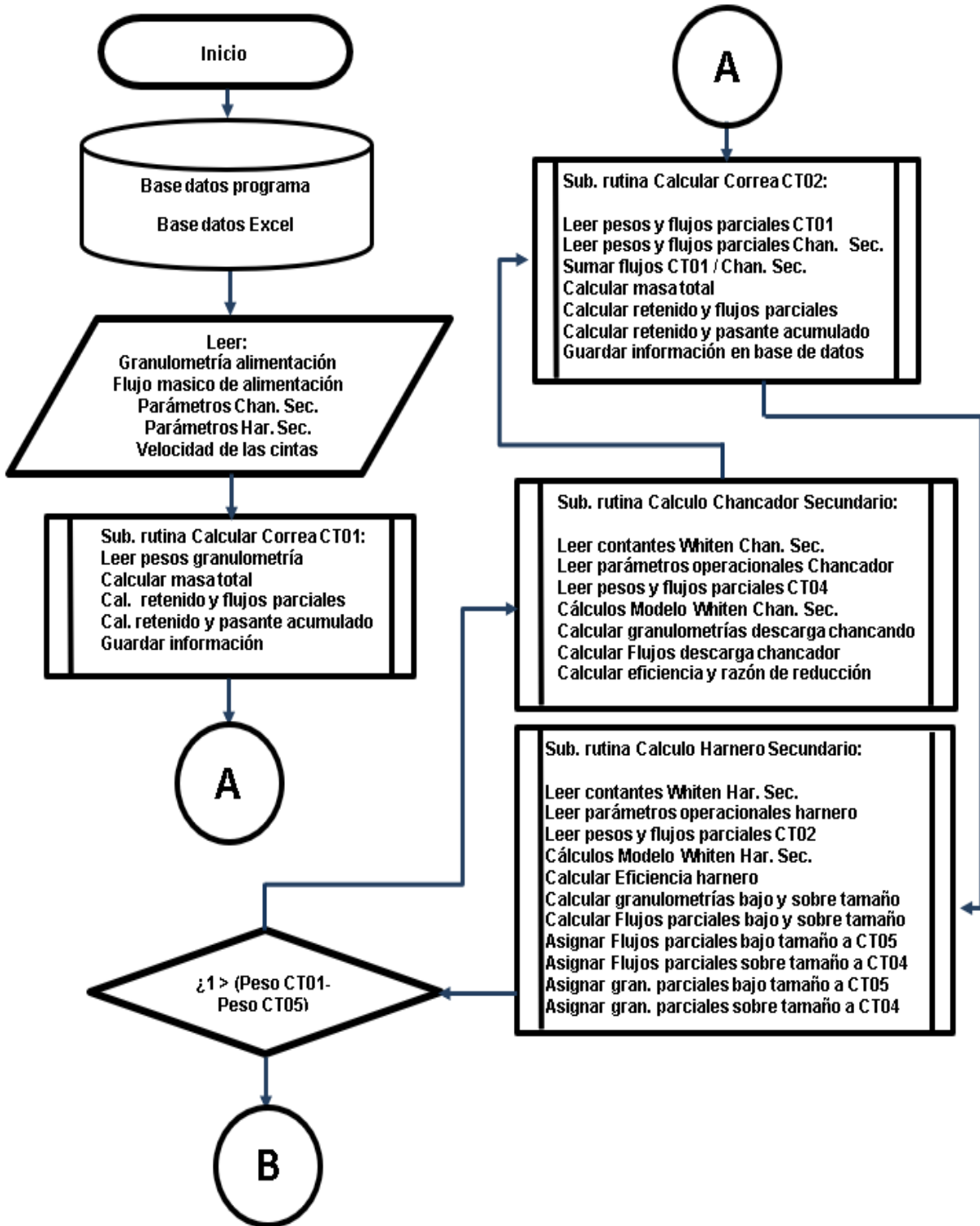


Figura 4.10 Diagrama Programa Circuito Secundario

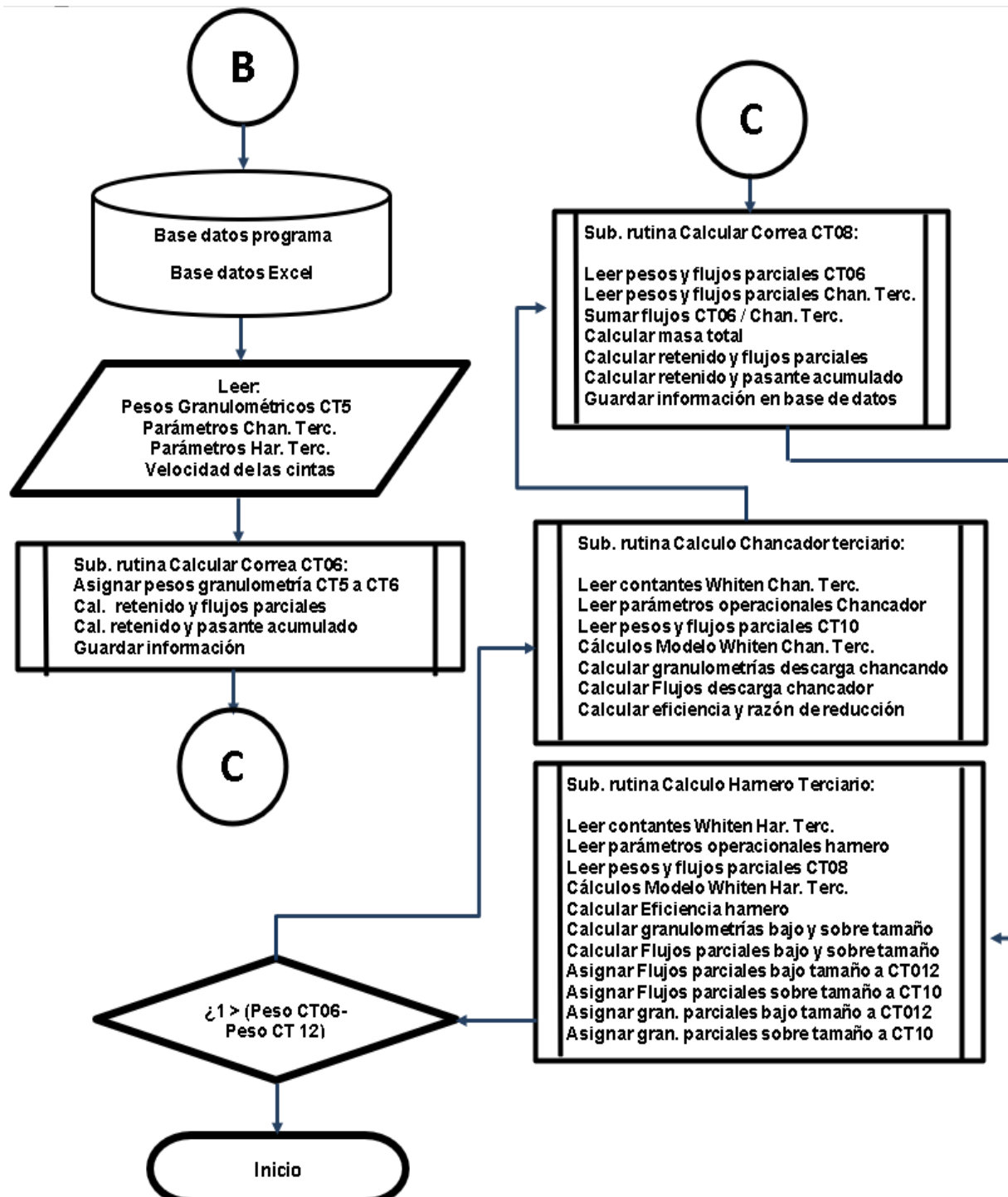


Figura 4.11 Diagrama Programa Circuito Terciario

5. Análisis y Discusión de Resultados

En este capítulo, se presenta el análisis y discusión de los resultados del ajuste del balance de masas, en los circuitos de chancado secundario y terciario, la estimación de los parámetros del modelo de Whiten para los chancadores y harneros y la validación del simulador implementado para el circuito de chancado secundario y terciario de Minera las Cenizas.

5.1. Ajuste de Balances de Masas

5.1.1. Ajuste de balance de masas flujos máxicos chancador secundario

En la Tabla 5.1, para cada uno de los muestreos realizados en el chancador secundario, se presentan los flujos totales de alimentación y descarga, medidos y ajustados, junto a la diferencia porcentual relativa de estos ajustes. Para los flujos máxicos de alimentación, se observa que el muestreo 9 presenta la mayor diferencia porcentual relativa, alcanzando 38,8%, en los demás muestreos también se observan valores altos entre un 4,1% y un 25,9%. En el caso de los flujos máxicos de la descarga, también se observa que el muestreo 9 presenta la mayor diferencia porcentual relativa, alcanzando 7,2%. En los demás muestreos se observan diferencias porcentuales relativas inferiores a 4,5%.

La mayor diferencia porcentual relativa que se observa en los flujos máxicos totales de alimentación, se debe a que se considera como factor ponderador del error, durante el ajuste por el método de Lagrange, los inversos de la varianza del error de muestreo, siendo estos mayores en la descarga "WD" que en la alimentación "WA". Estos valores también se observan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Flujos máxicos medidos y ajustados alimentación y descarga chancador secundario.

Muestreo	FAM	FDM	FADA	DRA	DRD	WA	WD
	(t/h)	(t/h)	(t/h)	(%)	(%)		
1	124,3	107,7	109,3	12,1%	1,5%	2055	14255
2	48,9	51,4	51,0	4,3%	0,7%	770	5185
3	86,0	76,4	77,5	9,8%	1,5%	1353	8021
4	110,4	96,1	97,8	11,4%	1,9%	1863	9932
5	123,1	112,2	113,2	8,0%	0,9%	1451	11544
6	150,0	116,2	120,6	19,6%	3,8%	2877	11497
7	69,8	55,5	57,1	18,3%	2,9%	1107	5480
8	63,3	83,4	79,7	25,9%	4,5%	1037	7940
9	82,6	123,6	114,7	38,8%	7,2%	1523	12287
10	125,3	131,3	130,3	4,1%	0,7%	2135	12863
11	152,9	132,1	135,0	11,7%	2,2%	2957	13432
12	147,7	112,5	115,0	22,1%	2,2%	1447	10871

Nota: Flujo alimentación medido no ajustado (FAM), flujo de descarga medido no ajustado (FDM), flujo de alimentación y descarga ajustado (FADA), diferencia porcentual relativa entre flujo alimentación ajustado y no ajustado (DRA), diferencia porcentual relativa entre flujo descarga ajustado y no ajustado (DRD), inversa de la varianza del error de muestreo flujo de alimentación (WA), inversa de la varianza del error de muestreo flujo de descarga (WD).

En la Figura 5.1, para el chancador secundario, se observan gráficamente los flujos parciales medidas y ajustados, para cada uno de los muestreos realizados. En ellos se aprecia que las mayores diferencias se presentan en los muestreos que se aplica menor factor ponderador del error, efecto explicado anteriormente.

Para este análisis se presenta los gráficos de flujos parciales y no los gráficos de las distribuciones granulométricas expresadas en % acumulado pasante, debido a que el ajuste se realiza en el flujo total de alimentación y descarga, manteniéndose sin modificación las granulometrías.

En el Anexo A1, se pueden observar las tablas con las distribuciones granulométricas para cada muestreo.

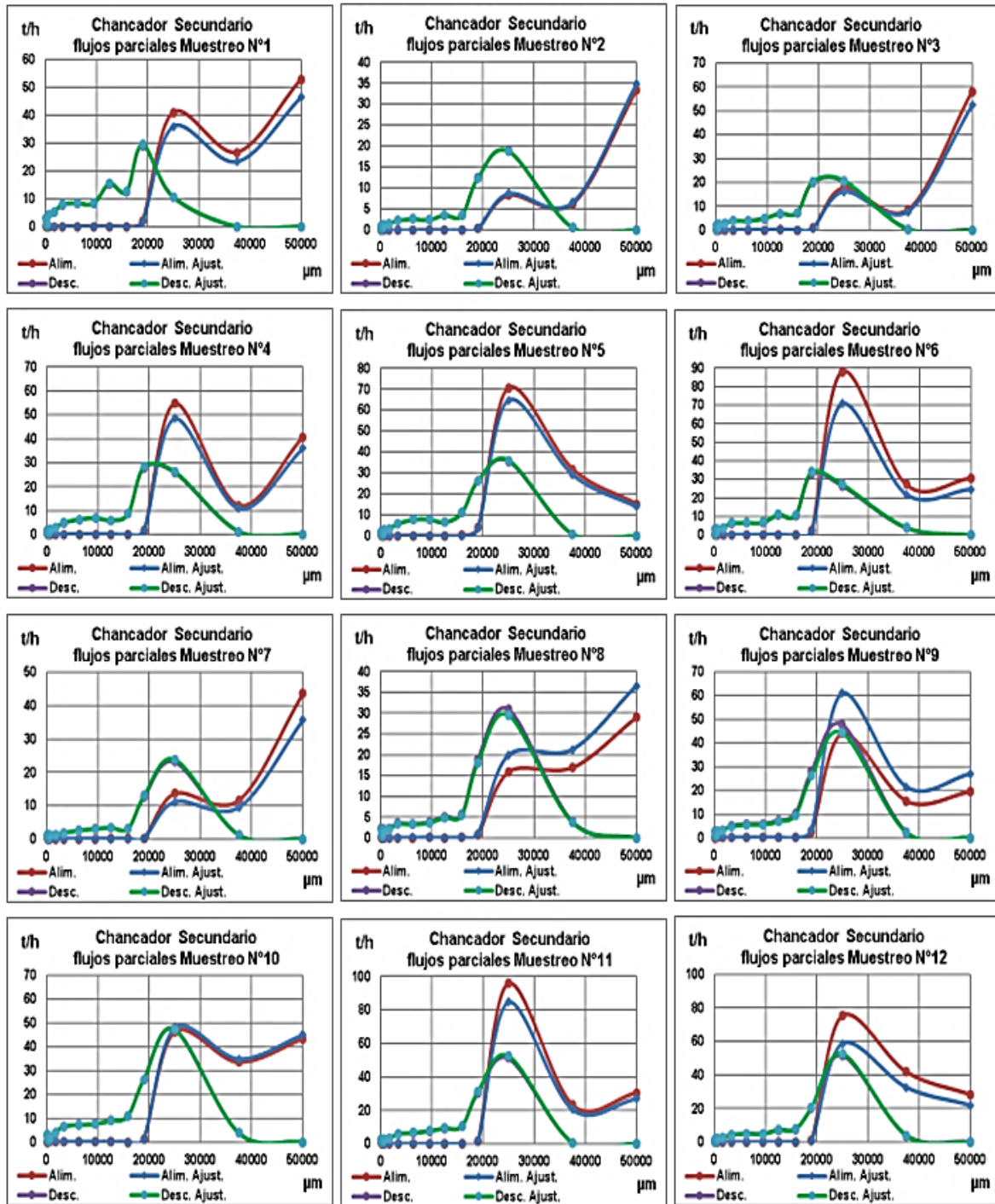


Figura 5.1 Flujos de alimentación y descarga medidas y ajustadas, para cada uno de los muestreos realizados en el Chancador secundarios.

5.1.2. Ajuste de balance de masas flujos máxicos totales y por tamaños harnero secundario

En la Tabla 5.2, para el harnero secundario, se presentan la diferencia porcentual relativa entre los flujos máxicos totales medidos y ajustados, para la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño. En ella se observa que los flujos máxicos de alimentación de los muestreos 2 y 4, son los que presentan mayor diferencia porcentual relativa, alcanzando 13,11% y 15,85% respectivamente, los demás flujos tienen diferencias porcentuales relativas inferiores a 4%. En el caso de los flujos máxicos bajo tamaño y sobre tamaño las diferencias porcentuales relativas, son en general inferiores 1%, excepto en los muestreos 1 y 3 del bajo tamaño, y el muestreo 2 del sobre tamaño, los que alcanzan valores de 1,75%, 1,13% y 1,44% respectivamente.

La mayor diferencia porcentual relativa que se observa en los flujos máxicos totales de alimentación, se debe a que se considera como factor ponderador del error, durante el ajuste por el método de Lagrange, los inversos de la varianza del error de muestreo, siendo estos mucho mayores en el sobre tamaño “WST” y bajo tamaño “WBT” que en la alimentación “WA”, Estos valores también se observan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Diferencia porcentual relativa entre los flujos máxicos totales medidos y ajustados, para la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño harnero secundario.

Muestreo	DRA%	DRBT%	DRST%	WA	WST	WBT
1	1,36	1,75	0,10	3571	909	6250
2	13,11	0,43	1,44	3448	2083	16393
3	3,38	1,13	0,08	6250	3448	18519
4	15,85	0,53	0,27	8333	3333	47619
5	0,23	0,52	0,01	10000	3846	62500

Nota: Diferencia porcentual relativa entre flujo alimentación ajustado y no ajustado (DRA); diferencia porcentual relativa entre flujo bajo tamaño ajustado y no ajustado (DRBT); diferencia porcentual relativa entre flujo sobre tamaño ajustado y no ajustado (DRST); inverso de la varianza del error de muestreo alimentación (WA); inverso de la varianza del error de muestreo sobre tamaño (WST); inverso de la varianza del error de muestreo bajo tamaño (WBT).

En la Figura 5.2, para el harnero secundario, se aprecian gráficamente las distribuciones granulométricas medidas y ajustadas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño, para cada uno de los muestreos realizados. En ella se observa gráficamente que el muestreo 5 es el que

presenta menores diferencias entre los valores medidos y ajustados para todo el perfil granulométrico.

En el Anexo A1, se presenta las Tablas con las distribuciones granulométricas para cada muestreo.

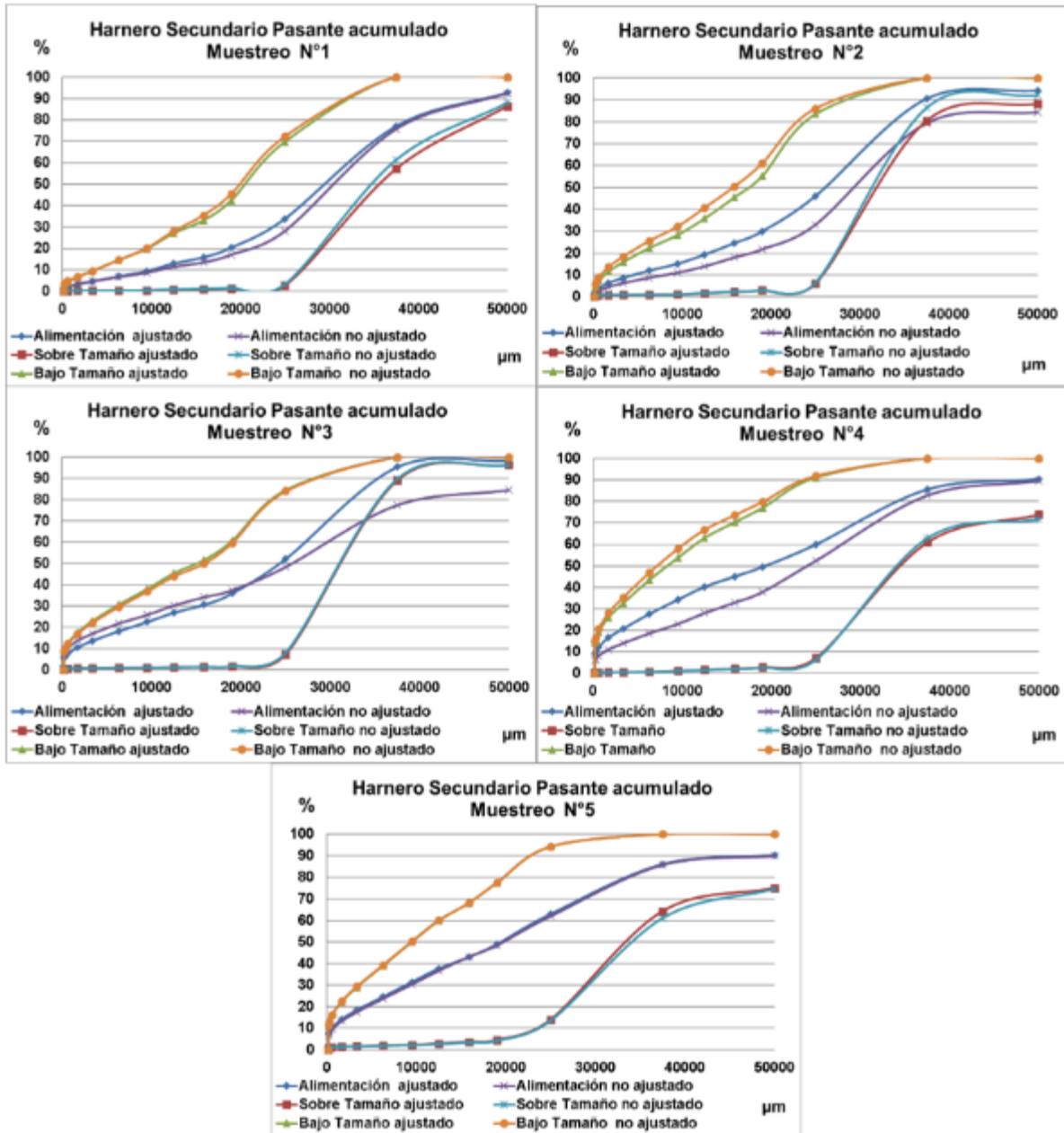


Figura 5.2 Distribuciones granulométricas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño medidas y ajustadas, para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundario.

5.1.3. Ajuste de balance de masas flujos másicos totales y por tamaños harnero terciario

En la Tabla 5.3, para el harnero terciario, se presentan la diferencia porcentual relativa entre los flujos másicos totales medidos y ajustados, para la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño. En ella se observa que el flujo másico de alimentación del muestreo 5, es el que presenta mayor diferencia porcentual relativa, alcanzando 1,42 %. En el caso de los flujos másicos bajo tamaño la mayor diferencia porcentual relativa se alcanza en los muestreos 1 y 2, con 1,26 % y 1.19% respectivamente. Para todos los demás flujos, incluyendo los sobre tamaño, la diferencia porcentual relativa es menor al 1%.

La mayor diferencia porcentual relativa que se observa en los flujos másicos totales de alimentación, se debe a que se considera como Factor ponderador del error, durante el ajuste por el método de Lagrange, los inversos de la varianza del error de muestreo, siendo estos mucho mayores en el sobre tamaño “WST” y bajo tamaño “WBT” que en la alimentación “WA”. Estos valores también se observan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Diferencia porcentual relativa entre los flujos másicos totales medidos y ajustados, para la alimentación, sobre tamaño y bajo tamaño harnero terciario.

Muestreo	DRA%	DRBT%	DRST%	WA	WST	WBT
1	0,03	1,26	0,00	8333	1471	23256
2	0,09	1,19	0,05	12658	2632	43478
3	0,45	0,68	0,05	29412	4167	41667
4	0,17	0,63	0,12	58824	5556	120482
5	1,42	0,79	0,21	66667	9091	163934

Nota: Diferencia porcentual relativa entre flujo alimentación ajustado y no ajustado (DRA); diferencia porcentual relativa entre flujo bajo tamaño ajustado y no ajustado (DRBT); diferencia porcentual relativa entre flujo sobre tamaño ajustado y no ajustado (DRST); inverso de la varianza del error de muestreo alimentación (WA); inverso de la varianza del error de muestreo sobre tamaño (WST); inverso de la varianza del error de muestreo bajo tamaño (WBT).

En la Figura 5.3, para el harnero terciario, se aprecian gráficamente las distribuciones granulométricas medidas y ajustadas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño, para cada uno de los muestreos realizados. En ella se observa que el muestreo 5 es el que presenta mayores diferencias entre los valores medidos y ajustados para todo el rango del intervalo granulométrico.

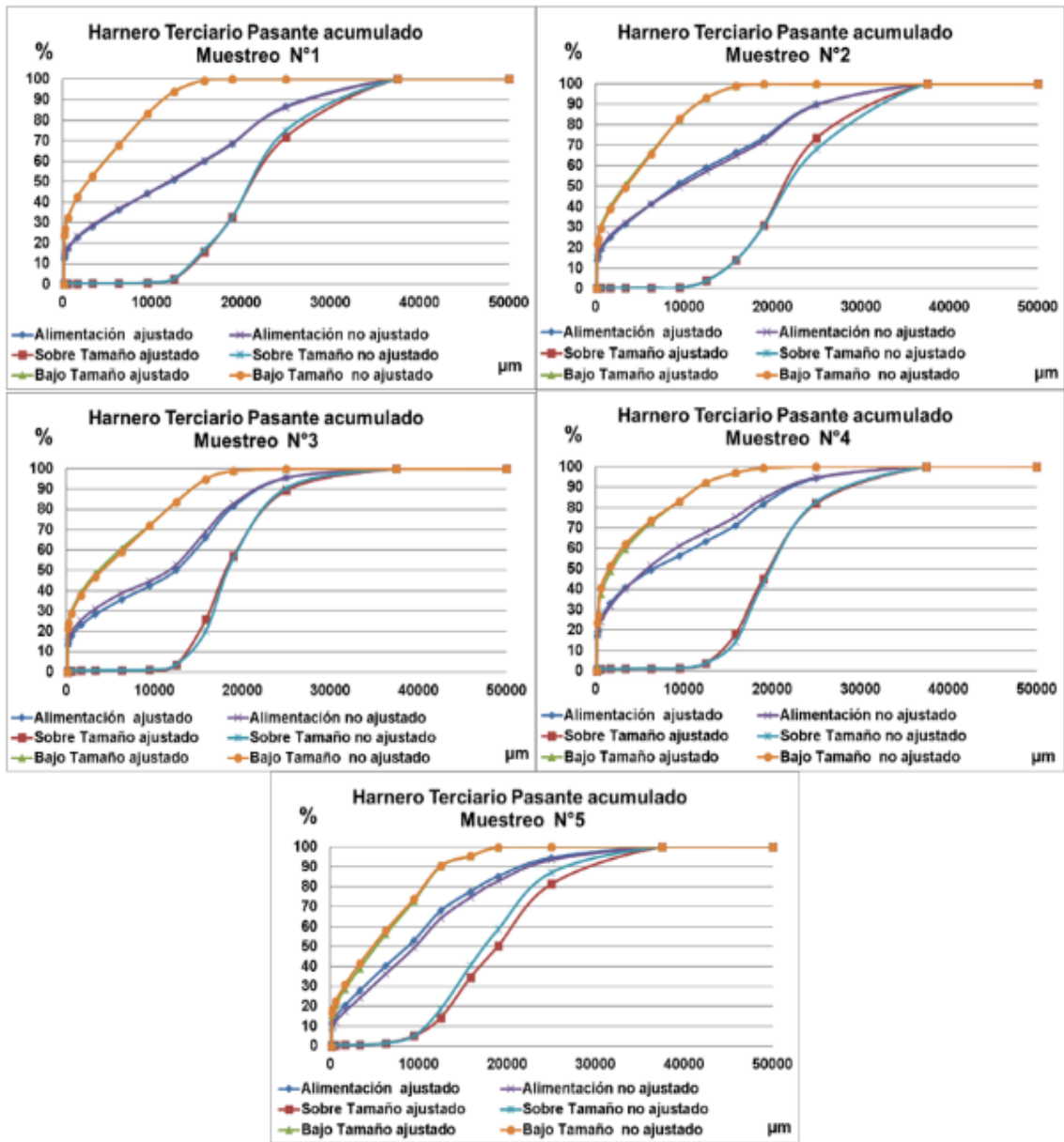


Figura 5.3 Distribuciones granulométricas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño medidas y ajustadas, para cada uno de los muestreos realizados en el harnero terciario.

5.2. Estimación parámetros modelo

5.2.1. Modelo de Whiten chancador secundario

En la Tabla 5.4 se muestran los valores obtenidos de la suma residual de cuadrados (SRC) para la estimación de las constantes de las ecuaciones que relacionan los parámetros del modelo de Whiten para el chancador secundario por medio de una relación del tipo lineal, exponencial o polinómica. En la tabla se observa que la menor SRC se obtiene cuando los parámetros del modelo y las variables de operación se relacionan por medio de una ecuación polinómica.

Tabla 5.4 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el Chancador secundario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.

Ecuación	SRC
Lineal	69,9
Exponencial	199,5
Polinómico	64,0

En la Tabla 5.5 se presentan las ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación con las variables de operación a través de una relación del tipo Polinómica.

Tabla 5.5 Ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación del modelo de Whiten para el chancador secundario con las variables de operación a través de una relación del tipo polinómica.

Matriz Fractura	Matriz Clasificación
$k = 1,10384 - \text{CSS}^{0,00625}$	$k_1 = \text{CSS}^{0,84663}$
$n = \text{CSS}^{0,73193}$	$k_2 = \text{CSS}^{0,89607} + F_{80}^{0,46958} + F^{020424}$
$m = 0,64799$	$k_3 = \text{CSS}^{0,29115}$

En la Figura 5.4, se comparan las distribuciones granulométricas de las descargas medidas y las calculadas utilizando las ecuaciones del tipo polinómica que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación del modelo de Whiten, con las variables de operación del chancador secundario para cada uno de los muestreos. En la figura se observa que en general el modelo tiende a obtener granulometrías más gruesas que la granulometría de los muestreos. Las modelaciones N° 4, 6, 9, 10,11y 12

se ajustan bien al muestreo, las modelaciones 1, 3, 5, se ajusta aceptablemente al muestreo, mientras que las modelaciones 2, 7 y 8 no logran ajustarse adecuadamente al muestreo, produciéndose los mayores desvíos en las granulometrías de las mallas entre 1" y ¼".

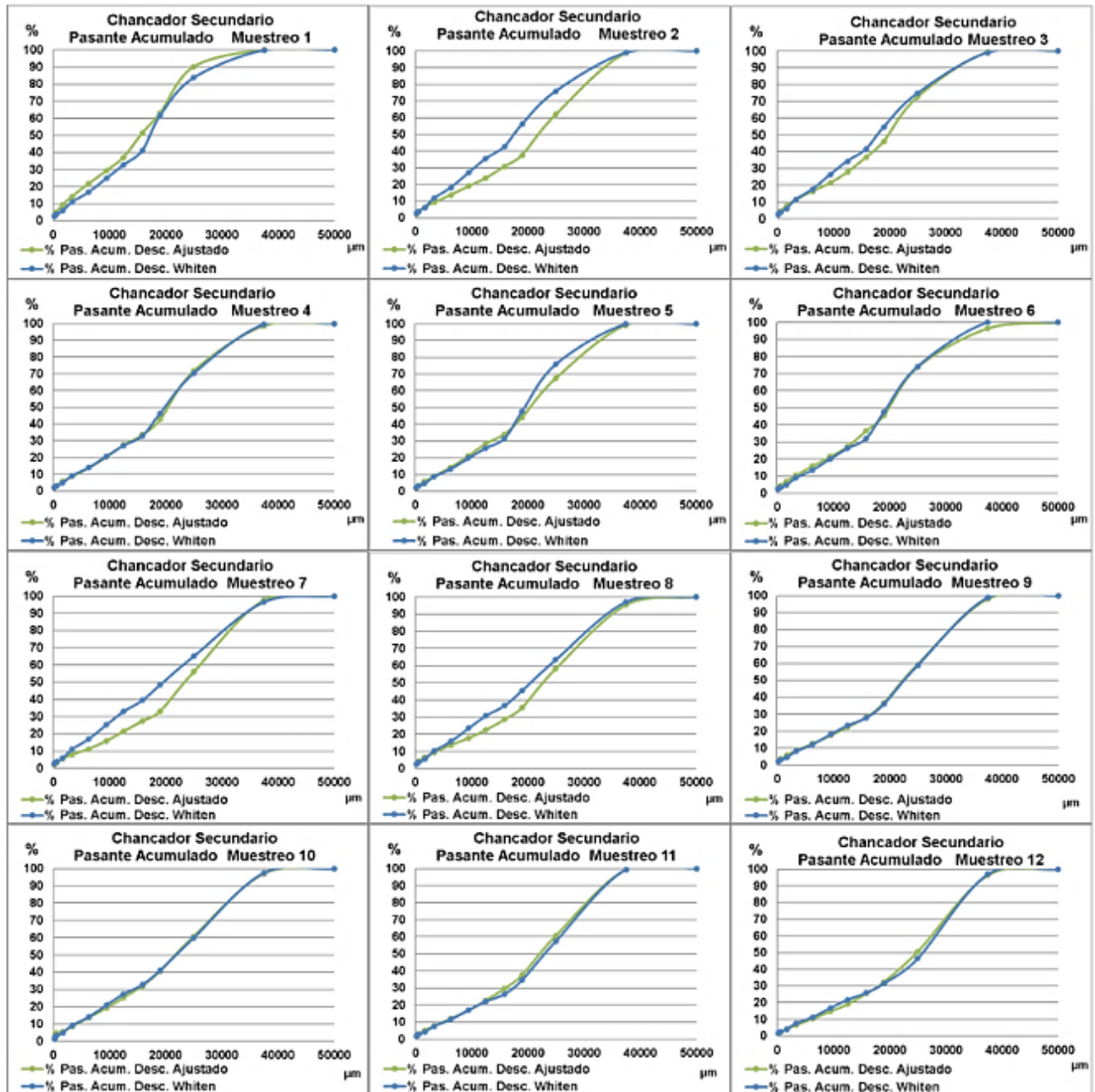


Figura 5.4 Distribuciones granulométricas, expresadas % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, descarga ajustadas y modelo Whiten para cada uno de los muestreos realizados en el chancador secundario.

5.2.2. Modelo de Whiten chancador terciario

En la Tabla 5.6 se muestran los valores obtenidos de la suma residual de cuadrados (SRC) para la estimación de las constantes de las ecuaciones que relacionan los parámetros del modelo de Whiten para el chancador terciario por medio de una relación del tipo lineal, exponencial o polinómica. En la tabla se observa que la menor SRC se obtiene cuando los parámetros del modelo y las variables de operación se relacionan por medio de una ecuación Lineal.

Tabla 5.6 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el Chancador terciario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.

Ecuación	SRC
Lineal	118,4
Exponencial	130,5
Polinómico	134,7

En la Tabla 5.7 se presentan las ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación con las variables de operación a través de una relación del tipo lineal.

Tabla 5.7 Ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación del modelo de Whiten para el chancador terciario con las variables de operación a través de una relación del tipo lineal.

Matriz Fractura	Matriz Clasificación
$k = 1,62420 - 0,08022 * CSS$	$k_1 = 0,89685 * C_{ss}$
$n = 0,05759 * C_{ss}$	$k_2 = 2,94017 * C_{ss} + 0,00001 * F_{80} + 0,00001 * F$
$m = 0,53162$	$k_3 = 0,71856 * C_{ss}$

En la Figura 5.5, se comparan las distribuciones granulométricas de las descargas medidas y las calculadas utilizando las ecuaciones del tipo lineal que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación del modelo de Whiten con las variables de operación del chancador terciario para cada uno de los muestreos. En las figuras se observa que el modelo tiende a obtener granulometrías más gruesas o más finas que la granulometría de los muestreos, sin tener una tendencia marcada hacia alguna de estas. Las modelaciones N° 1,3,4,5 y 8 se ajustan bien al muestreo, las

modelaciones 2, 9 y 10 se ajusta aceptablemente al muestreo, mientras que las modelaciones 6, 7, 11 y 12 no logran ajustarse adecuadamente al muestreo en casi todas las mallas.

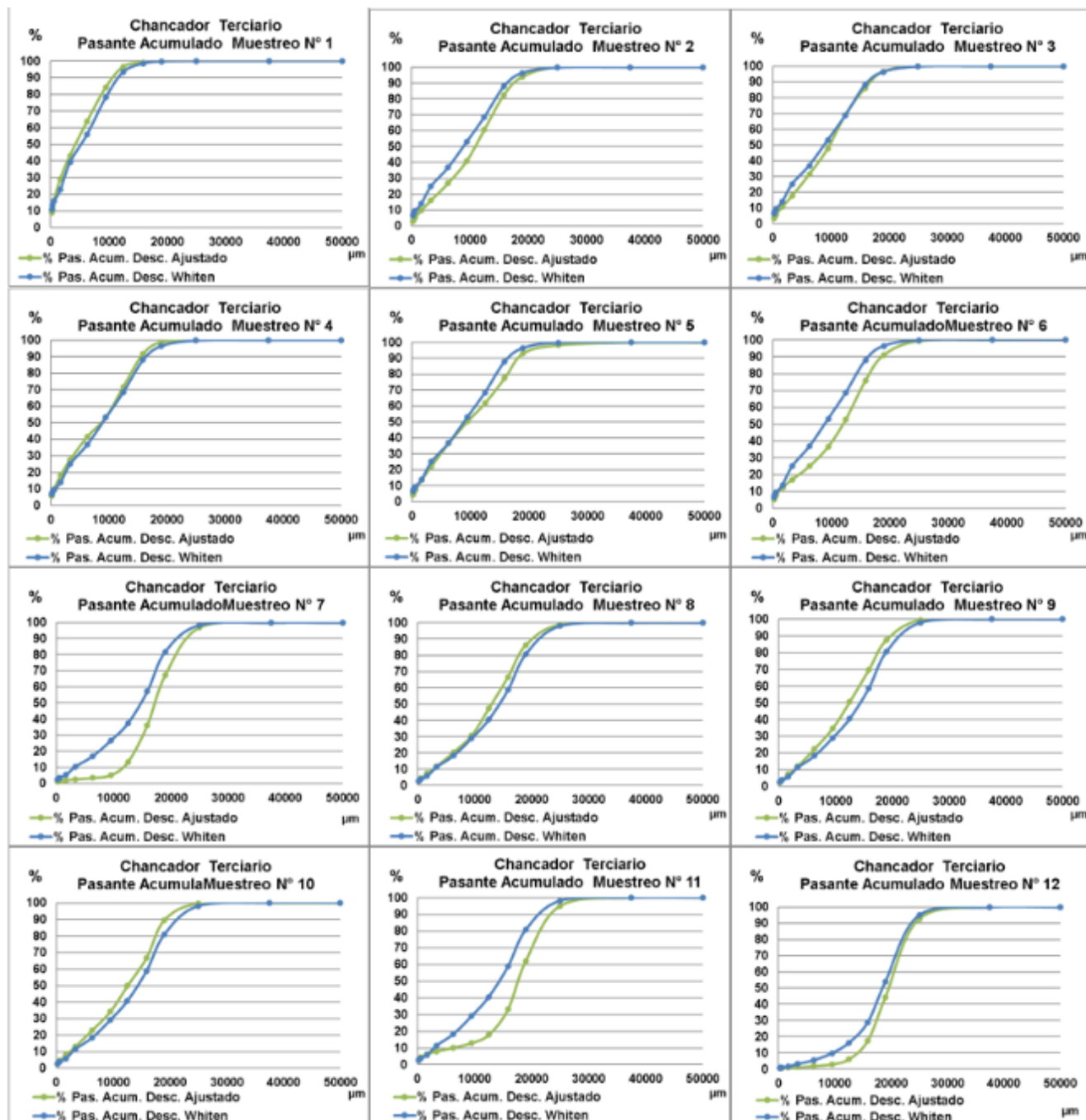


Figura 5.5 Distribuciones granulométricas, expresadas % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, descarga ajustadas y modelo Whiten para cada uno de los muestreos realizados en el chancador terciario.

5.2.3. Modelo de Whiten harnero secundario

En la Tabla 5.8 se muestran los valores obtenidos de la suma residual de cuadrados (SRC), para la estimación de las constantes de las ecuaciones que relacionan los parámetros del modelo de Whiten para el harnero secundario por medio de una relación del tipo lineal, exponencial o polinómica. En la tabla se observa que la menor SRC se obtiene cuando los parámetros del modelo y las variables de operación se relacionan por medio de una ecuación exponencial.

Tabla 5.8 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el harnero secundario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.

Ecuación	SRC
Lineal	12,40
Exponencial	8,64
Polinómico	12,11

En la ecuación 5.1 relaciona la variable “m” con las variables de operación a través de una relación del tipo exponencial.

$$m = 121,22302 - 0,13837 * e^{\widehat{F}a} - 52,54622 * e^{\%MC} \quad 5.1$$

En la Figura 5.6, se comparan las distribuciones granulométricas de las descargas del harnero (sobre tamaño y bajo tamaño) ajustadas y calculadas, utilizando las ecuaciones del tipo exponencial, que relacionan el parámetro “m” del modelo de Whiten con las variables de operación del harnero secundario para cada uno de los muestreos. En las figuras se observa que el modelo se ajusta en general bastante bien a los muestreos para los flujos de sobre tamaño y bajo tamaño. Para el caso del bajo tamaño la modelación 1 presenta leve diferencia con relación al muestreo a lo largo de toda la curva. Para el caso del sobre tamaño, la modelación 1 presenta leve diferencia con relación a los muestreos, para las mallas entre 1” y 2”, y las modelaciones 2, 3 y 5 presenta leve diferencia con relación a los muestreos, para las mallas entre 3/8” y 3/4”. La curva de alimentación solo se grafica de forma referencial.

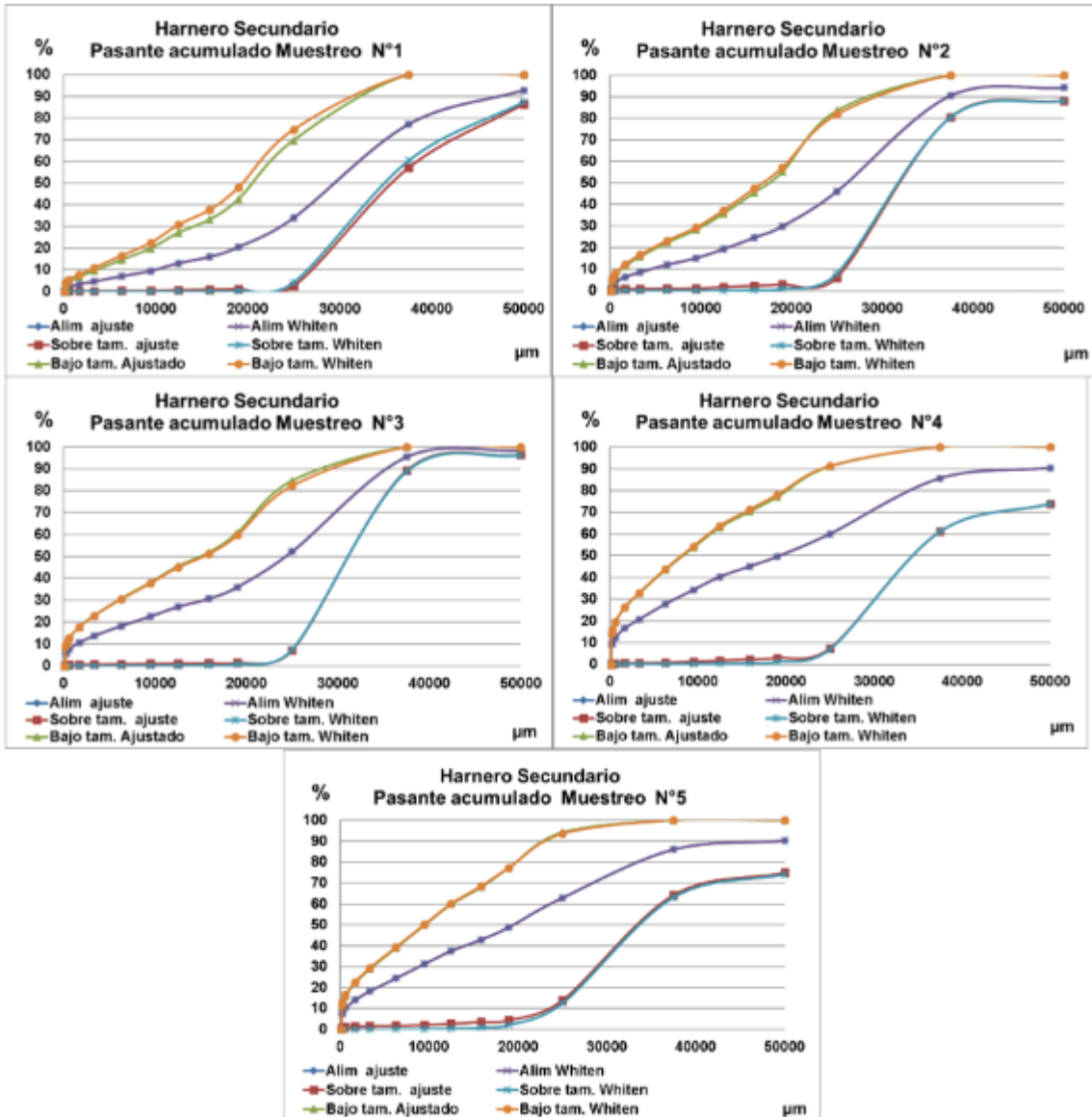


Figura 5.6 Distribuciones granulométricas, expresadas % en acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño ajustadas y modeladas por Whiten, para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundarios.

5.2.4. Modelo de Whiten harnero terciario

En la Tabla 5.9 se muestran los valores obtenidos de la suma residual de cuadrados (SRC) para la estimación de las constantes de las ecuaciones que relacionan los parámetros del modelo de Whiten para el harnero terciario por medio de una relación del tipo lineal, exponencial o polinómica. En la tabla se observa que la menor SRC se obtiene cuando los parámetros del modelo y las variables de operación se relacionan por medio de una ecuación exponencial.

Tabla 5.9 Suma residual de cuadrados (SRC) para una relación entre los parámetros del modelo de White para el harnero terciario y las variables de operación del tipo lineal, exponencial y polinómica.

Ecuación	SRC
Lineal	8,729
Exponencial	8,700
Polinómico	8,744

En la ecuación 5.2 relaciona la variable “m” con las variables de operación a través de una relación del tipo exponencial.

$$m = 27,84726 - 0,04660 * e^{\widehat{Fa}} - 11,15250 * e^{\%MC} \quad 5.2$$

En la Figura 5.7, se comparan las distribuciones granulométricas de las descargas del harnero (sobre tamaño y bajo tamaño) ajustadas y calculadas, utilizando las ecuaciones del tipo exponencial, que relacionan el parámetro “m” del modelo de Whiten con las variables de operación del harnero terciario para cada uno de los muestreos. En las figuras se observa que el modelo se ajusta en general bastante bien a los muestreos, para los sobre tamaño como el bajo tamaño. Para el caso del bajo tamaño las modelaciones 1 y 5 presenta leve diferencia con relación a los muestreos, para las mallas entre 3/4” y 1/2”. Para el caso del sobre tamaño las modelaciones 1, 2 y 4 presenta leve diferencia con relación al muestreo para las mallas entre 5/8” y 1/4”. La curva de alimentación solo se grafica de forma referencial.

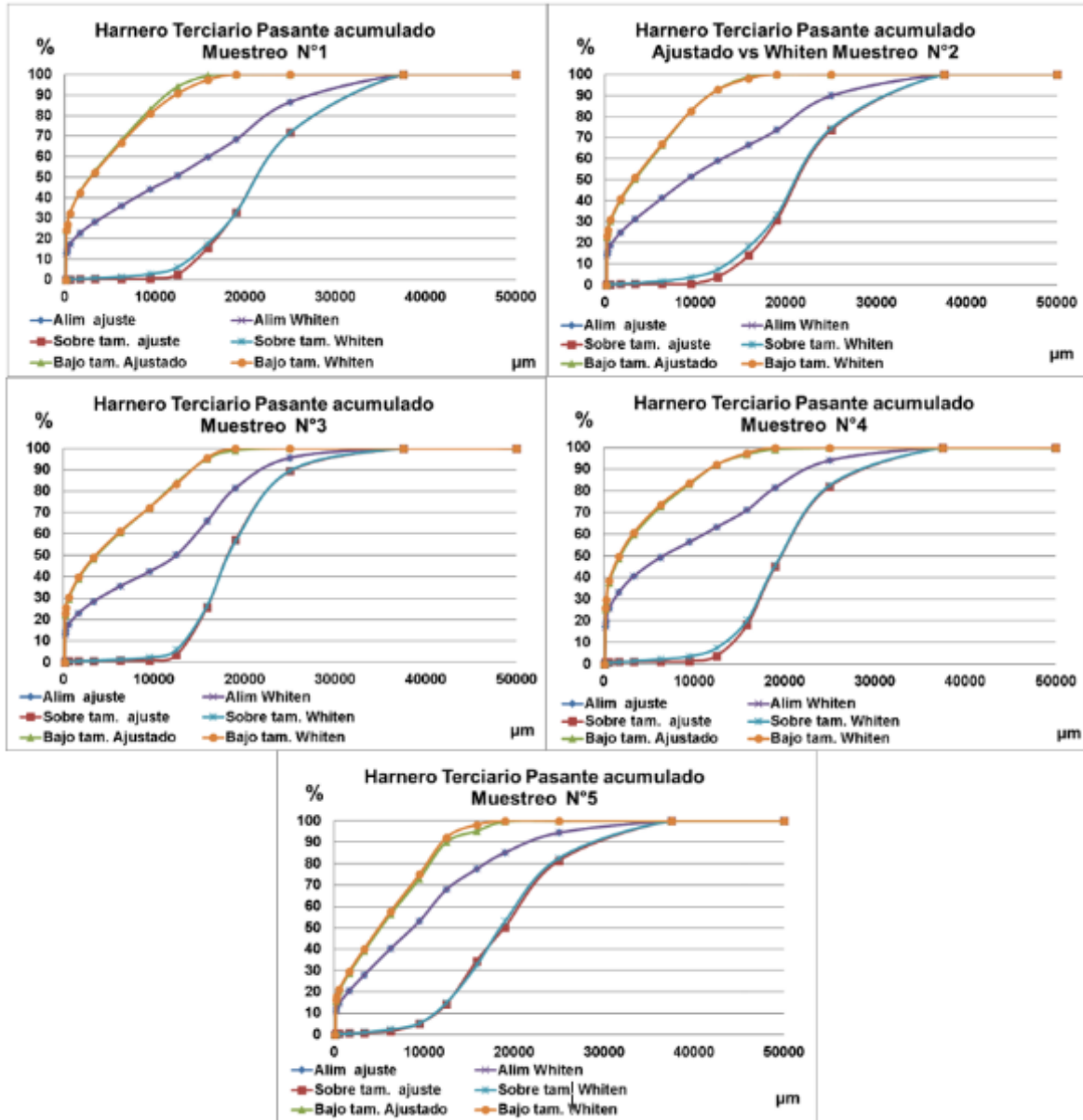


Figura 5.7 Distribuciones granulométricas, expresadas en % acumulado pasante, para los flujos de alimentación, bajo tamaño y sobre tamaño ajustadas y modeladas por Whiten, para cada uno de los muestreos realizados en los harneros terciario.

5.3. Validación y discusión de los modelos

5.3.1. Validación del modelo de Whiten para los harneros

Para validar la ecuación de tipo exponencial que relaciona el parámetro “m” del modelo de Whiten para el harnero vibratorio con las variables de operación; flujo de alimentación (FA) y % de partículas con tamaño mayor a la malla característica, se compara las curvas de eficiencia promedio, de las distribuciones granulométricas ajustadas y las calculadas con el modelo Whiten. Además, se realiza un análisis de la eficiencia bajo tamaño recuperadas y bajo tamaño removido para distintos parámetros de operación.

5.3.1.1. Curva eficiencias harnero secundario

En las Figuras 5.8 se comparan las curvas de eficiencia promedio para las granulometrías ajustadas y calculadas del harnero secundario. En general se observa en los muestreos 3, 4 y 5, que las curvas calculadas son bastante similares a las curvas ajustadas, a diferencia del muestreo 1 y 2 donde el error es mayor a lo largo de todas las curvas.

Para el intervalo de tamaño entre $6.300\ \mu\text{m}$ y $15.825\ \mu\text{m}$, la eficiencia calculada con el modelo es menor a la calculada con los datos ajustados, en especial en los muestreos 1 y 2, en los cuales los flujos de alimentación al harnero fueron menores. Probablemente la baja capacidad de predicción del modelo para este intervalo de tamaño, se debe a que no incluye como variables el espesor del lecho.

Para los intervalos de tamaños mayores a $15.825\ \mu\text{m}$, en los muestreos 3, 4 y 5, la curva eficiencia calculada con el modelo es bastante similar a la calculada con las distribuciones granulométricas ajustadas, en los cuales los flujos de alimentación al harnero fueron mayores. Para el mismo intervalo para los muestreos 1 y 2, la curva eficiencia del modelo es mayor a la curva de las distribuciones granulométricas, esto tal vez debido a la variable de espesor del lecho indicado anteriormente,

Durante la colecta de las muestras 1 y 2, se observó que se formaron lechos de baja altura, lo que ocasionó que las partículas con tamaño menor que la abertura del

harnero, rebotaran y fuesen reportados en el sobre tamaño. En el caso de la colecta de las muestras 3, 4 y 5 se observó lechos de mayor altura, lo que también disminuye la eficiencia de clasificación.

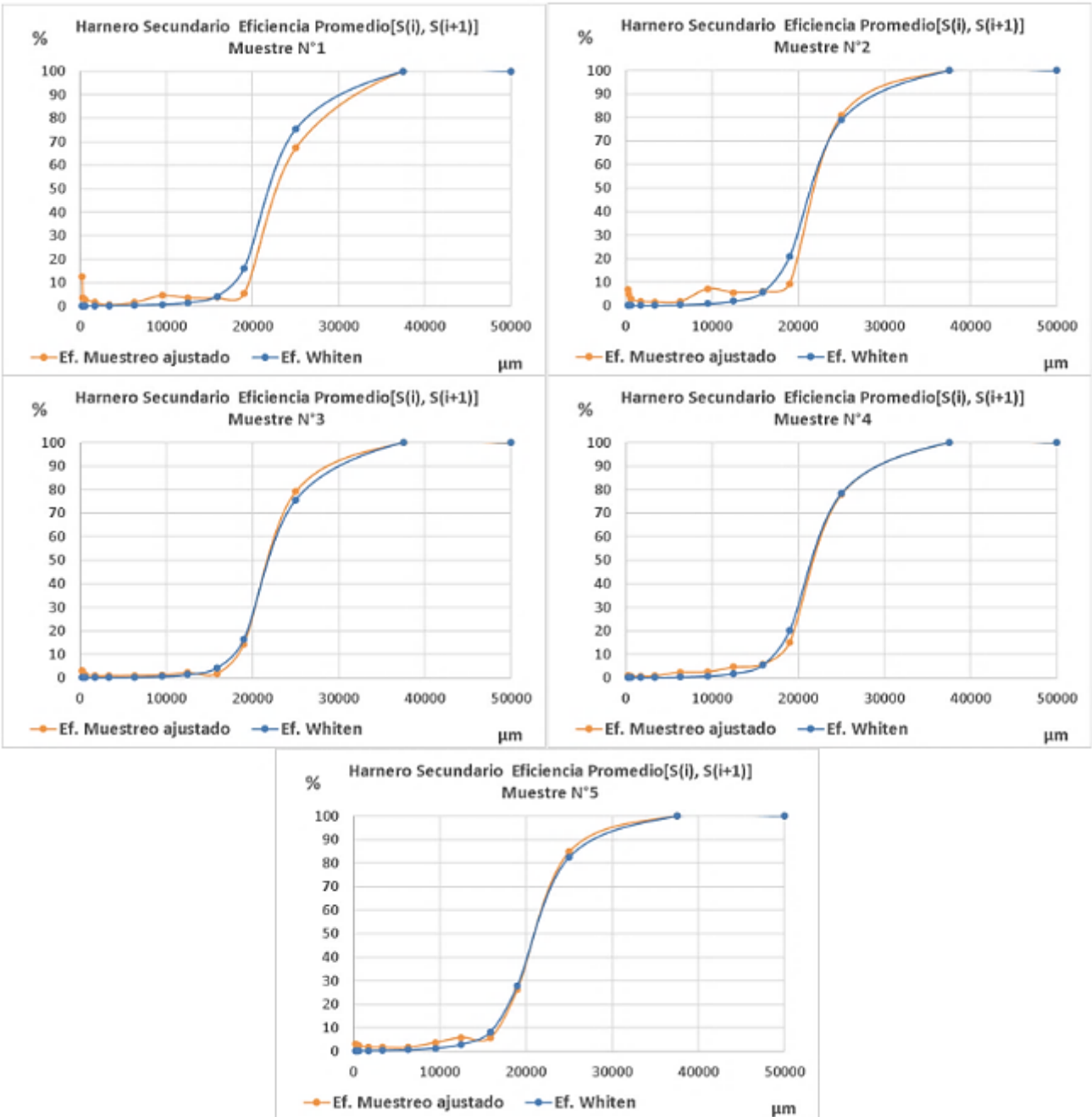


Figura 5.8 Curvas de eficiencia calculadas con las distribuciones granulométricas ajustadas y calculadas con el modelo de Whiten.

- En las Figuras 5.9 y 5.10 se comparan, respectivamente, las eficiencias bajo tamaño recuperado y las eficiencias bajo tamaño removido, para las granulometrías ajustadas y calculadas, de los 5 muestreos realizados. En general los valores son bastante parecidos, donde el mayor error % se genera en el muestreo N°1, datos que se puede apreciar en las Tablas 5.10 y N° 5.11, con un % error de 7,79% para la eficiencia bajo tamaño recuperada y un % error de 9,69% para la eficiencia bajo tamaño removida. Esto puede deberse al bajo flujo de alimentación de este muestreo en comparación al tamaño del harnero (área de 12 m²), condición que concuerda con la teoría de estratificación, donde los flujos de alimentación bajos con relación al tamaño del equipo, generan lecho de bajo espesor, sin permitir que parte de las partículas de menor tamaño sean clasificadas y reboten hasta abandonar el equipo, condición que no es considerado como varia en el modelo.

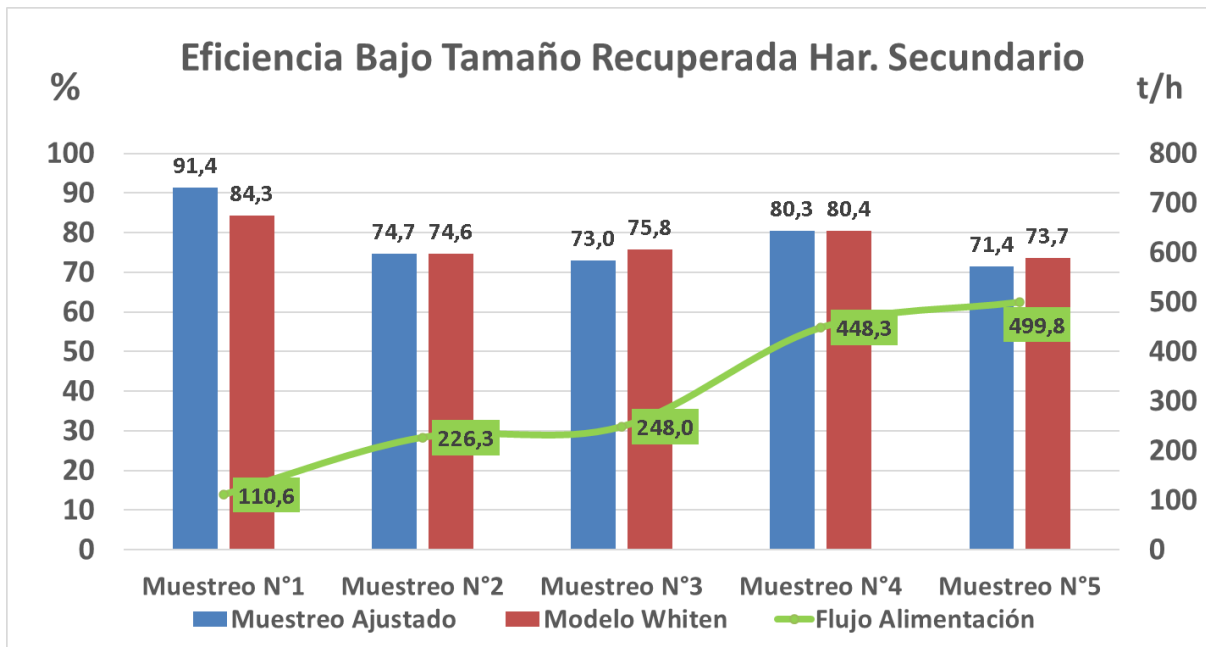


Figura 5.9 Eficiencias bajo tamaño recuperada harnero secundario.

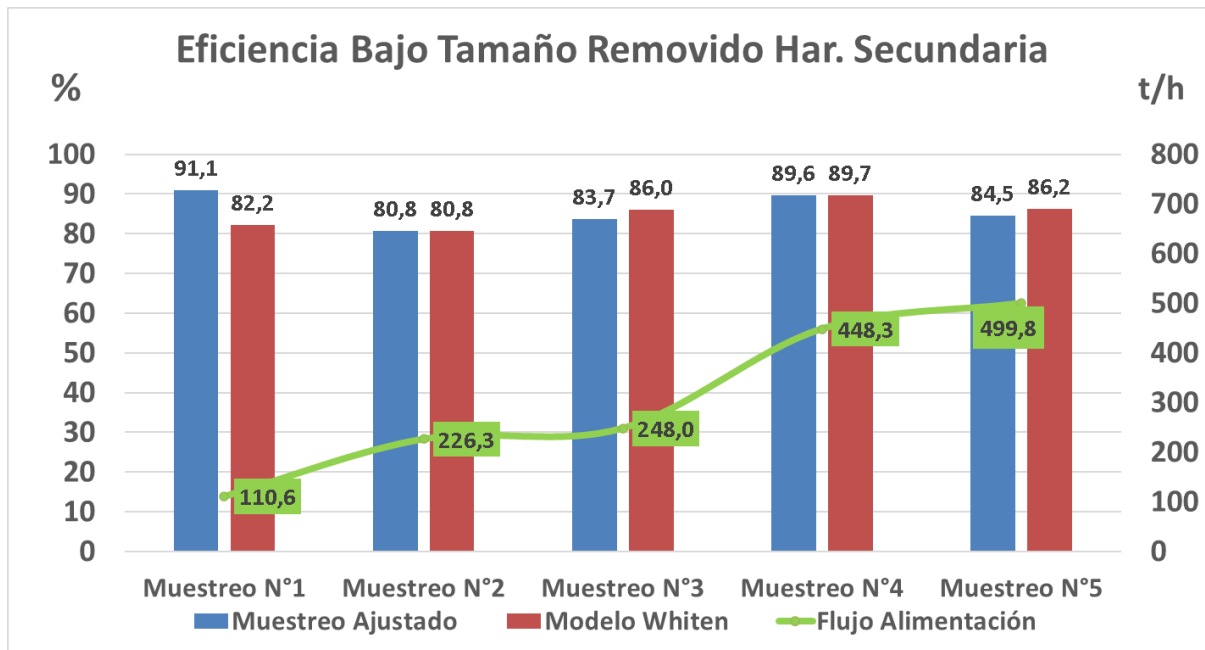


Figura 5.10 Eficiencias bajo tamaño removida harnero secundario.

Tabla 5.10 Error % eficiencias bajo tamaño recuperada entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundario.

Eficiencia bajo tamaño recuperada harnero secundario					
	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Muestreo N°5
% Error	7,79	0,04	3,88	0,04	3,16

Tabla 5.11 Error % eficiencias bajo tamaño removida entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros secundario.

Eficiencia bajo tamaño removido harnero secundario					
	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Muestreo N°5
% Error	9,69	0,03	2,68	0,03	1,96

Por otro lado, se analiza la Tabla 5.12, donde se observan el parámetro "*m*" (que representa el número rebotes que debiera dar una partícula de tamaño menor a la apertura de la malla sin ser clasificada) que disminuye a medida que el flujo de

alimentación aumenta, lo que concuerda con la teoría estratificación, donde flujos menores general mayor cantidad de rebotes de las partículas y menor probabilidad de clasificación.

Tabla 5.12 Número de rebotes "m" que debiera dar una partícula de tamaño menor a la apertura de la malla sin ser calificada, para cada uno de los muestreos realizados en el harnero secundario.

	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Muestreo N°5
m	35	30	35	31	25

De lo anterior se concluye que el modelo responde adecuadamente a las condiciones de operación del sistema, modelando las eficiencias bajo tamaño recuperado y removido, ajustándose a la variación del flujo de alimentación.

5.3.1.2. Curva eficiencias Harneros terciario

En las Figuras 5.11 se comparan las curvas de eficiencia promedio para las granulometrías ajustadas y calculadas del harnero terciario. En general se observa que las curvas calculadas son bastante similares a las curvas ajustadas.

Para el intervalo de tamaño entre 180 μm y 9.500 μm , la eficiencia calculada con el modelo es menor a la calculada con los datos ajustados, con excepción del muestreo N°5 que es casi igual. Probablemente la baja capacidad de predicción del modelo para este intervalo de tamaño, se debe a que no incluye como variables el espesor del lecho.

Para los muestreos N°2, 3 y 4, en el intervalo de tamaño entre 9.500 μm y 50000 μm , la eficiencia calculada con el modelo es similar a la calculada con los datos ajustados, con excepción de la malla 19.000 μm donde se producen las mayores diferencias, esto puede deberse al tamaño de la malla del harnero que es de 17.000 μm y los tamices no consideramos este tamaño.

Para el caso de la malla 15.825 μm de la muestra N° 5, existe un evidente error que es corregido por el modelo de Whiten, quien modela una curva ajustada más suave.

Para el muestreo N° 1, para todos los tamaños, la eficiencia calculada con el modelo no logra ajustarse adecuadamente a la calculada con los datos ajustados.

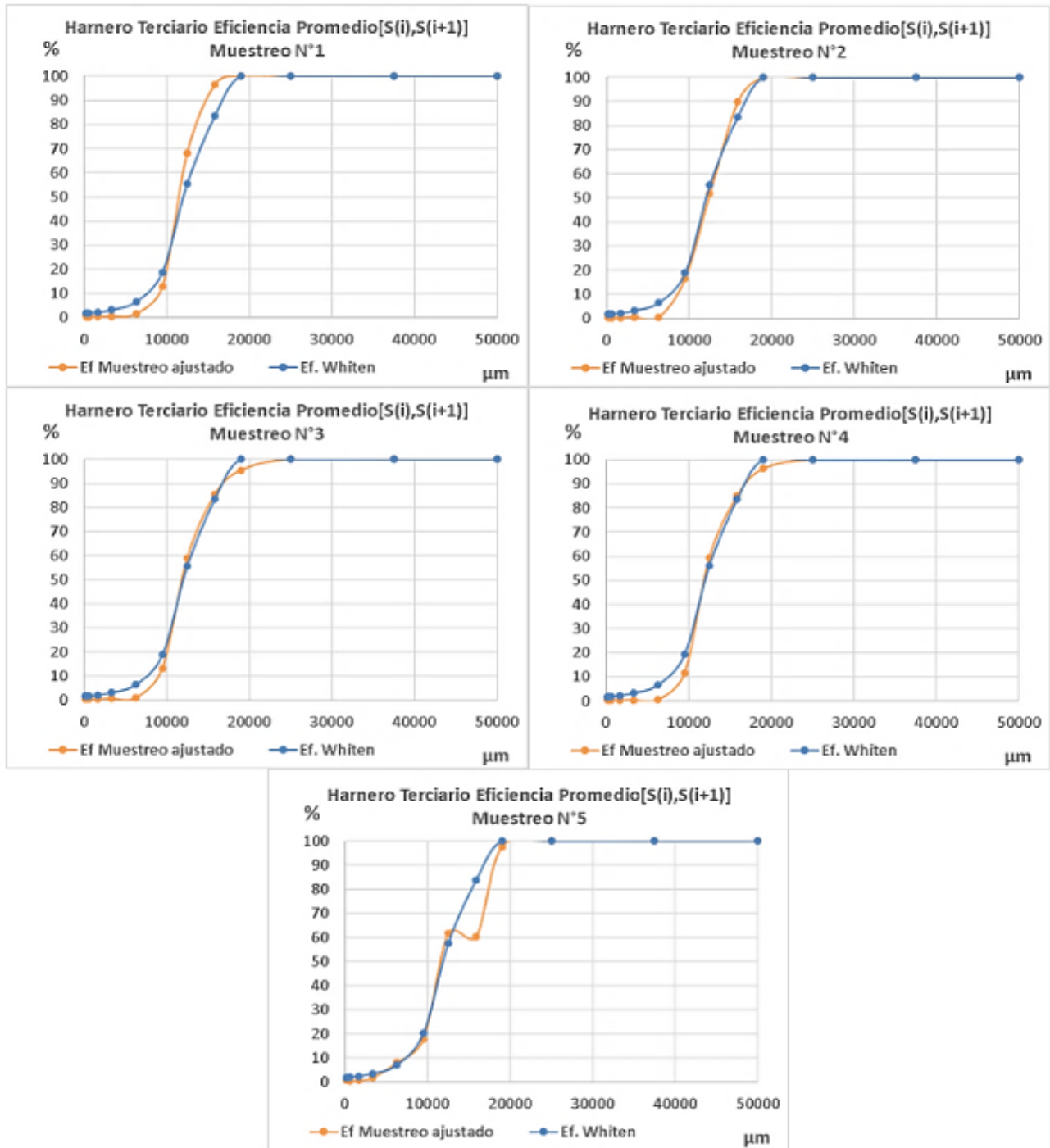


Figura 5.11 Eficiencia promedio por intervalo de las muestras ajustadas vs modelo de Whiten harnero terciario.

En las Figuras 5.12 y 5.13 se comparan respectivamente, las eficiencias bajo tamaño recuperado y las eficiencias bajo tamaño removido, para las granulometrías ajustadas y calculadas, de los 5 muestreos realizados. En general los valores son bastante parecidos, donde el mayor error % se genera en el muestreo N°5, datos que se puede apreciar en las tabla N° 5.13 y N° 5.14, con un % error de 6,82% para la eficiencia bajo tamaño recuperada y un % error de 3,03% para la eficiencia bajo tamaño removida. Esto puede deberse al alto flujo de alimentación de estos muestreos en comparación al tamaño del harnero (área de 9 m²), condición que concuerda con la teoría de estratificación, donde los flujos de alimentación mayores a la capacidad del equipo, generan lechos con demasiado espesor que no permiten generar la estratificación, sin permitir que parte de las partículas de mayor y menor tamaño sean clasificadas abandonando el equipo por sobre el lecho, condición que no es considerado como variable en el modelo. Además, se puede observar, con excepción del muestreo N°2, que a mayor flujo los errores de ajuste van aumentando.

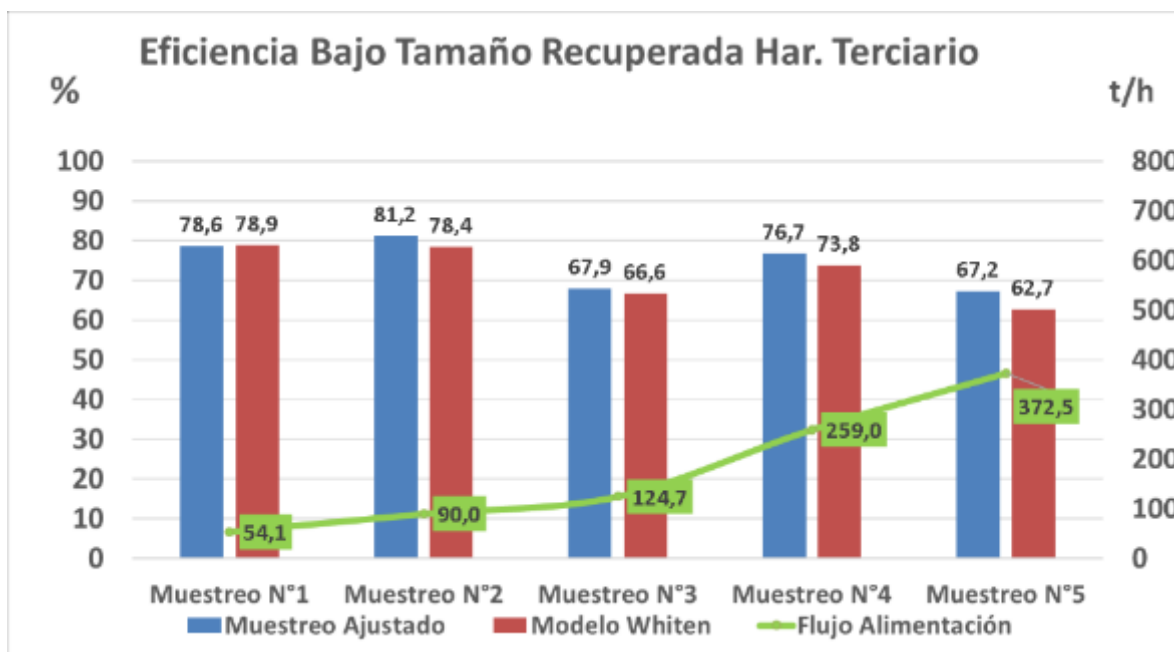


Figura 5.12 Eficiencias bajo tamaño recuperada harnero terciario.

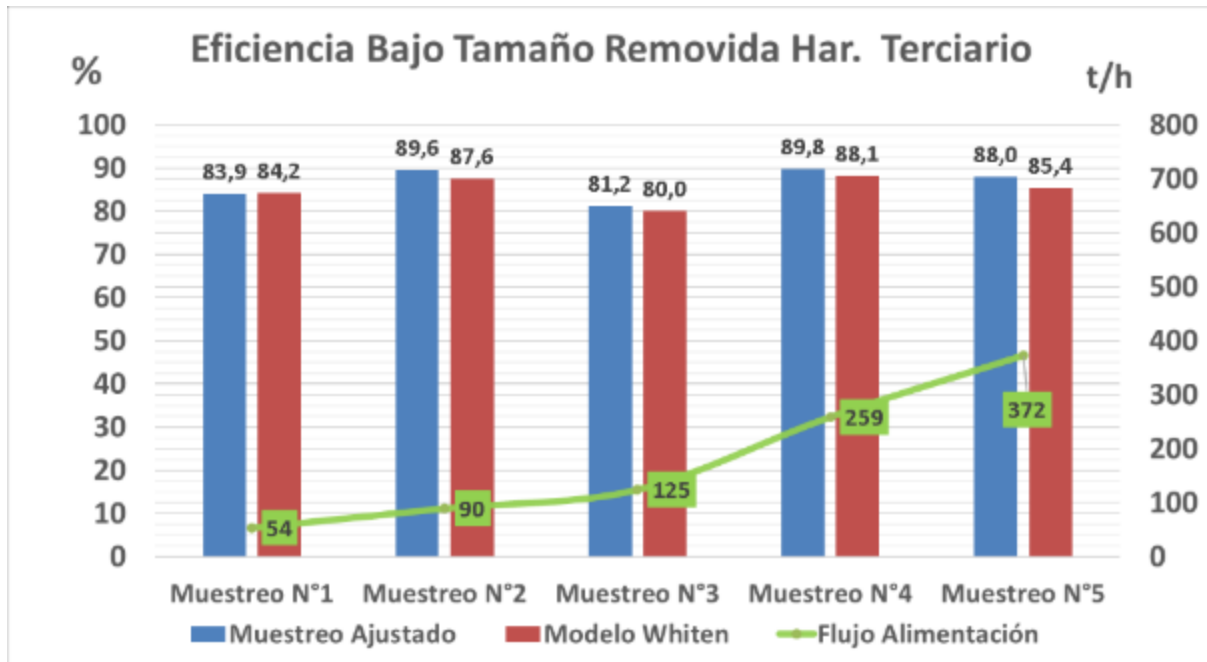


Figura 5.13 Eficiencias bajo tamaño removidas harnero terciario.

Tabla 5.13 Error % eficiencias bajo tamaño recuperada entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros terciario.

Eficiencia bajo tamaño recuperada harnero terciario					
	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Muestreo N°5
% Error	0,34	3,43	1,88	3,79	6,82

Tabla 5.14 Error % eficiencias bajo tamaño recuperada entre las granulometrías ajustadas y calculadas para cada uno de los muestreos realizados en los harneros terciario

Eficiencia bajo tamaño removido harnero terciario					
	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Muestreo N°5
% Error	0,30	2,19	1,39	1,91	3,03

Por otro lado, se analiza la Tabla N° 5.15, donde se observan el parámetro " m " (que representa el número de rebotes que debiera dar una partícula de tamaño menor a la apertura de la malla sin ser clasificada), donde el modelo no logra ajustarse a la teoría de estratificación que indica que para flujos menores debieran generarse mayor cantidad rebotes de las partículas, obteniéndose " m " similares para todos los tipos de flujo de alimentación.

Tabla 5.15 Numero de rebotes " m " que debiera dar una partícula de tamaño menor a la apertura de la malla sin ser clasificada, para cada uno de los muestreos realizados en el harnero terciario.

	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Muestreo N°5
m	12	13	13	13	12

De lo anterior se concluye que con excepción de lo indicado de la Tabla 5.15, el modelo responde adecuadamente a las condiciones de operación del sistema, modelando las eficiencias bajo tamaño recuperado y removido, ajustándose a la variación del flujo de alimentación.

5.3.2. Validación del modelo de Whiten para los Chancadores

Para validar las ecuaciones que relacionan los parámetros de la matriz fractura y clasificación, del modelo de Whiten para el chancador de cono, con las variables de operación; flujo de alimentación (FA), abertura del lado cerrado del chancador (CSS) y tamaño 80% pasante en la alimentación (F80), se analiza el comportamiento de las curvas fractura y clasificación. Además, se analiza la respuesta del modelo sobre de flujo alimentación, razón de reducción y F80.

5.3.2.1. Tipo de cámara del chancador y su comportamiento

Antes de realizar el análisis propuesto se analiza las diferencias en diseño de las cámaras de los chancadores secundario y terciario, Figura 5.14, para posteriormente

poder interpretar el comportamiento de las ecuaciones fractura y clasificación, para cada tipo de equipo:

El chancador secundario, tiene una cámara tipo EC, en forma de embudo, la cual es amplia en la alimentación, generando partículas de mayor tamaño por tensión inducida. Solo al final de la cámara, donde es más estrecha, se produce compresión que aporta finos. Esto concuerda con las granulometrías obtenidas en los muestreos ajustados, donde como promedio sobre un 70% de la granulometría se encuentra entre la malla 12.500 μm y 25.000 μm , mientras que solo un 3% está bajo la malla 220 μm (para CSS de 22 mm y 25 mm).

El chancador terciario tiene una cámara tipo F, donde la separación entre el manto y en cóncavo es relativamente constante a lo largo de la cámara, produciéndose compresión en toda la superficie. Esto concuerda con las granulometrías obtenidas en los muestreos ajustados, donde un promedio de 78,4% de la granulometría se encuentra entre la malla 600 μm y 12.500 μm , mientras un 8,5% está bajo la malla 212 μm (para CSS de 8 mm y 12 mm).

Analizando este comportamiento discutiremos si los modelos se ajustan al comportamiento del sistema.

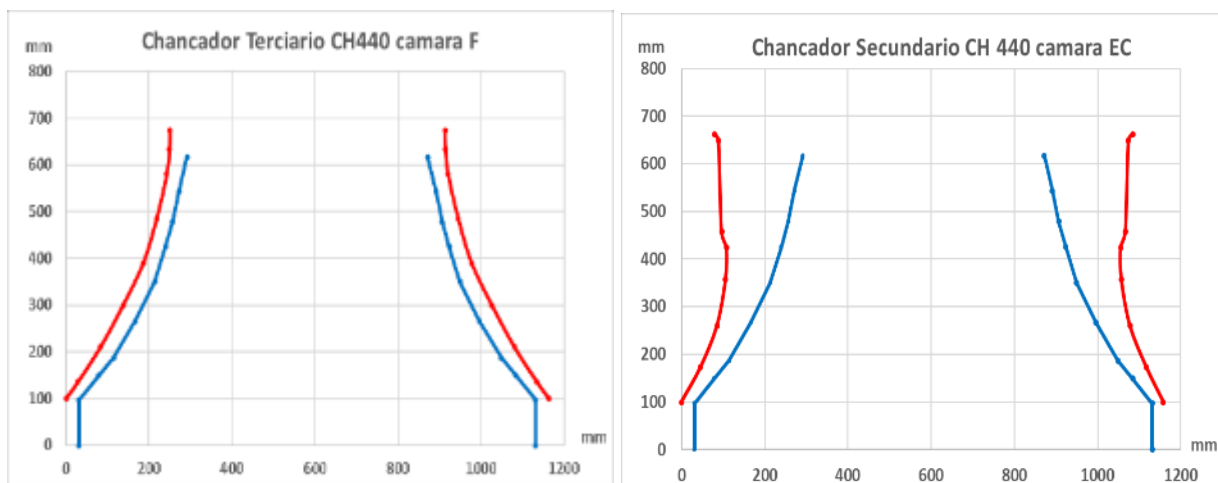


Figura 5.14. Forma de las cámaras EC y F del chancador CH440 Sandvik.

5.3.2.2. Análisis curvas chancadores secundarios

5.3.2.2.1. Análisis curva fractura chancador secundario

Para el caso de la curva fractura del chancador secundario, se analiza si responde teóricamente al comportamiento de una cámara tipo EC, ver Figura 5.15. Esto se realiza particularmente para un CSS de 22mm. Las otras curvas se pueden ver en el Anexo C:

- Las curvas paralelas a “m” evidencia gráficamente que se generan, como promedio, un 90% de partículas mayores 60 % del tamaño de la partícula madre, esto en el sector más ancho de la cámara EC. La formación de estas partículas crece en forma exponencial, representada por las curvas paralelas a la curva “n”.
- Esto contrasta con el hecho que se produce menos de un 2% de partículas menor al 10% del tamaño de las partículas madres. Estas partículas se forman en el sector más estrecho de la cámara.
- Lo anterior evidenció que el modelo se ajusta teóricamente al comportamiento de una cámara tipo EC, donde en casi toda la cámara se generan partículas de gran tamaño, y solo en el sector del CSS, se producen partículas finas.

Por otro lado, se analiza, para distintos CSS, el comportamiento de la curva fractura para la partícula madre de 50 mm, figura 5.16:

- La importancia de analizar esta partícula, es por ser la de mayor tamaño en el del circuito secundario, debiendo ser reducida más veces dentro de la cámara.
- Se puede observar que la producción de partículas mayores al 60% del tamaño de la partícula madre, es afectada granulométricamente por la variación del CSS, está representado por las distintas pendientes que aparece en el gráfico 5.16.
- Lo anterior contrasta con la nula influencia de la variación del CSS en la granulometría de las partículas menores al 60% del tamaño de la partícula madre.
- El comportamiento anterior es válido para una cámara tipo EC, donde la disminución del CSS afecta más el volumen de la cámara en el sector más ancho, donde se producen las partículas de mayor tamaño.

Lo anterior evidencia que el modelo se ajusta a la variación del CSS y al tipo de cámara, siendo validado para estas condiciones.

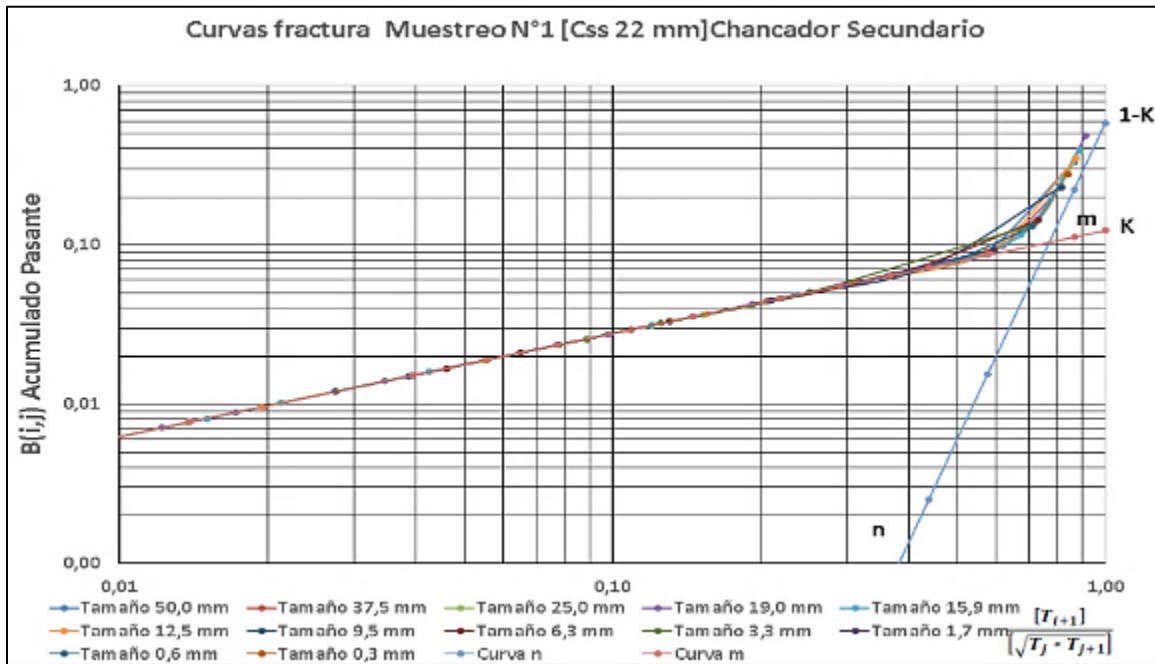


Figura 5.15 Curva Fractura cámara EC, CSS de 22 mm, chancador secundario.

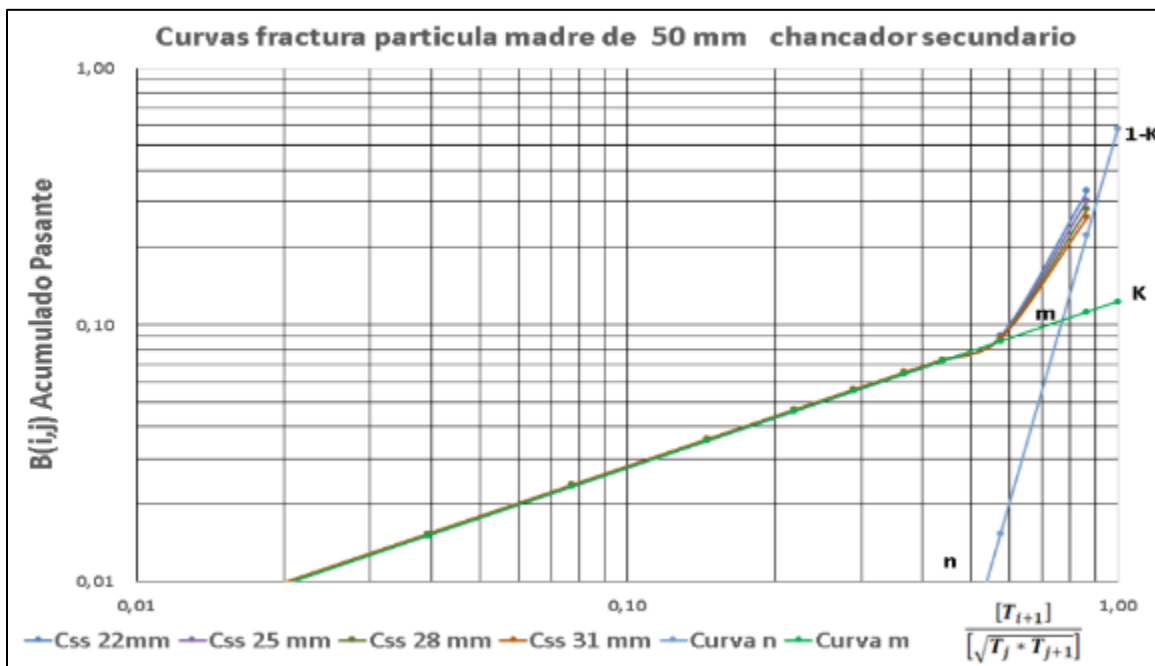


Figura 5.16 Curva Fractura partícula madre de 50 mm, cámara EC para distintos CSS, chancador secundario.

5.3.2.2. Análisis curva clasificación chancador secundario

Para el caso de la curva clasificación del chancador secundario se analiza su comportamiento para ver si responde teóricamente al comportamiento de una cámara tipo EC. Esto se realiza analizando la Figura 5.17:

- En el grafico se observa que, para todo CSS, hay 0% de probabilidad de clasificar partículas menores a 12mm., siendo el aporte de finos de estas partículas casi nulo. Además, la probabilidad de clasificar partículas de tamaño entre los 12 mm y 19 mm, se hace 0% a medida que aumentamos el tamaño del CSS de 22 a 31 mm.
- Por otro lado, la probabilidad de clasificación de partículas que están por sobre la apertura de la malla del harnero de 25mm, es de 80% a 90 %, para CSS entre los 25 mm y 22 mm.

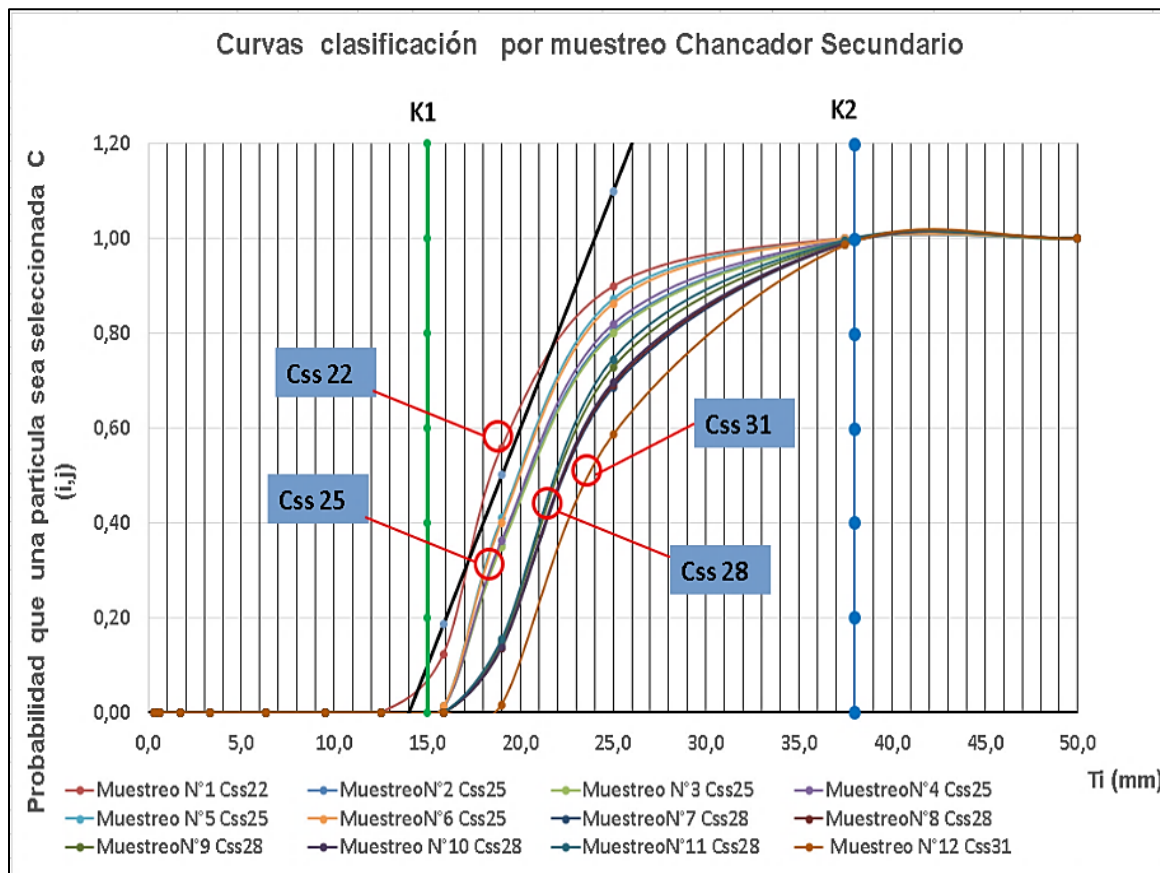


Figura 5.17 Curva clasificación para distintos CSS chancador secundario.

Los resultados anteriores son consistentes para una Cámara tipo EC donde el modelo debiera tener una alta probabilidad de clasificar partículas gruesas y baja probabilidad de clasificar partículas finas, debido a que la zona donde puede clasificar una partícula fina es muy reducida, limitándose al sector del CSS. Además, sin considerar el efecto de la abrasión e impacto entre partículas, debiera solo clasificarse partículas mayores al CSS \pm Exp.

El análisis anterior permite concluir que la curva clasificación del modelo responde al comportamiento de una cámara tipo EC.

5.3.2.2.3. Análisis gráficos razón de reducción chancador secundario

En este análisis se observa el comportamiento de la razón de reducción del chancador para distintos CSS, al modificar el flujo de alimentación FA y el tamaño 80% pasante en la alimentación (F80). Análisis representado en las Figuras 5.18 y 5.19.

- En general las razones de reducción del modelo son parecidas a las razones de reducción de las muestras ajustadas.
- Tanto para el modelo como para las granulometrías ajustadas, a menor CSS la razón de reducción aumenta. Pero también se puede observar que, a mayor flujo, para un mismo CSS, la razón de reducción disminuye. Esto se debe que al estar llena la cámara del chancador, el tiempo de residencia de las partículas aumenta, siendo clasificadas y reducidas un mayor número de veces antes de abandonar el equipo. Esto se genera en la parte superior de la cámara, donde la forma de embudo retiene las partículas.
- El mismo comportamiento se observa al analizar el F80 de la alimentación, debido a que, al ingresar granulometrías de mayor tamaño, las partículas tienen mayor probabilidad de ser clasificadas, disminuyendo su tamaño, aumentando la razón de reducción.

Lo anterior indica que el modelo es consistente al tipo de cámara EC.

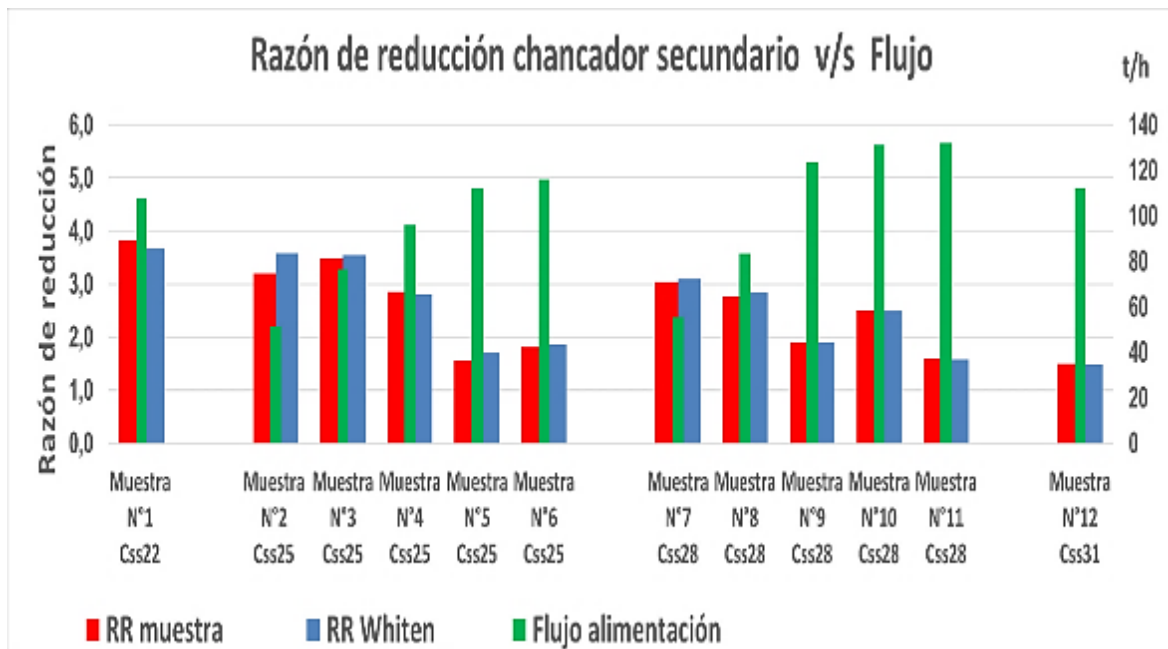


Figura 5.18 Razón de reducción Vs Flujo alimentación chancador secundario.

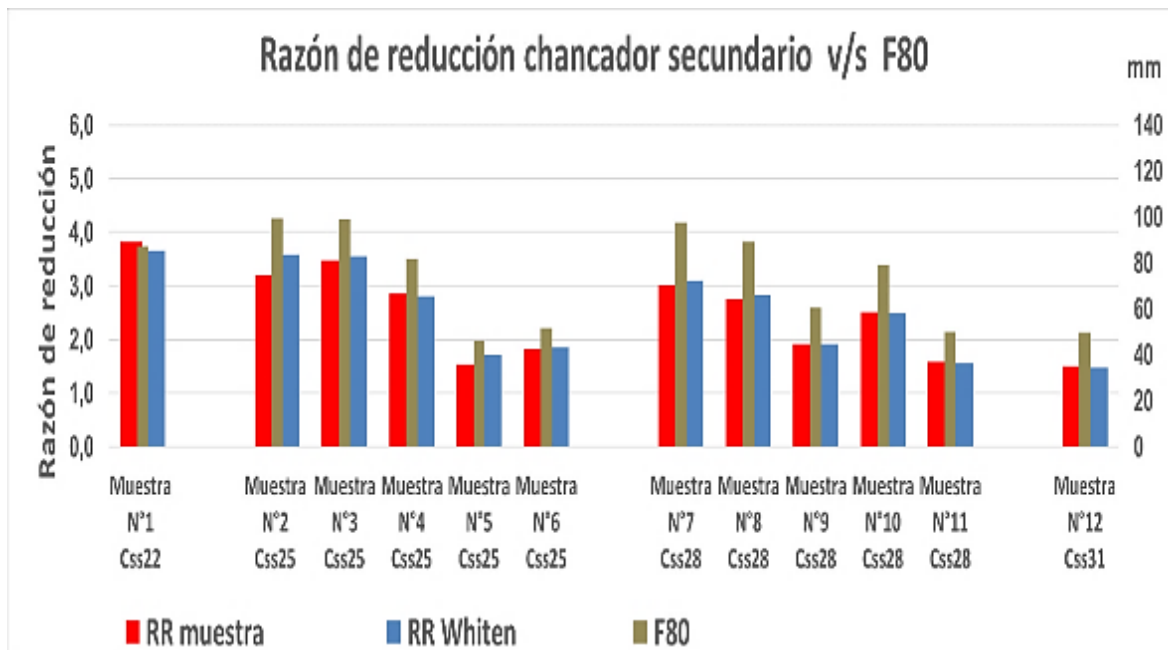


Figura 5.19 Razón de reducción CSS vs F80 alimentación chancador secundario.

5.3.2.3. Análisis curvas chancador terciario

5.3.2.3.1. Análisis curva fractura chancador terciario

Para el caso de la curva fractura del chancador terciario, se analiza su comportamiento para ver si responde teóricamente al comportamiento de una cámara tipo F, ver Figura 5.20. Esto se realiza particularmente para un CSS de 12 mm. Las otras curvas se pueden ver en el Anexo C:

- En el gráfico se observa la formación de un 75 % de partículas menores al 50 % del tamaño de la partícula madre. Donde el comportamiento es similar para toda la partícula madre.
- Además, se observa la formación de un 23% de partículas menores al 10 % de tamaño de la partícula madre. Este dato es importante para un proceso que finalmente debe generar glómeros para la lixiviación en pilas.
- Esto evidencia que el modelo se ajusta teóricamente al comportamiento de una cámara tipo F, donde la generación de partículas finas sucede a lo largo de toda la cámara.

Por otro lado, se analiza, para distintos CSS, el comportamiento de la curva fractura para la partícula madre de 25 mm, Figura 5.21

- La importancia de analizar esta partícula, es por ser la de mayor tamaño en el del circuito terciario, debiendo ser reducida más veces dentro de la cámara.
- Para todo CSS, a lo largo de toda la gráfica, las curvas fracturas son distintas. Esto evidencia la influencia que tiene la variación del CSS, en la granulometría de las partículas producidas. Esto debido a la forma que tiene la cámara tipo F, que genera compresión en toda su superficie.
- Además, para todo los CSS, se genera entre un 50% a un 70% de partículas menores al 50% del tamaño de su partícula madre y entre un 10% a un 30% menores a 10% de esta.

Todo lo anterior nos indica que el modelo responde a una cámara tipo F.

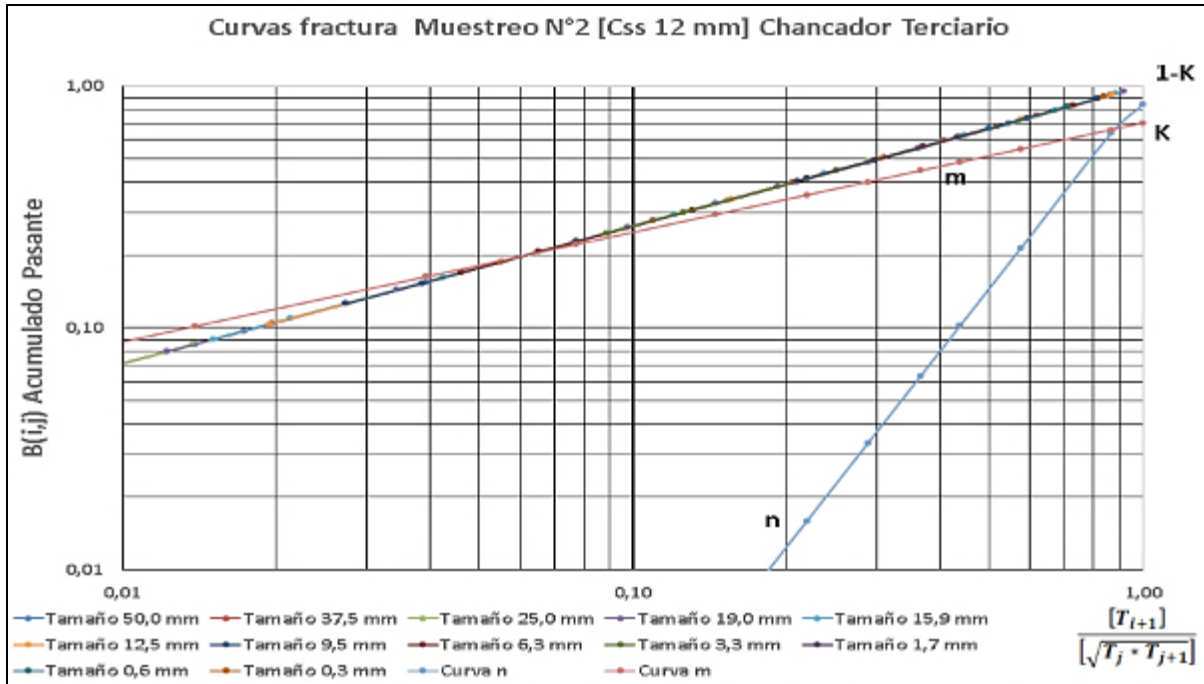


Figura 5.20 Curva Fractura para una cámara F, CSS de 12 mm, chancador terciario.

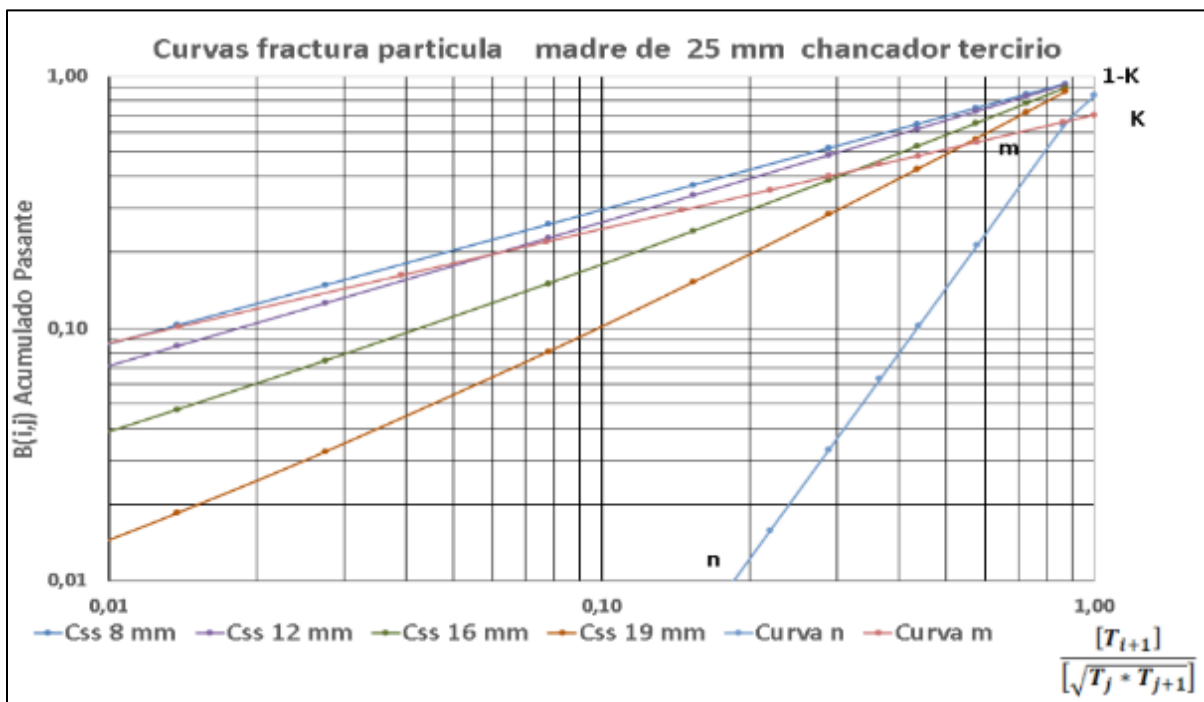


Figura 5.21 Curva Fractura, partícula madre de 25 mm, para una cámara F para distintos CSS, chancador terciario.

5.3.2.3.2. Análisis curva clasificación chancador terciario

Para el caso de la curva clasificación del chancador terciario se analiza su comportamiento para ver si responde teóricamente al comportamiento de una cámara tipo F. Esto se realiza analizando la Figura 5.22:

- En el grafico se observa que, para todo CSS, hay 0% de probabilidad de clasificar partículas menores a los 6 mm. Además, la probabilidad de clasificar partículas de tamaño entre los 6 mm y 16 mm, se hace 0% a medida que aumentamos el tamaño del CSS de 8 a 19 mm.
- Por otro lado, la probabilidad de clasificación de partículas que están por sobre la apertura de la malla del harnero, 17 mm, es de 85% a 95 %, para CSS entre los 12 mm y 8 mm.

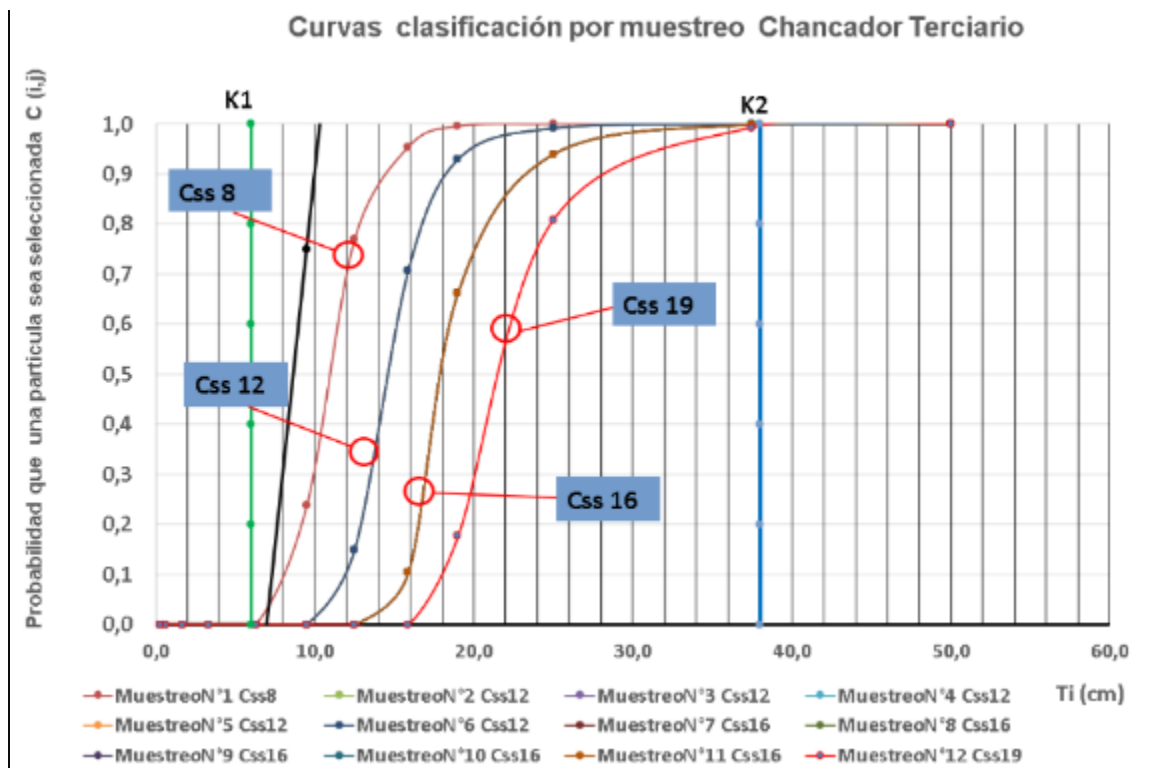


Figura 5.22 Curva clasificación para distintos CSS chancador terciario.

Los resultados anteriores, son consistentes para una cámara tipo F donde el modelo debiera tener una mayor probabilidad de clasificar partículas finas que la cámara

tipo EC, clasificando las partículas a lo largo de toda la cámara y no solo en el sector del CSS.

El análisis anterior permite concluir que la curva clasificación del modelo responde al comportamiento de una cámara tipo F.

5.3.2.3.3. Análisis gráficos razón de reducción chancador terciario

En este análisis se observa el comportamiento de la razón de reducción del chancador para distintos CSS, al modificar el flujo de alimentación (FA) y el tamaño 80% pasante en la alimentación (F80), análisis representado en las Figuras 5.23 y 5.24:

- En general las razones de reducción del modelo son parecidas a las razones de reducción de las muestras ajustadas.
- Para un CSS fijo en el chancador cámara tipo F, la variación del flujo de alimentación y el F80, no influye considerablemente en el comportamiento de la razón de reducción, como si ocurre en la cámara tipo EC. Lo anterior se debe a la forma de la cámara F, que reduce los tamaños de las partículas madres a lo largo de toda la cámara. Lo anterior indica que el modelo es consistente al tipo de cámara F.

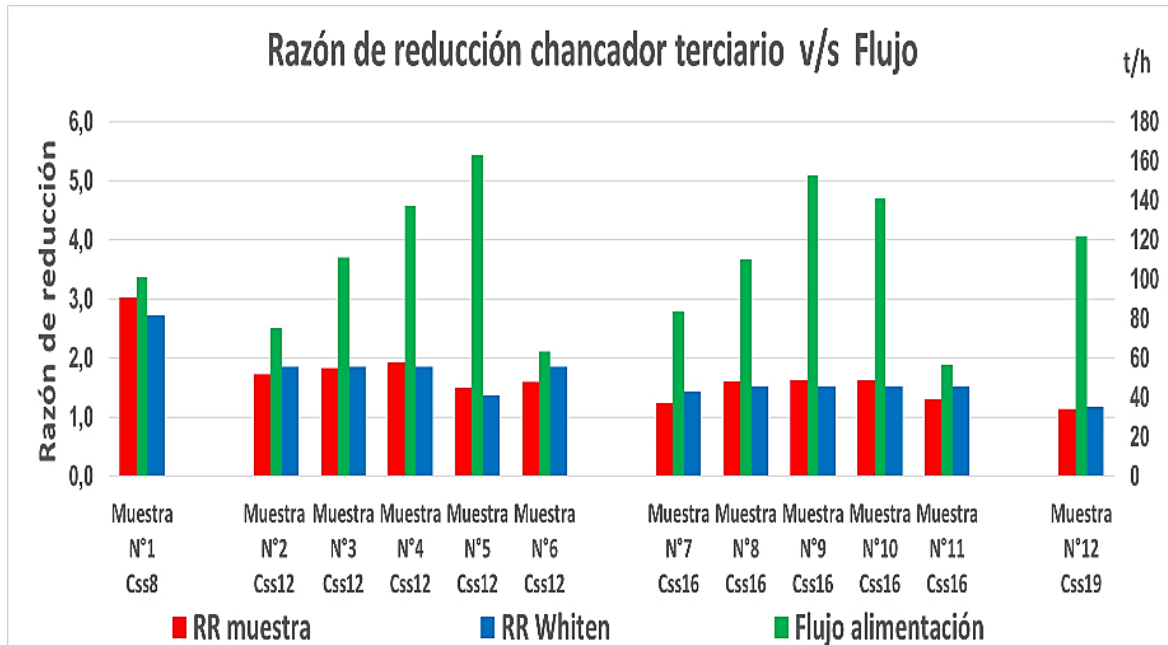


Figura 5.23 Razón de reducción vs Flujo alimentación chancador terciario.

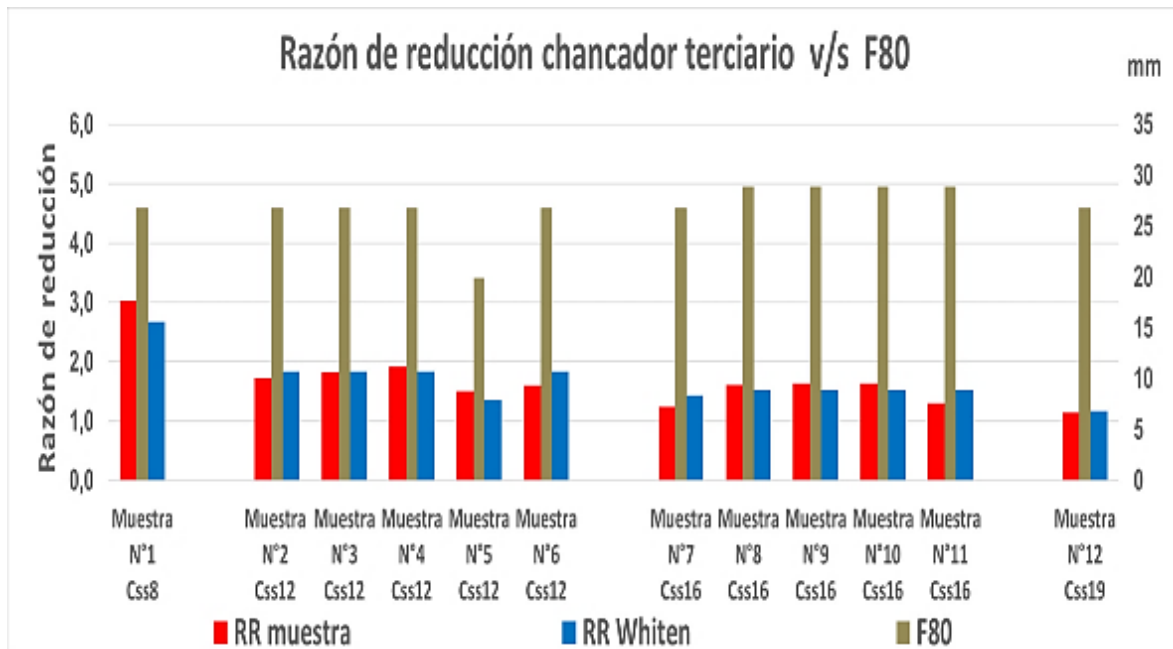


Figura 5.24 Razón de reducción vs F80 chancador terciario.

5.4. Simulación del efecto de variables

5.4.1. Uso y estructura del simulador

Par validar si el simulador permite obtener información de forma clara y con herramientas fáciles de utilizar se explica brevemente las herramientas y módulos que posee.

5.4.1.1. Ventana principal

Una vez ingresado al programa, se despliega una pantalla principal o ventana que contiene 4 botones de operación, como se muestra en la Figura 5.25:

- Un botón “cerrar”, para abandonar el programa una vez que se realiza las tareas de simulación.
- Un botón “simulación”, que permite desplegar el UserForm (ventana o cuadros de dialogo) de simulación “. Esta ventana es la principal herramienta de operación del programa.

- Un botón “parámetros Whiten” donde se despliega la ventana vista en el capítulo IV Figuras 4.5, que nos permite seleccionar e ingresar los parámetros Whiten, de los chancadoras y harneros, en forma lineal, exponencial o polinómica. Este botón permite realizar modificaciones de los parámetros de Whiten antes de ingresar a la ventana de simulación.
- Un botón “parámetros operacionales” donde se despliega la ventana vista en el capítulo IV Figuras 4.6, que nos permite seleccionar la granulometría de alimentación y los parámetros de operación de los chancadores y harneros. Este botón permite realizar modificaciones de los parámetros de los equipos antes de ingresar a la ventana de simulación.



Figura 5.25 Ventana principal programa simulador circuito chancado planta óxido minera las cenizas Taltal.

5.4.1.2. Ventana simulación

Una vez oprimido el botón simular de la figura 5.25, se ingresa a la ventana que aparece en la figura 5.26, donde se observan 6 botones, con los cuales se pueden ejecutar distintas operaciones necesarias para realizar las simulaciones, como son:

a) **Ingresar o modificar parámetros de operación o parámetros Whiten:**

Utilizando los botones “parámetros operacionales” y “parámetros Whiten” (botones descritos en el punto 4.52), uno puede ir modificando los parámetros que desee dentro de la ventana simulación sin tener que regresar a la ventana principal de acceso.

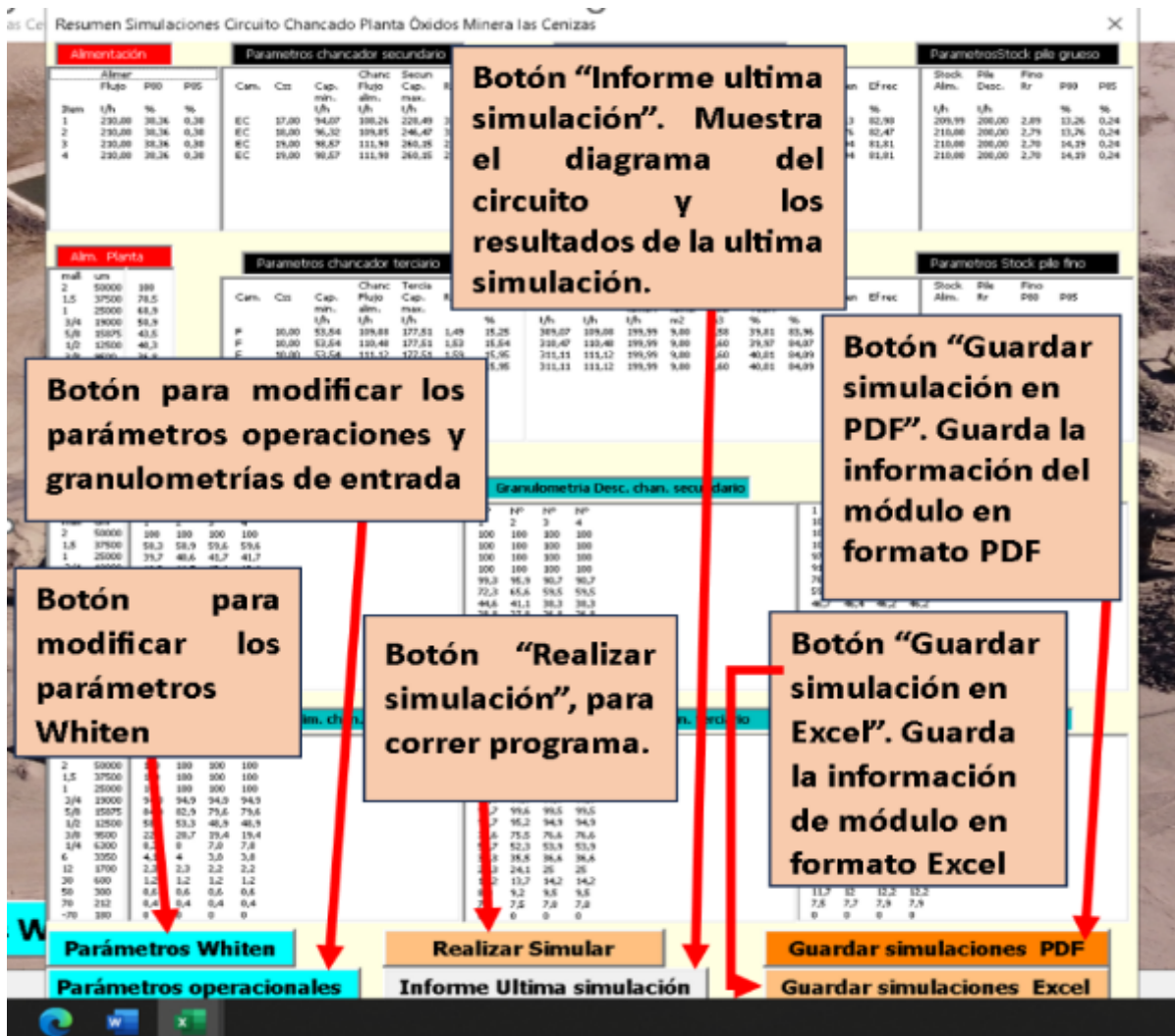


Figura 5.26 Ventana simulación, descripción de botones de operación.

b) **Realizar simulaciones:** Utilizando el botón “simular” el programa procesa la información ingresada a las ventanas “parámetros operacionales” y “parámetros Whiten”, guardando correlativamente la información calculada de hasta 7 simulaciones. En la figura 5.27 se observan las últimas tres simulaciones y se aprecia cómo se modificó el CSS del chancador secundario para analizar el comportamiento del circuito. En su ventana principal se pueden observar la granulometría y los parámetros operacionales de los cuatro equipos principales, chancador secundario, chancador terciario, harnero secundario, harnero terciario, además de los parámetros de la alimentación del circuito y la información del stock pile grueso y stock pile fino.

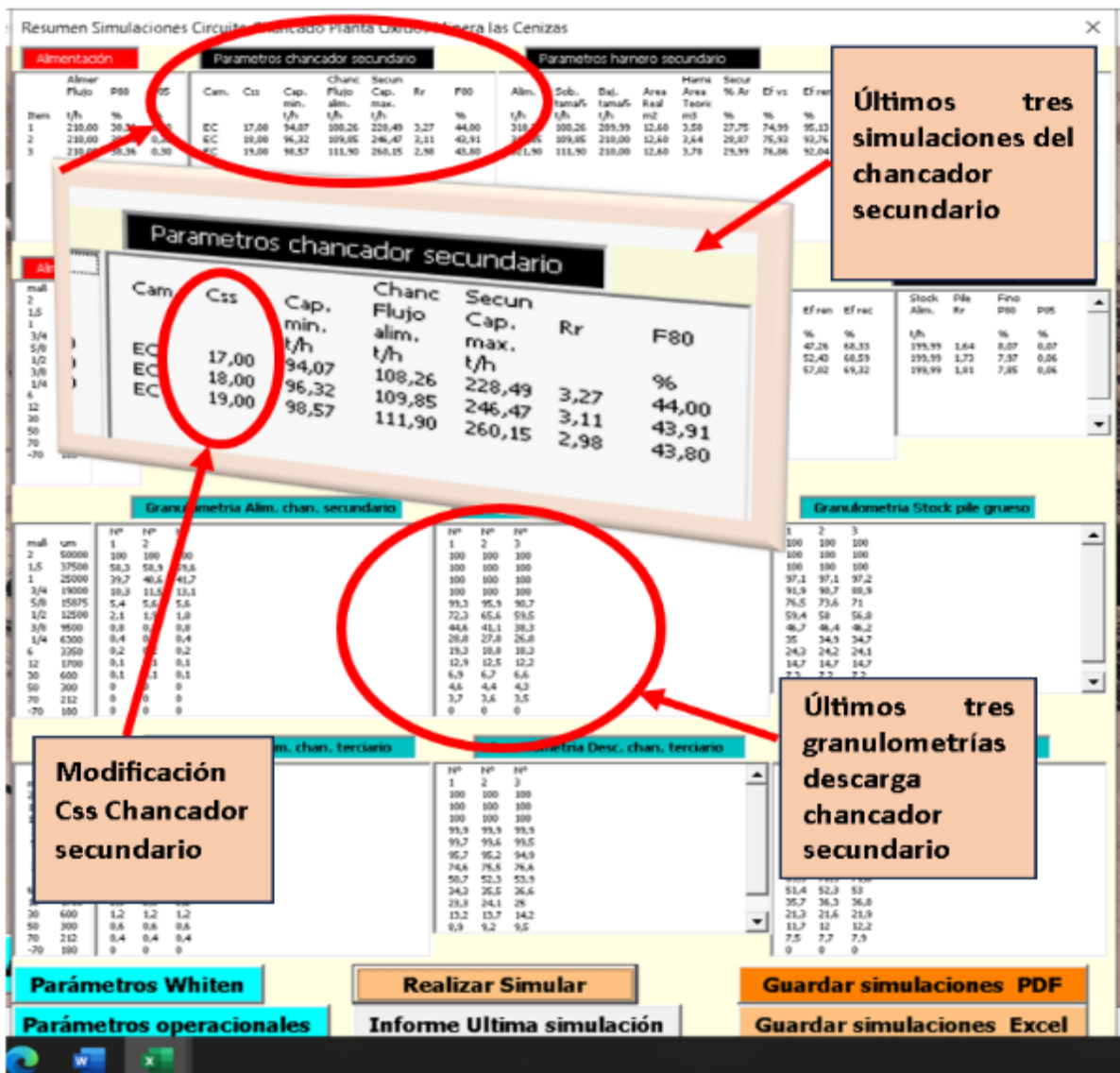


Figura 5.27 Ventana simulación, información que entrega su pantalla principal.

c) **Obtener un informe de la última circulación y guardarlo en formato PDF:** Utilizando el botón “informe ultima simulación” podemos obtener un informe de la última simulación con el diagrama del circuito como fondo pantalla. Dentro de esta ventana existe un botón “guardar” que permite guardar este informe en formato PDF, figura 5.28.

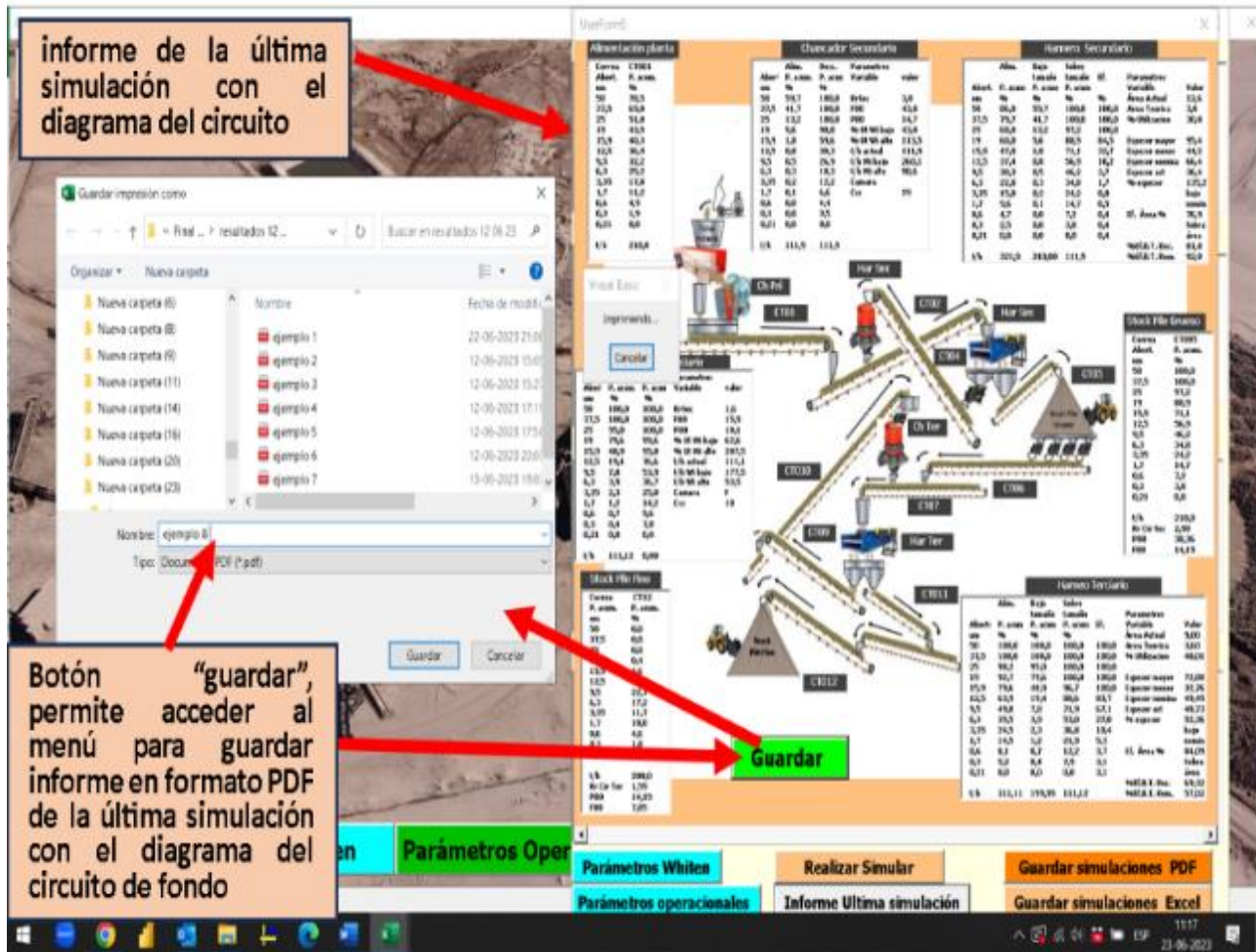


Figura 5.28 Ventana informe ultima simulación; botón guardar copia informe simulación en formato PDF.

d) **Obtener un informe de las últimas 7 simulaciones y guardarlo en PDF:** Utilizando el botón “Guardar simulaciones PDF” podemos guardar como informe la ventana simulación con hasta las 7 ultimas simulaciones Figura 5.29

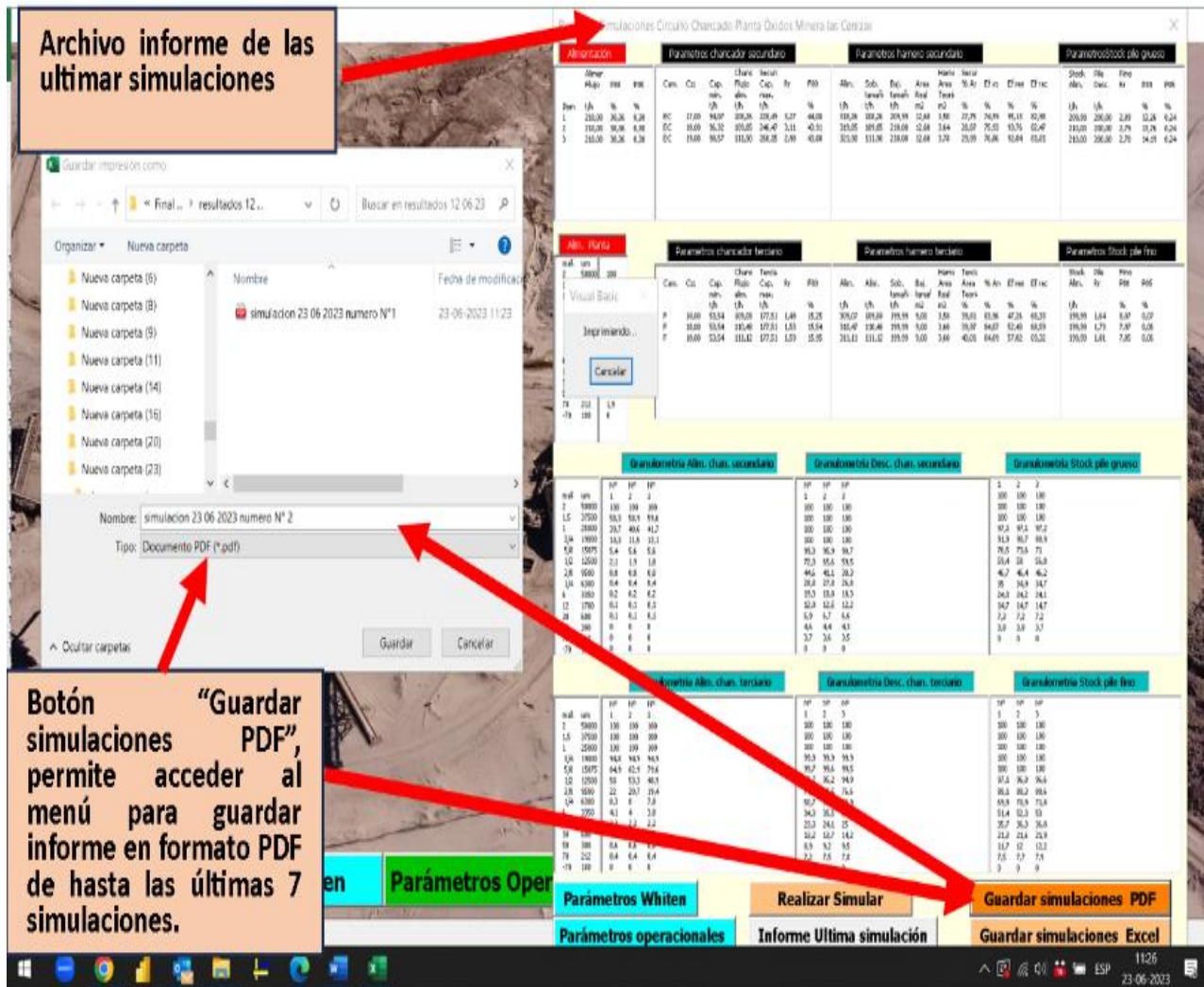


Figura 5.28 Botón “Guardar simulaciones PDF”, Guarda copia de hasta las últimas 7 simulación en formato PDF.

e) **Obtener un informe de las últimas 7 simulaciones y guardarlo en Excel:** Utilizando el botón “Guardar simulaciones Excel” podemos guardar como informe la ventana simulación con hasta las 7 últimas simulaciones Figura 5.29. Al poder obtener un archivo Excel podemos trabajar la información generando gráficos y otras aplicaciones propias del formato Excel, siendo esta la herramienta del programa que tiene una mayor aplicación posterior a la simulación para analizar la información, Figura 5.29.

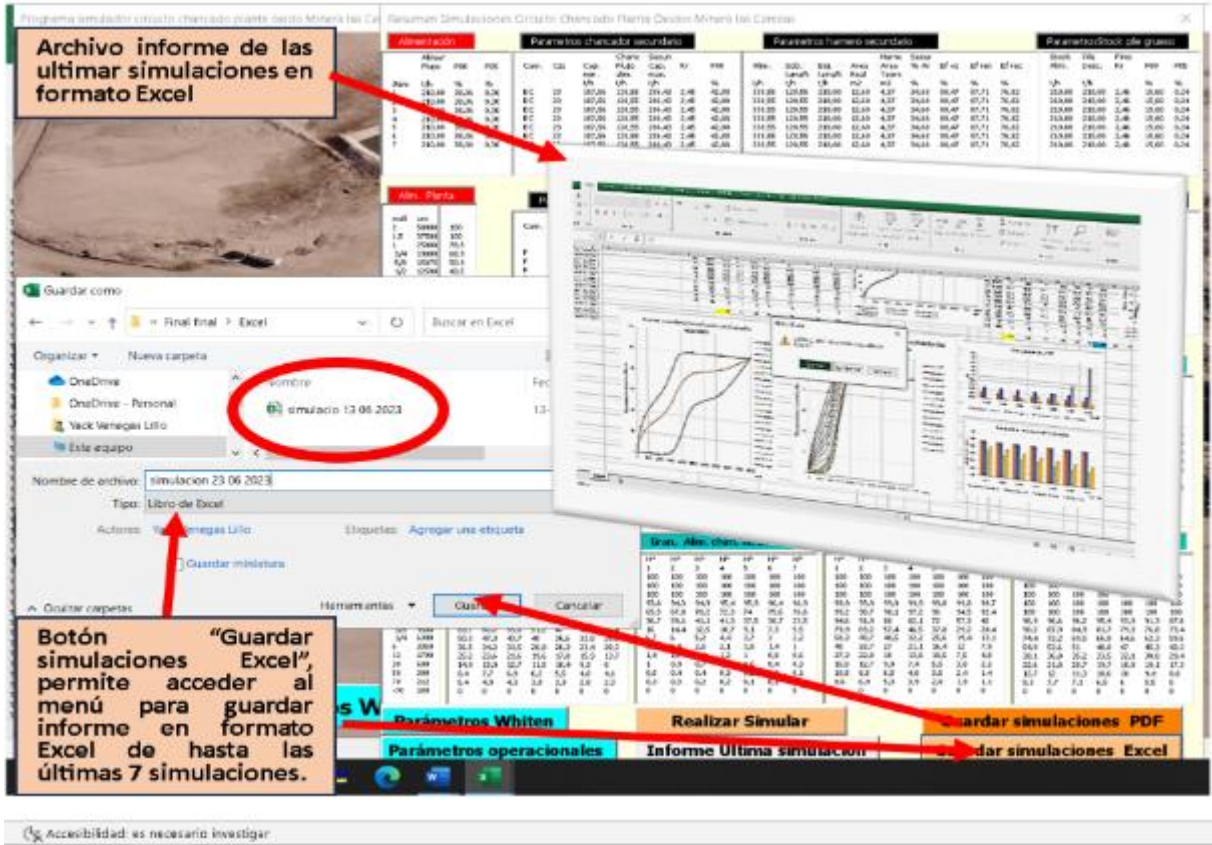


Figura 5.29 botón "Guardar simulaciones Excel", Guarda copia de hasta las últimas 7 simulación en formato Excel.

Analizando toda la información expuesta en el punto 5.4.1 se puede concluir que el simulador cumple con el objetivo de entregar información de forma clara y con herramientas fáciles de utilizar que pueden ser utilizadas para el análisis de la información.

5.4.2. Simulación del efecto de variables operacionales

Para analizar si el simulador procesa adecuadamente la información para distintos flujos máxicos, CSS y F80, calculando las granulometrías y parámetros operacionales, utilizando como base la teoría con la cual fue diseñado, se realizan 5 series de 7 simulaciones con las siguientes condiciones:

- a) Se mantiene un flujo constante de alimentación de 250 t/h en los circuitos secundarios y terciarios, y se modifica el CSS del chancador secundario entre 17 y 23 mm.

b) Con los resultados obtenidos en el punto anterior se observa el comportamiento del circuito terciario para distintos flujos de alimentación desde el stock pile grueso con distintos P80, con un flujo de alimentación de 250 t/h , manteniendo fijo el CSS del chancador terciario en 10 mm.

c) Se mantiene un flujo constante de alimentación de 250 t/h en el circuito terciario, modificando el CSS del chancador terciario entre 10 y 16 mm. La granulometría de alimentación al circuito será la obtenida para un CSS de 23 mm en las simulaciones anteriores.

d) Para un CSS de 17 mm en el chancador secundario se modifica el flujo de alimentación del circuito secundario de 250 a 370 t/h.

e) Finalmente, para un CSS de 10 mm en el chancador terciario se modificará el flujo de alimentación del circuito secundario de 250 a 350 t/h. La granulometría de alimentación al circuito será la obtenida para un CSS de 23 mm en las simulaciones anteriores.

Para analizar los datos se obtienen la información en archivos Excel por medio del botón “Guardar simulación Excel” del “modulo simulación” permitiendo de esta manera obtener los gráficos que se observan a continuación.

5.4.2.1. Simulación modificando CSS chancador secundario

La simulación se realiza manteniendo un flujo constante de alimentación de 250 t/h en los circuitos secundarios y terciarios, modificando el CSS del chancador secundario ente los 17 y 23 mm.

En las figuras 5.30 y 5.31 se observan el comportamiento de las granulometrías del chancadores y harneros secundarios, donde se aprecia que al ir aumentando en CSS de chancador secundario aumenta el tamaño de partícula en la descarga, aportando partículas de mayor tamaño al flujo de alimentación del harnero secundario, lo anterior hace que las curvas de descarga del chancador y alimentación del harnero se desplacen hacia la derecha, principalmente entre la malla 1/4” y 5/8”. Esto responde al comportamiento de la cámara tipo EC, que no genera muchos finos, pero si particular gruesos bajo el tamaño CSS \pm Exp del equipo.

Como la generación de partículas gruesas sucede bajo la malla 5/8" y la apertura de las mallas del harnero es de 25 mm, este aumento de granulometría se ve evidenciado en el bajo tamaño del harnero secundario, entre la malla 1/4" y 5/8", producto que alimenta el stock pile grueso.

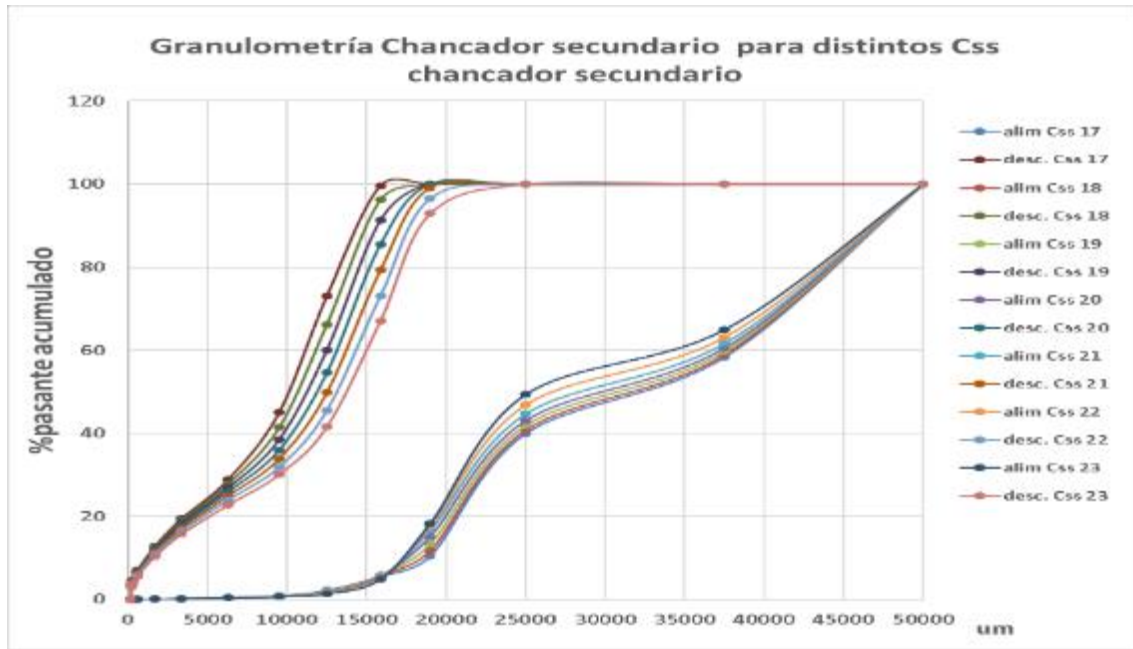


Figura 5.30 Granulometría chancador secundario para distintos CSS chancador secundario.

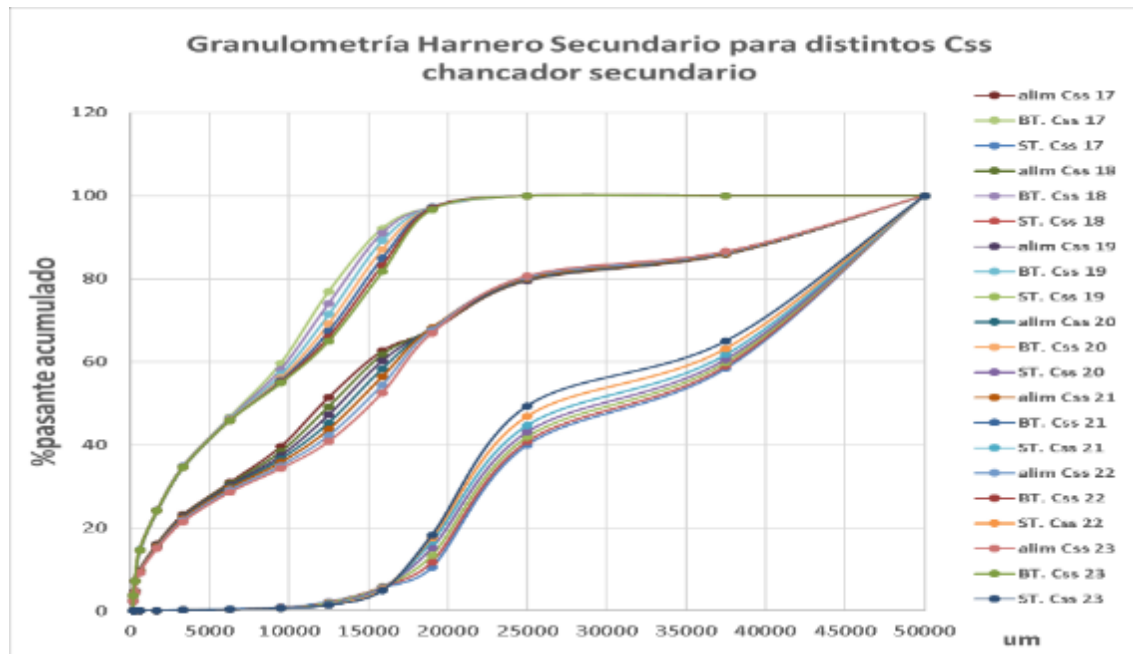


Figura 5.31 Granulometría Harnero secundario para distintos CSS chancador secundario.

Por otro lado, en las figuras 5.32, se observa que los flujos de alimentación del chancador y harnero secundario aumentan producto del mayor material circulante debido a la apertura del CSS del chancador. En flujo de alimentación del chancador se mantiene entre las capacidades de flujo máximos y mínimos para un chancador Sandvik 440 cámara EC, siendo esta parte de la información que aporta el modelo. Las capacidades máximas y mínimas del chancador dependen del W_i , la granulometría y F80 del flujo de alimentación del equipo.

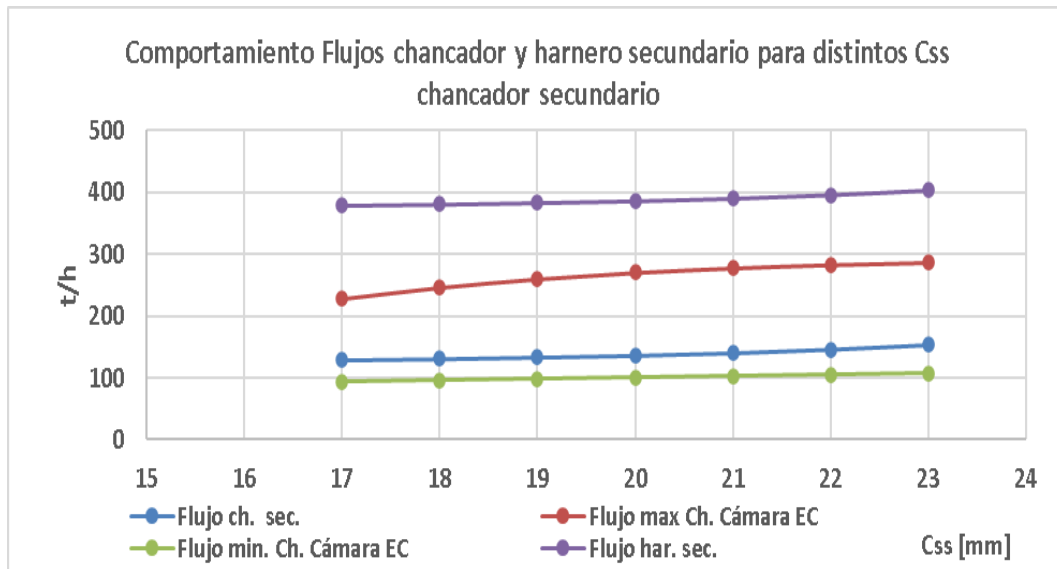


Figura 5.32 Flujos chancador y harnero secundario para distintos CSS chancador secundario.

En la figura 5.33 que observa que al aumentar el CSS del chancador secundario el P80 de descarga del equipo aumenta, pero esto no se refleja en la alimentación harnero secundario debido a que el aumento en la granulometría de descarga del chancador secundario es bajo los 5/8" para todo CSS y el P80 de alimentación del harnero se alcanza en torno a 1", ver figura 5.30.

Por otro lado, para el bajo tamaño del harnero secundario si hay un aumento del P80, debido a la apertura de la malla del harnero de 25 mm, que clasifica las granulometrías que, si fueron afectadas en el chancador secundaria por efecto de la modificación del CSS, considerando que el bajo tamaño del harnero secundario es almacenado en el stock pile grueso.

Ahora si observamos la figura 5.34 tenemos que el modelo simula adecuadamente el comportamiento del parámetro “Razón de reducción” tanto para al chancador secundario como para el circuito chancado secundario, disminuyendo este a medida que aumento del CSS del chancador secundario.

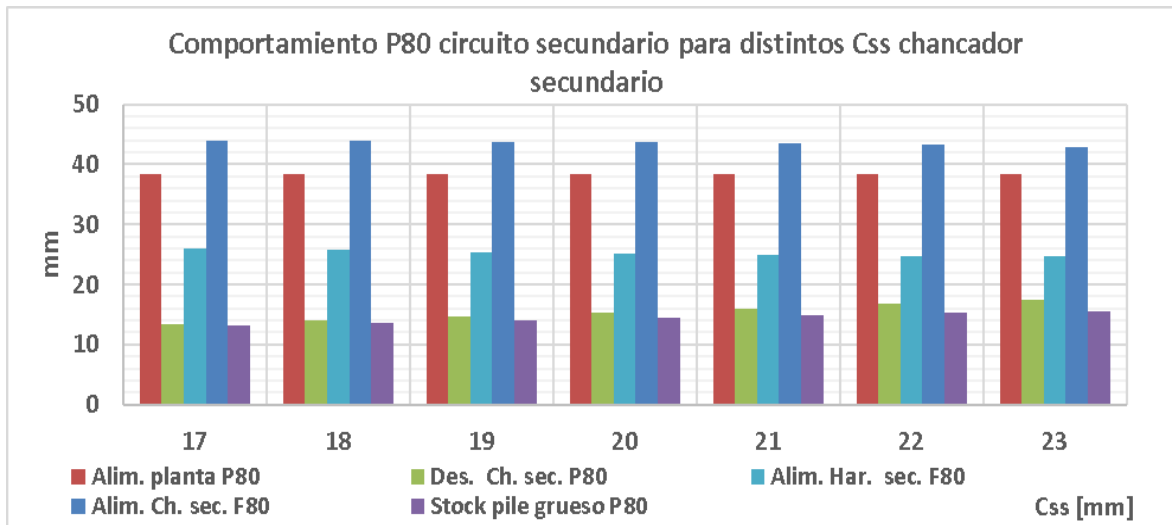


Figura 5.33 P80 del chancador y harnero secundario para distintos CSS chancador secundario.

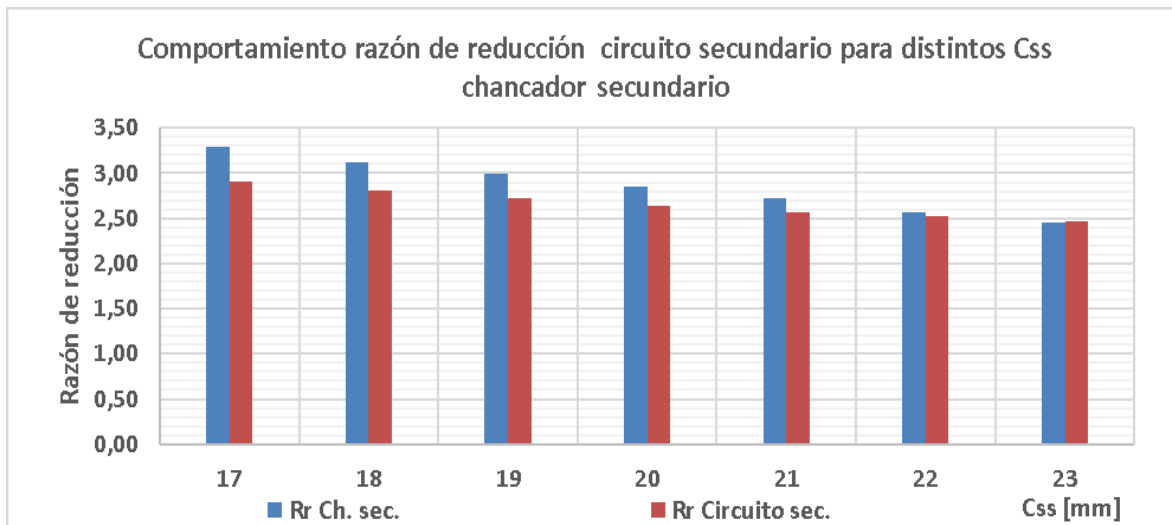


Figura 5.34 P80 del circuito chancado secundario para distintos CSS del chancador secundario.

5.4.2.2. Simulación modificando P80 de alimentación circuito chancador terciario

Utilizando las granulometrías del stock pile grueso, obtenidas en las simulaciones del punto 5.4.2.1, se analiza el comportamiento de los equipos del circuito chancado terciario para distintos P80 de alimentación, para un CSS de 10 mm en el chancado terciario.

Como se observa las figuras 5.34 y 5.35 el modelo responde bien al aumento del F80 de alimentación del chancador, generando P80 de mayor tamaño a medida que la granulometría de alimentación al equipo aumenta de tamaño. El aumento del F80 de alimentación del chancador terciario se debe a que la apertura de las mallas del harnero terciario es de 17 mm y no clasifica todas las partículas que se encuentran entre los 5/8" y 3/4" pasando como alimentación del chancador con una variación proporcional a la variación del P80 del stock pile grueso. Ver figura 31 para las granulometrías entre 5/8" y 3/4" del del stock pile grueso.

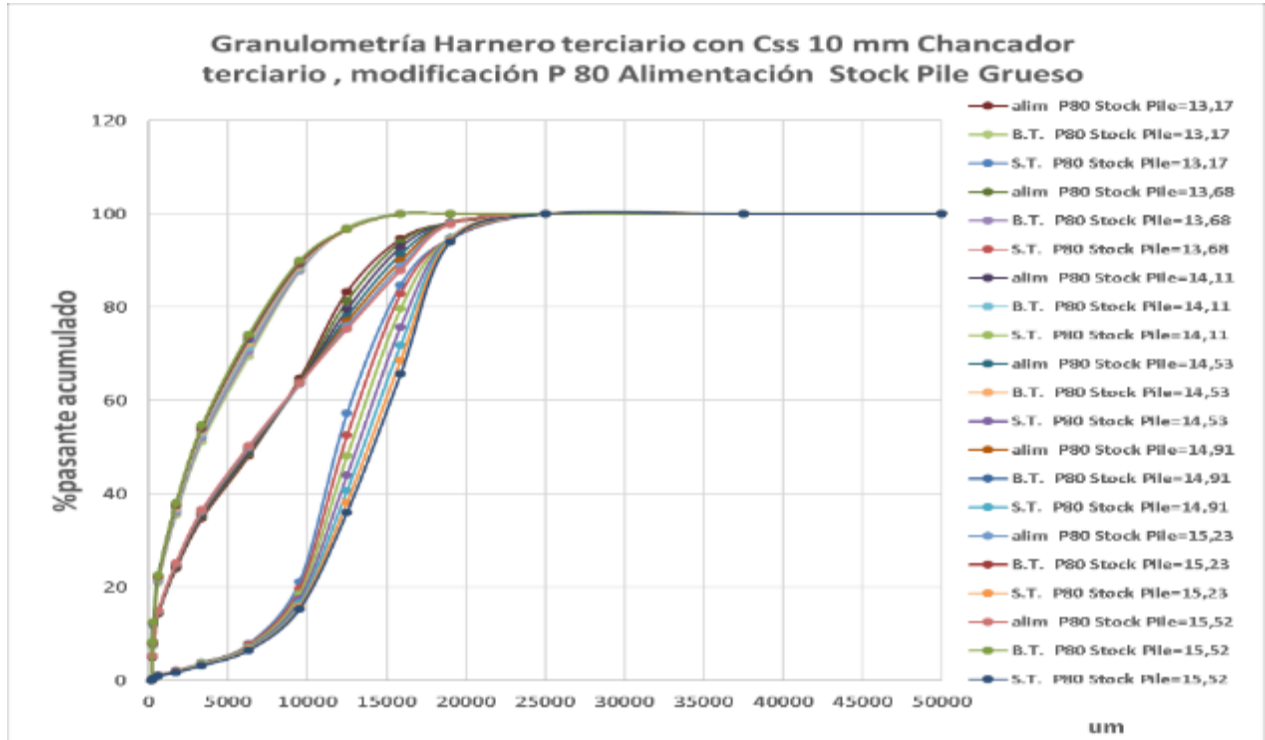


Figura 5.36 Granulometría Harnero terciario con CSS 10 mm chancador terciario, modificación P 80 alimentación Stock Pile Grueso.

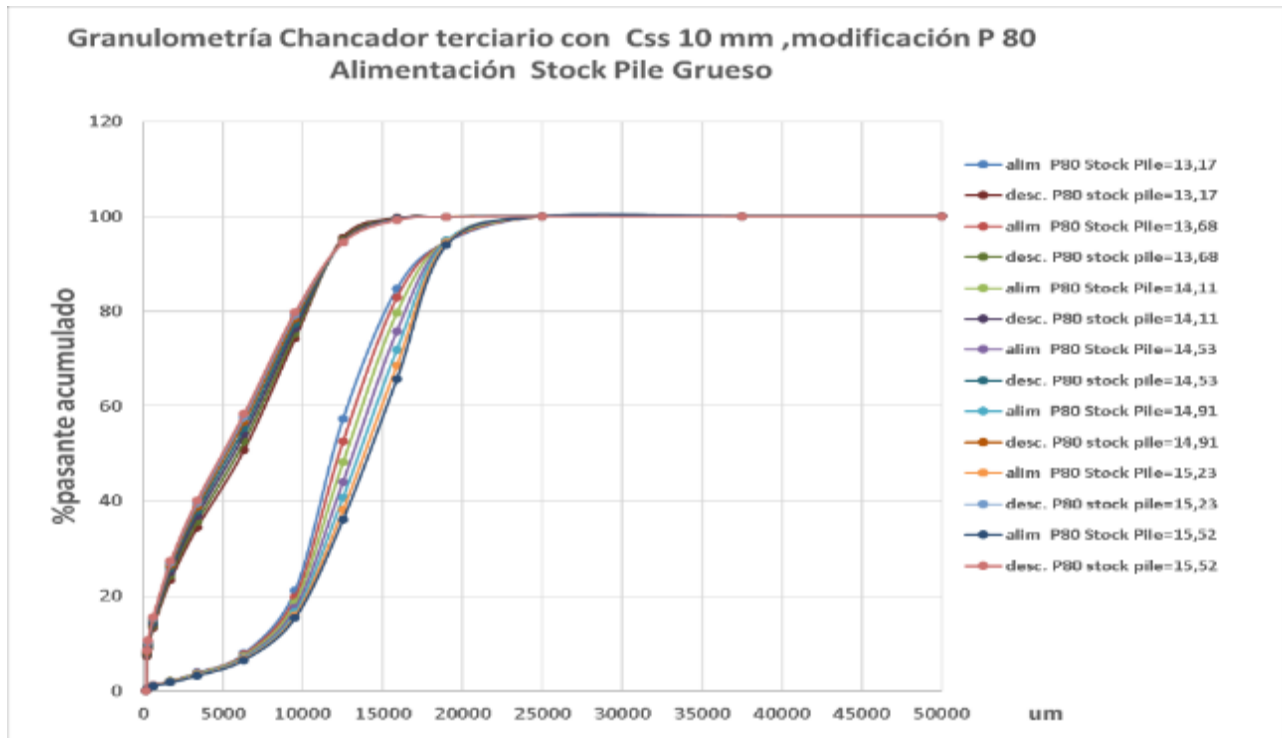


Figura 5.36 Granulometría chancador terciario con CSS 10 mm, modificación P 80 alimentación Stock Pile Grueso.

En la figura 5.37 se observa que el F80 y P80 del chancador terciario responden al comportamiento visto en la figura 5.36, con variación de granulometrías de alimentación entre $5/8"$ y $3/4"$ para el F80 y con una granulometría casi constante de 9,5 mm y 10,3 mm para el P80 de descarga del chancador terciario. La variación del P80 del stock pile no supera los 0,6 mm entre el mayor y el menor

Ahora si observamos la figura 5.38 tenemos que el modelo simula adecuadamente el parámetro "Razón de reducción" aumentando estos a medida que aumenta el P80 en el stock pile grueso, tanto para la descarga del chancador como para la alimentación del stock pile fino.

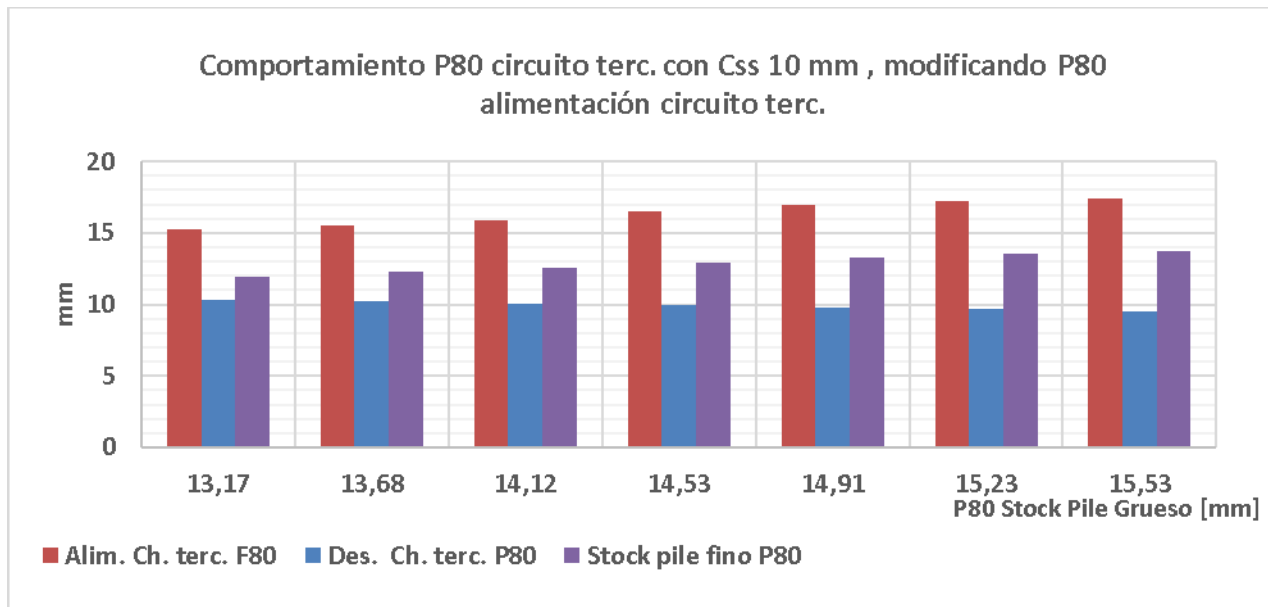


Figura 5.37 Comportamiento P80 circuito terc. con CSS 10 mm, modificando P80 alimentación circuito terciario.

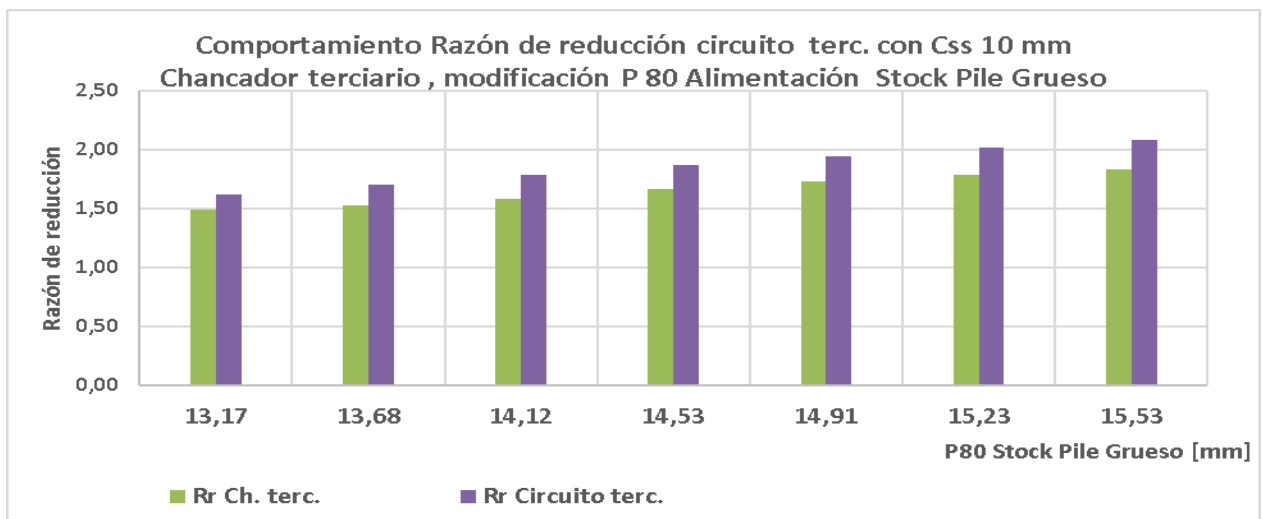


Figura 5.38 Comportamiento Razón de reducción circuito terc. con CSS 10 mm chancador terciario, modificación P 80 Alimentación Stock Pile Grueso

5.4.2.3. Simulación modificando CSS del chancador terciario

Para esta simulación se manteniendo un flujo constante de alimentación de 250 t/h al circuito terciario, modificando el CSS del chancador terciario entre 10 y 16 mm.

La granulometría de alimentación del circuito terciario será la obtenida en las simulaciones anteriores para un CSS de 23 mm en el chancador secundario.

Como de observa las figuras 5.39 y 5.40 el modelo responde adecuadamente a la modificación del CSS para un chancador Sandvik 440 cámara F, donde para todo CSS el equipo genera partículas finas. A medida que el CSS aumenta disminuyendo la generación de particular finas, pero sin dejar de generarse y aumentar las partículas gruesas. Casi el 100% de las partículas son menores a 5/8", influenciado esto por la apertura de la malla del harnero que es de 17 mm y un CSS menor a 16 mm. Lo anterior desplaza la curva del chancador terciario hacia la derecha a medida que aumenta el CSS.

Para el caso del bajo tamaño del harnero terciario figura 5.40, como el harnero clasifica las partículas bajo la apertura de malla de 17 mm y casi el 100% de las partículas buenas generadas en el chancador terciario son menores a 5/8", estas buenas partículas modifican la granulometría del bajo tamaño del harnero en forma proporcional a la variación la granulometría de descarga del chancado terciario, desplazando la curva hacia la derecha a medida que el CSS del chancador aumenta.

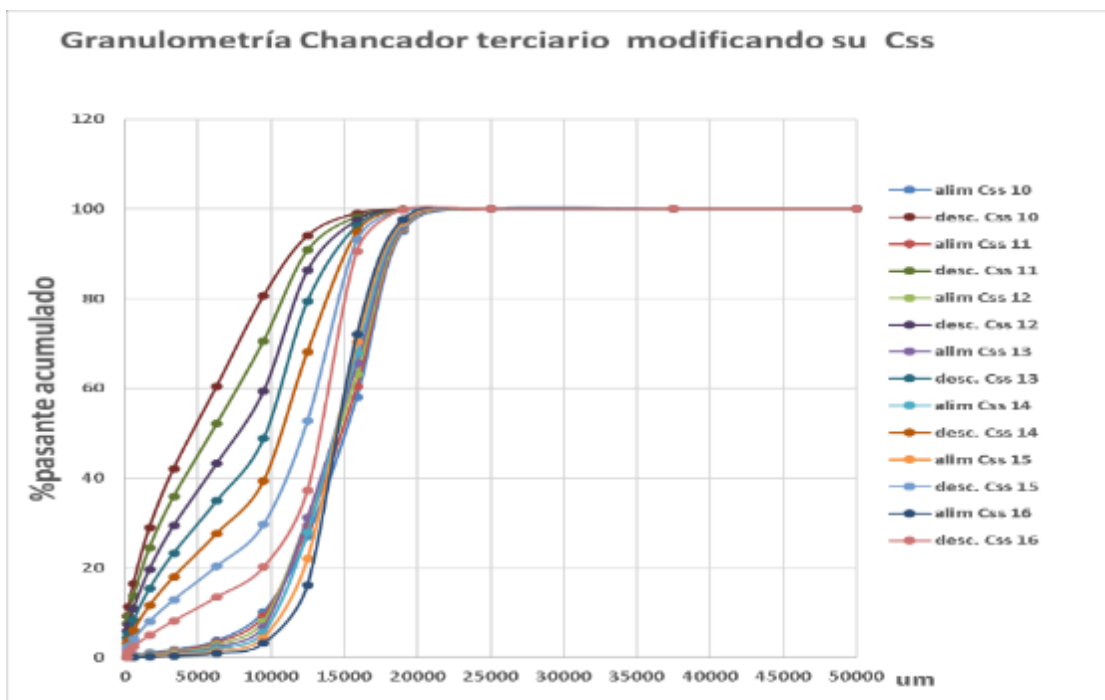


Figura 5.39 Granulometría chancador terciario, modificando su CSS.

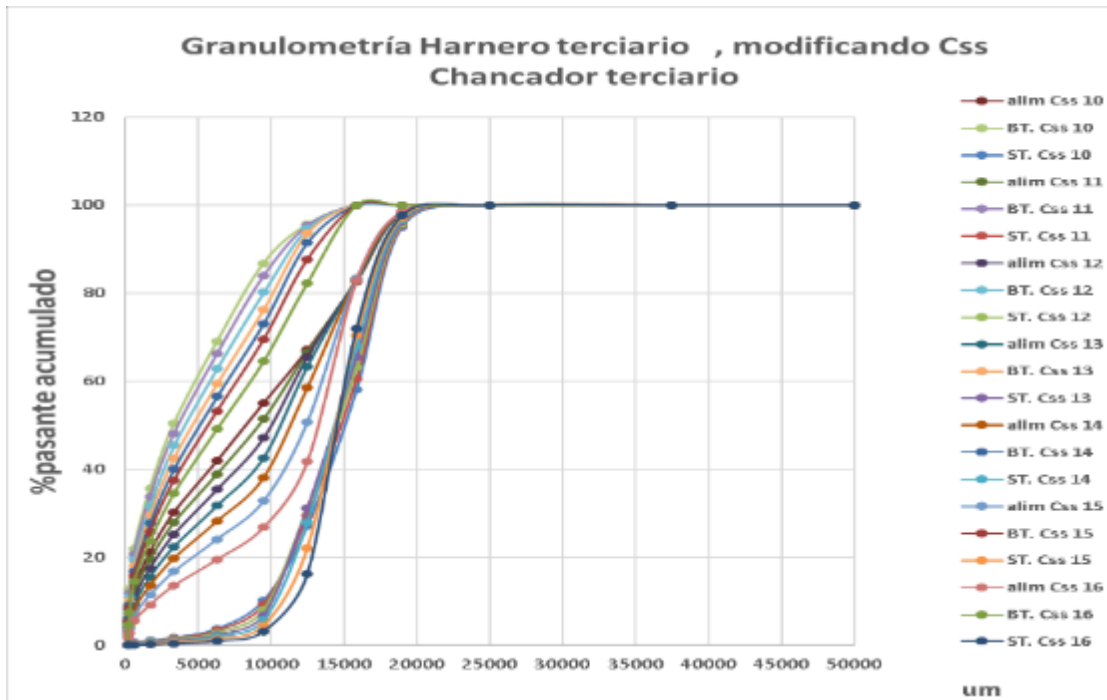


Figura 5.40 Granulometría harnero terciario, modificando el CSS del Chancador terciario.

En la figura 5.41 se observa que el P80 del chancador terciario responden al comportamiento visto en la figura 5.39, donde el P80 aumenta a medida que el CSS aumenta, variando entre los 3/8" y los 5/8". En el caso del P80 del stock pile fino o bajo tamaño del harnero terciario, este varia proporcionalmente a la variación del P80 del chancador terciario, esto debido a la clasificación que realiza el harnero terciario bajo la apertura de 17 mm de su malla, efecto que se explicó para la figura 5.40.

Observando la figura 5.41 se aprecia que el modelo simula adecuadamente el parámetro "razón de reducción" del chancador terciario, disminuyendo a medida que aumentamos el CSS del chancador. Este comportamiento también se observa para la razón de reducción del circuito terciario, debido nuevamente a la clasificación que realiza el harnero terciario bajo la apertura 17 mm de su malla, para casi el 100 % de las partículas generadas en el chancador terciario.

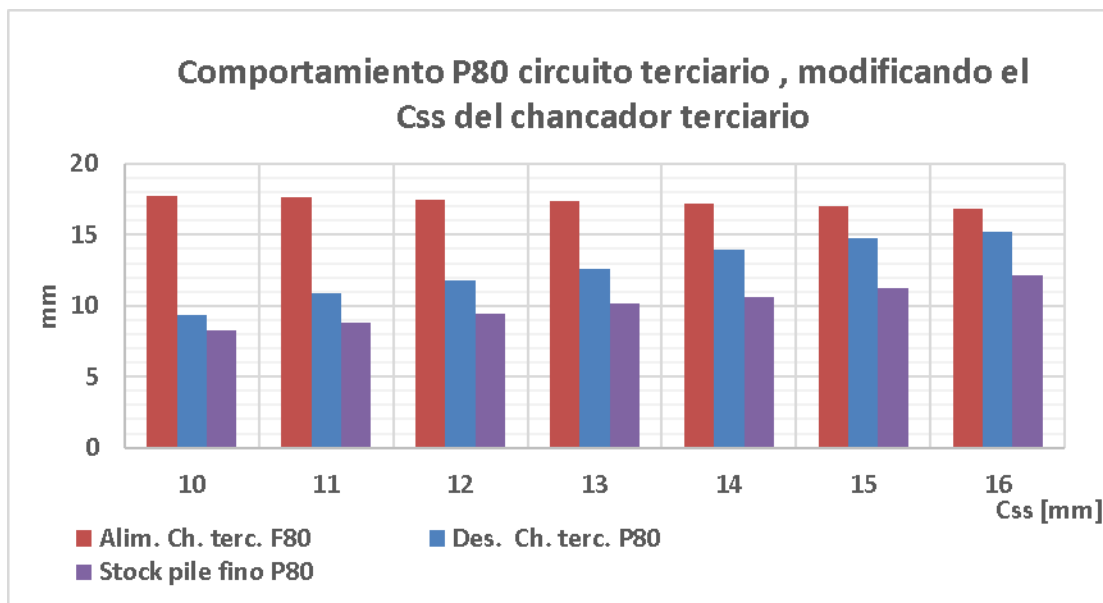


Figura 5.41 Comportamiento P80 circuito terciario, modificando el CSS del chancador terciario.

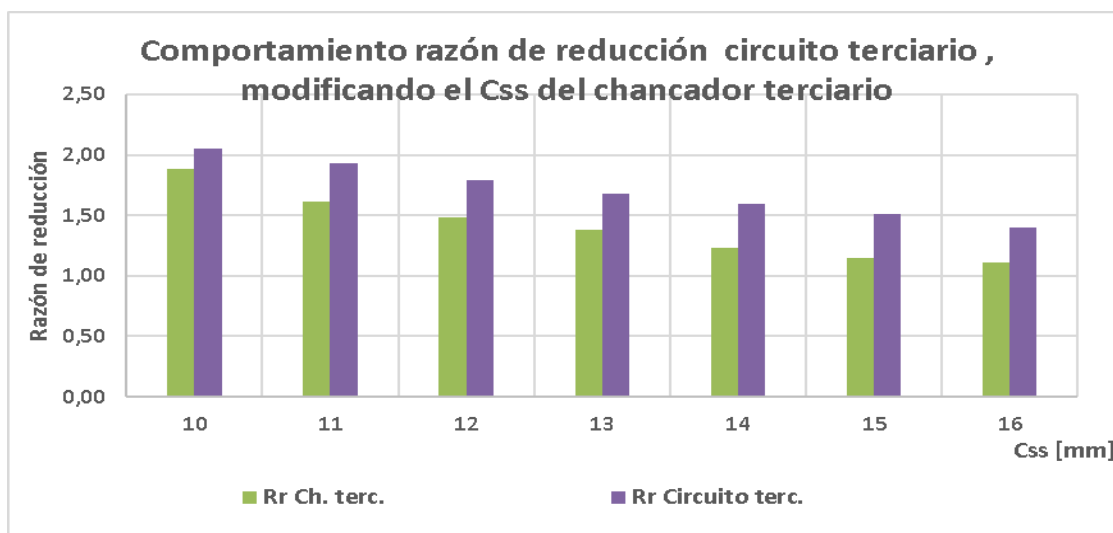


Figura 5.42 Comportamiento razón de reducción circuito terciario, modificando el CSS del chancador terciario.

En las figuras 5.43 podemos observar como el modelo expone las restricciones de capacidad del chancador terciario para distintos CSS de apertura, en función de las curvas de capacidad de un chancador Sandvik 440 cámara F. Para un CSS de 11 mm se supera la capacidad máxima de 200 t/h, obteniéndose que para un CSS de 16 mm el flujo de alimentación llega al doble del flujo máximo permitido, esto

debido al aumento del flujo circulante o sobre tamaño del harnero terciario. Las capacidades máximas y mínimas del chancador dependen del W_i , la granulometría y F80 del flujo de alimentación del equipo.

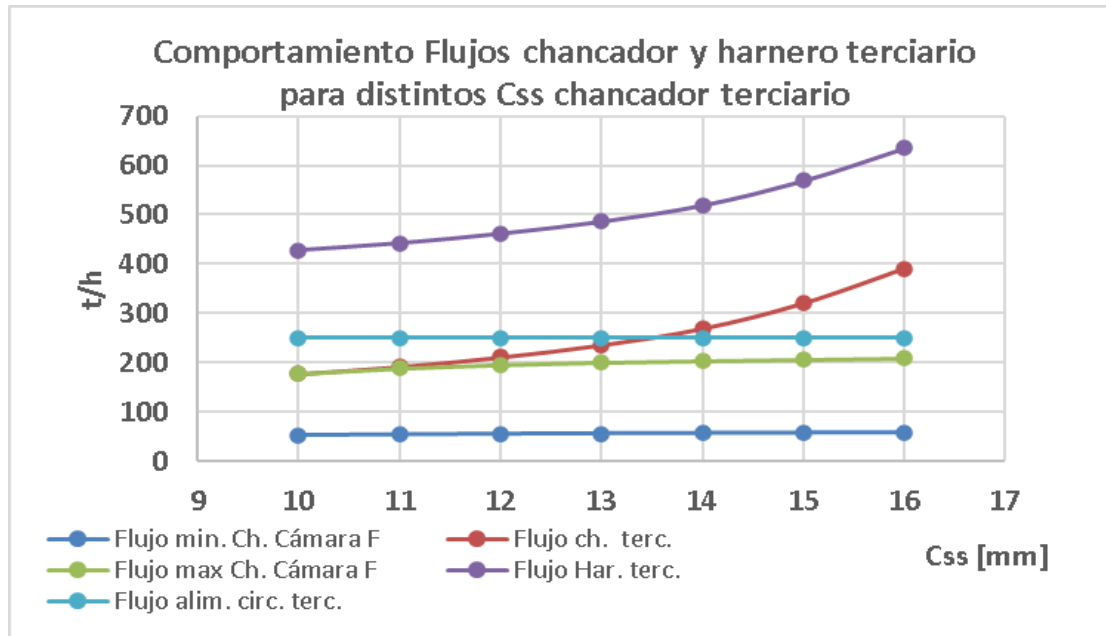


Figura 5.43 Comportamiento Flujos chancador y harnero terciario para distintos C_{SS} chancador terciario.

Por otro lado, en las figuras 5.44 podemos observar como el modelo expone las restricciones de capacidad del harnero terciario con relación al área de harneado y el flujo de alimentación. En la figura 5.43 se observa que el flujo de alimentación del harnero terciario va aumentando a medida que aumenta el C_{SS} del chancador terciario, por lo cual la capacidad del harnero terciario debería ir disminuyendo. Esto se puede cuantificar calculando cuántas áreas teóricas requeriría el equipo, según el modelo Metso, para clasificar adecuadamente y qué porcentaje es esta del área nominal (el área nominal es de 9 m^2). En la figura 5.43 se observa que para un C_{SS} de 15 mm se supera el área teórica, con un flujo de alimentación del harnero de 570 t/h . El cambio de esta área teórica se puede observar en el Anexo B.

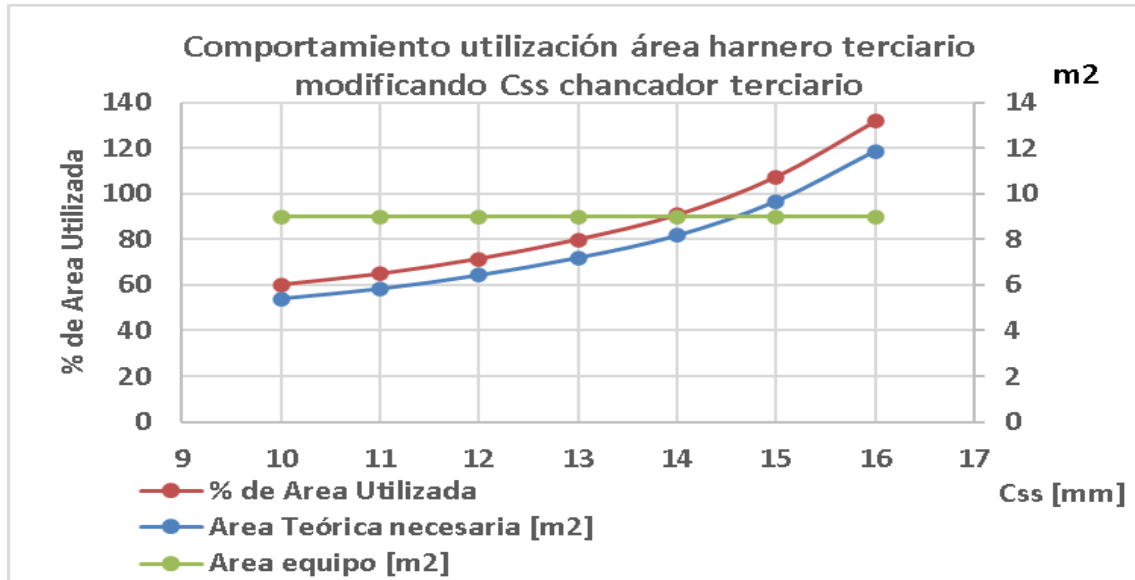


Figura 5.44 Comportamiento utilización área harnero terciario modificando CSS chancador terciario.

5.4.2.4. Simulación modificando flujo alimentación circuito chancado secundario

Para esta simulación se mantiene fijo el CSS chancador secundario en 17 mm, se modificará el flujo de alimentación del circuito secundario de 250 t/h a 370 t/h. Como no se modifica el CSS del chancador secundario ni la apertura de la malla del harnero secundario, las granulometrías del circuito en general no sufren variación, pero si se puede apreciar como el modelo entrega las restricciones de capacidad para el chancador y harnero secundario.

En el caso del chancador secundario en la figura 5.45 podemos observar las restricciones de capacidad para un chancador Sandvik 440 cámara EC, donde para un flujo de alimentación del circuito secundario de 370 t/h, se llega un flujo de alimentación de unas 230 t/h con lo cual se alcanza el máximo flujo permitido. Las capacidades máximas y mínimas del chancador dependen del W_i , la granulometría y F80 del flujo de la alimentación del equipo.

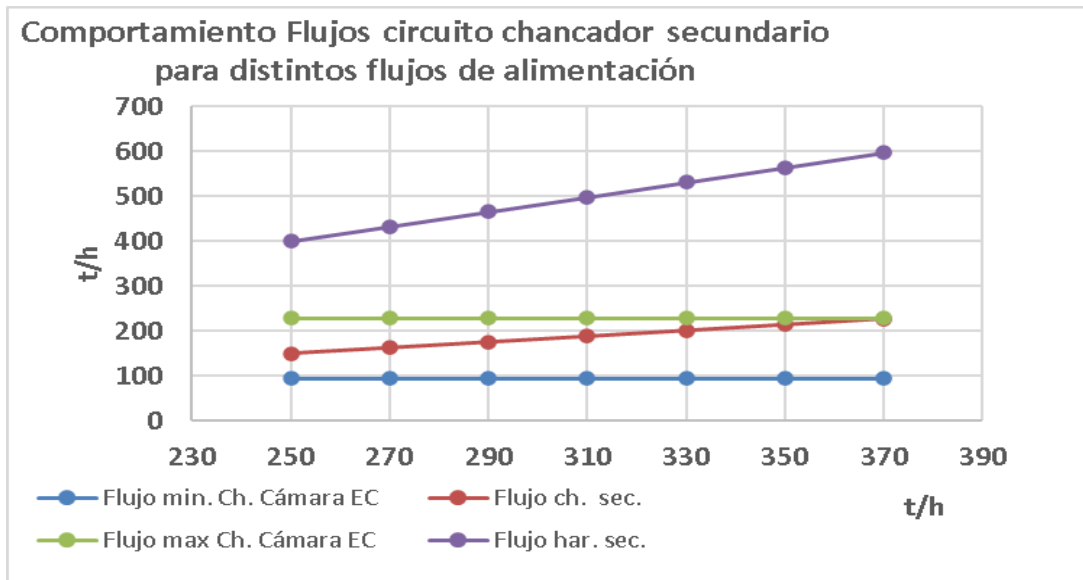


Figura 5.45 Comportamiento Flujos circuito chancador secundario para distintos flujos de alimentación.

En el caso del harnero secundario en la figura 5.46 podemos observar las restricciones de capacidad en función del área teoría y el % de área nominal utilizada (el área nominal es de 12,6 m²). La figura 5.45 se evidencia que para un flujo máximo de 370 t/h, solo se alcanza un 60% de la capacidad, con un área teoría calculada de 8 m². Este dato en una evaluación de proyecto, para la adquisición de un equipo nuevo, permitiría tomar la decisión de cotizar un equipo de menor tamaño.

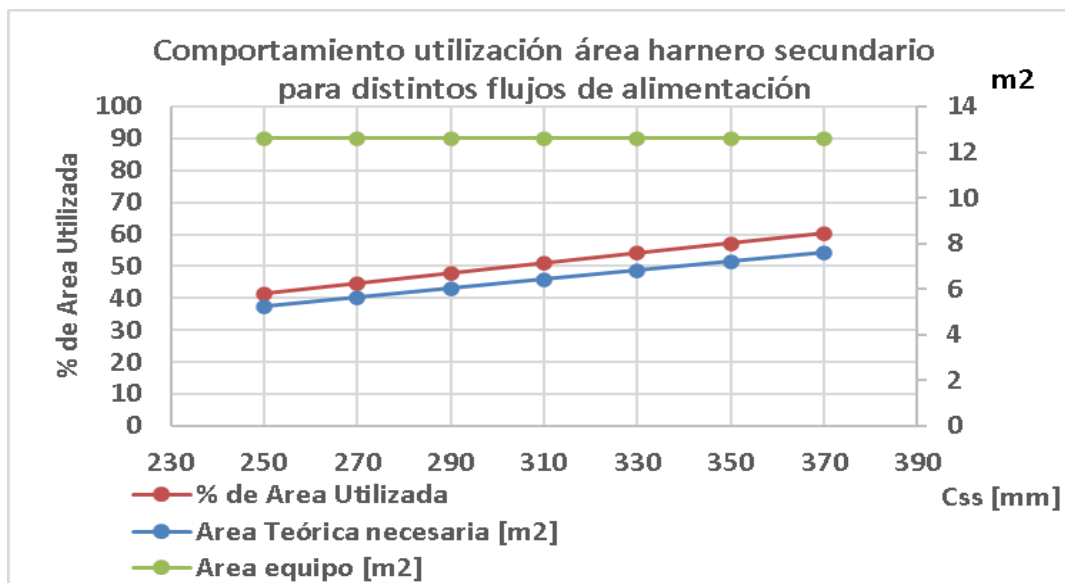


Figura 5.46 Comportamiento utilización área harnero secundario para distintos flujos de alimentación

5.4.2.5. Simulación modificando flujo alimentación circuito chancador terciario

Para esta simulación se mantuvo fijo el CSS chancador terciario en 10 mm, modificará el flujo de alimentación del circuito terciario de 250 t/h a 370 t/h. Como no se modifican el CSS del chancador terciario ni la apertura de la malla del harnero terciario, las granulometrías del circuito en general no sufren variación, pero si se pueden apreciar como el modelo entrega las restricciones de capacidad para el chancador y harnero terciario.

En el caso del chancador terciario en la figura 5.47 podemos observar las restricciones de capacidad para un chancador Sandvik 440 cámara F, donde para un flujo de alimentación del circuito terciario de 290 t/h, se llega un flujo de alimentación de unas 180 t/h con lo cual se alcanza el máximo flujo permitido, considerando que este flujo máximo teórico depende de que se cumplan condiciones de bajo W_i y granulometrías de bajo F80. Para el flujo máximo utilizado en esta simulación de 370 t/h se sobrepasa el flujo máximo teórico en unas 40 t/h, por lo cual para este caso debiera considerarse un chancador de mayor tamaño. Las capacidades máximas y mínimas del chancador dependen del W_i , la granulometría y F80 del flujo de la alimentación del equipo.

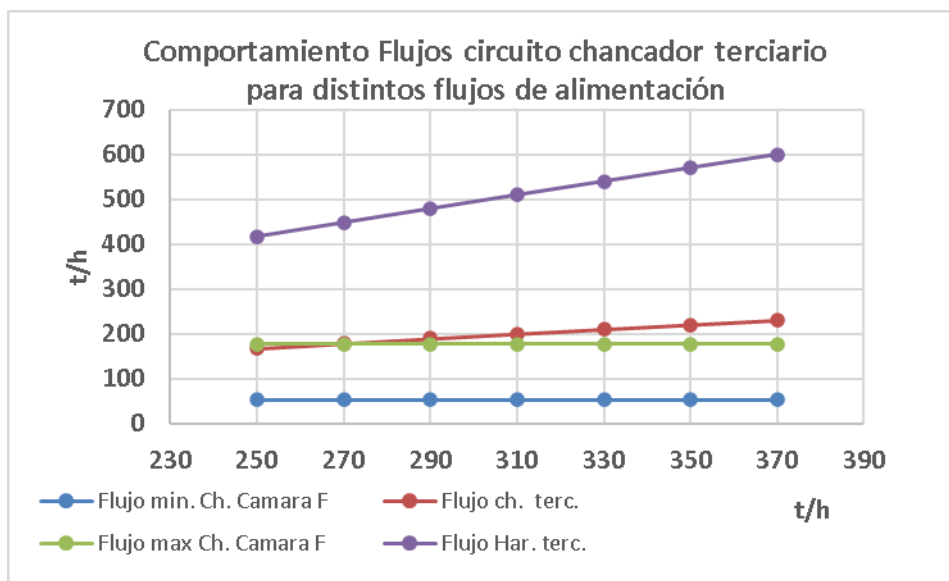


Figura 5.47 Comportamiento Flujos circuito chancador terciario para distintos flujos de alimentación

En el caso del harnero terciario en la figura 5.48 podemos observar las restricciones de capacidad en función del área teoría y el % de área nominal utilizada (el área nominal es de 9 m²). La figura 5.47 evidencia que para un flujo máximo de 370 t/h se alcanza un 87% de capacidad, con un área teórica calculada de 7,8 m². Este dato en una evaluación de proyecto, para la adquisición de un equipo nuevo, permitiría tomar la decisión de cotizar un equipo de menor tamaño.

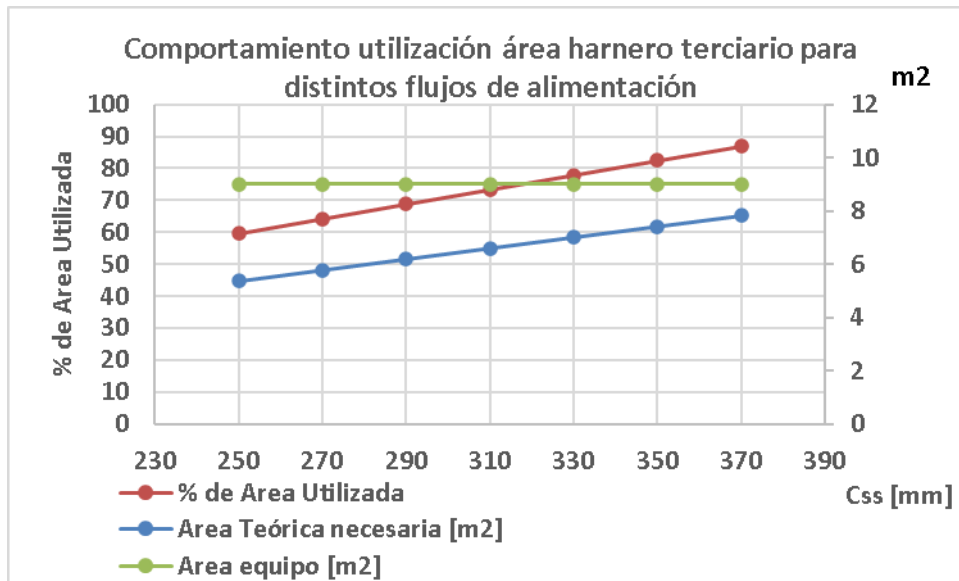


Figura 5.48 Comportamiento utilización área harnero terciario para distintos flujos de alimentación en función de su área teoría.

Finalmente analizando toda la información expuesta punto 5.4.2, se puede validar el comportamiento del modelo al variar las variables operacionales, concluyendo que el simulador responde a la teoría y a los parámetros de diseño de este.

6. CONCLUSIONES

Se implementó un simulador capaz de predecir el efecto de los cambios en las condiciones de operación; flujos másicos y distribuciones granulométricas de alimentación a chancadores y harneros, así como la abertura del lado cerrado de los chancadores, sobre el rendimiento y capacidad del circuito de chancado secundario y terciario, con un error en las predicciones que varían entre 5 % y 10 % para la estimación del tamaño 80% pasante en la alimentación del producto final del circuito chancado.

Se realizaron muestreos bajo diferentes condiciones de operación y los resultados demostraron que los flujos que presentaron mayor error, con un varianza en el error de muestreo mayor, para el chancador secundario fueron los flujos de alimentación con un valor entre $0,34E-03$ y $1,30E-03$, para el chancador terciario fueron los flujos de alimentación con un valor entre $0,63E-04$ y $1,53E-04$, para el harnero secundario fueron los flujos del sobre tamaño con un valor entre $0,26E-03$ y $1,1E-03$ y finalmente para el harnero terciario fueron los flujos del sobre tamaño con un valor entre $1,1E-04$ y $6,8E-04$.

Se ajustaron los balances de masas aplicando la técnica de los multiplicadores de Lagrange, y los resultados demostraron que los flujos que experimentaron mayor grado de ajuste fueron los que presentan mayores valores en la varianza del error de muestreo, con las mayores diferencia porcentual relativa de estos ajustes, para chancador secundario fueron los flujos de alimentación con un valor entre 4,10% y 38,80%, para el harnero secundario fueron los flujos del sobre tamaño con un valor entre 2,40% y 15,10%, para el harnero terciario fueron los flujos del sobre tamaño con un valor entre 6,0% y 18,20%. Para el chancador terciario no se realizó un ajuste del balance de masa al no poder determinarse el flujo másico de alimentación por ser este alimentado desde un alimentador vibratorio.

Se correlacionaron las variables de operación con los parámetros del modelo a través de ecuaciones lineales, polinómicas y exponenciales, y mediante uso del

complemento Solver de Excel, basando en la menor suma residual de cuadrados (SRQ), se determinó que las ecuaciones que mejor ajustan las predicciones de los modelos con la distribución de granulométrica del producto de los chancadores y las curvas de eficiencias de los harneros son las presentadas a continuación:

Chancador secundario

Matriz Fractura	Matriz Clasificación
$k = 1,10384 - C_{ss}^{0,00625}$	$k_1 = C_{ss}^{0,84663}$
$n = C_{ss}^{0,73193}$	$k_2 = C_{ss}^{0,89607} + F_{80}^{0,46958} + F^{0,20424}$
$m = 0,64799$	$k_3 = C_{ss}^{0,29115}$

Chancador terciario

Matriz Fractura	Matriz Clasificación
$k = 1,62420 - 0,08022 * C_{ss}$	$k_1 = 0,89685 * C_{ss}$
$n = 0,05759 * C_{ss}$	$k_2 = 2,94017 * C_{ss} + 0,00001 * F_{80} + 0,00001 * F$
$m = 0,53162$	$k_3 = 0,71856 * C_{ss}$

Harnero Secundario

$$m = 121,22161 - 0,13838 * e^{\widehat{F}_a} - 52,54505 * e^{\%MC}$$

Harnero Terciario

$$m = 27,84726 - 0,04660 * e^{\widehat{F}_a} - 11,15250 * e^{\%MC}$$

Para la validación de los modelos de los harneros se compararon las curvas de eficiencia promedio, de las distribuciones granulométricas ajustadas y las calculadas con el modelo de Whiten. Para el harnero secundario se observó que los muestreos 3, 4 y 5 tuvieron mejor ajuste que los muestreos 1 y 2 debido a bajos flujo de alimentación que generaron lecho de bajo espesor y baja estratificación cumpliendo con la teoría de estratificación, con una suma residual de cuadrados para todos los muestreos entre 1 y 3,2. Para el caso del harnero terciario casi todos los muestreos lograron ajustarse de forma similar con valores entre 0,1 y 0,9, con excepción del muestreo 5 que presentó un valor de 7,3 debido a un alto flujo de alimentación que generó lecho de alto espesor y

baja estratificación cumpliendo con la teoría de estratificación. Por lo anterior y otros análisis se dieron por validados los modelos de los harneros.

Para el caso de los chancadores, al analizar la curva de fractura del chancador secundario con cámara tipo EC, un 90% de las partículas generadas fueron mayores al 60 % del tamaño de la partícula madre, lo que responde al comportamiento de este tipo de cámara que debe producir más partículas gruesas que finas. En el caso del chancador terciario con cámara tipo F, el 75 % de las partículas generadas fueron menores al 50 % del tamaño de la partícula madre, lo que también respondió a lo esperado para una cámara de ese tipo que debió producir más partículas finas que gruesas. Por esto y otros análisis se dieron por validados los modelos de las chancadoras.

Finalmente se observó que el simulador contaba con diversas UserForm (ventana o cuadros de diálogo), que permitían ingresar o modificar la granulometría de alimentación y los parámetros de los harneros y chancadores, obteniéndose resultados de las simulaciones mediante ventanas (UserForm) y archivos en formato PDF y Excel. Aplicando esta herramienta se pudo analizar el comportamiento del simulador para distintos flujos máxicos y distribuciones granulométricas de alimentación, modificándose la abertura del lado cerrado de los chancadores, donde a partir de las distintas tablas y gráficos obtenidos de los informes extraídos del programa, permitió concluir que el simulador respondía a los modelos y teoría con la cual fue diseñado siendo validado.

7. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Lynch A.J. (1980). Circuitos de trituración y Molienda de Minerales: Su Simulación, Optimización, Diseño y Control. Rocas y Minerales
- (2) Santander M. (1985). Simulador Flexible para la Planta de Chancado Secundario y Terciario de CODELCO-CHILE, División Salvador. Tesis Ingeniería Civil en Metalurgia. Departamento de Ingeniería
- (3) Metso Minerals (2017). Harneros Selección Criterio Diseño. Catalogo
- (4) Sandvik (2013). Rock Processing Guide 2013. Catalogo
- (5) Alfredo R. (2011). Curso de Programación de Macros en Excel 2010. RicoSoft
- (6) Alfaro M.A. (2002). Introducción al Muestreo Minero. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. Curso.
- (7) KOBASHICAWA J.A. (2004). Corrección de Análisis Granulométricos y Químicos por los Multiplicadores de Lagrange. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Lima - Perú Apunte.

ANEXO A
Muestreo y análisis granulométrico

A. MUESTREO Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Los muestreos realizados para determinar los parámetros de Whiten de los chancadores y harneros secundarios y terciarios de la planta óxido Minera Las Cenizas, fueron realizados cumpliendo el diagrama de flujo de la Figura A.1.

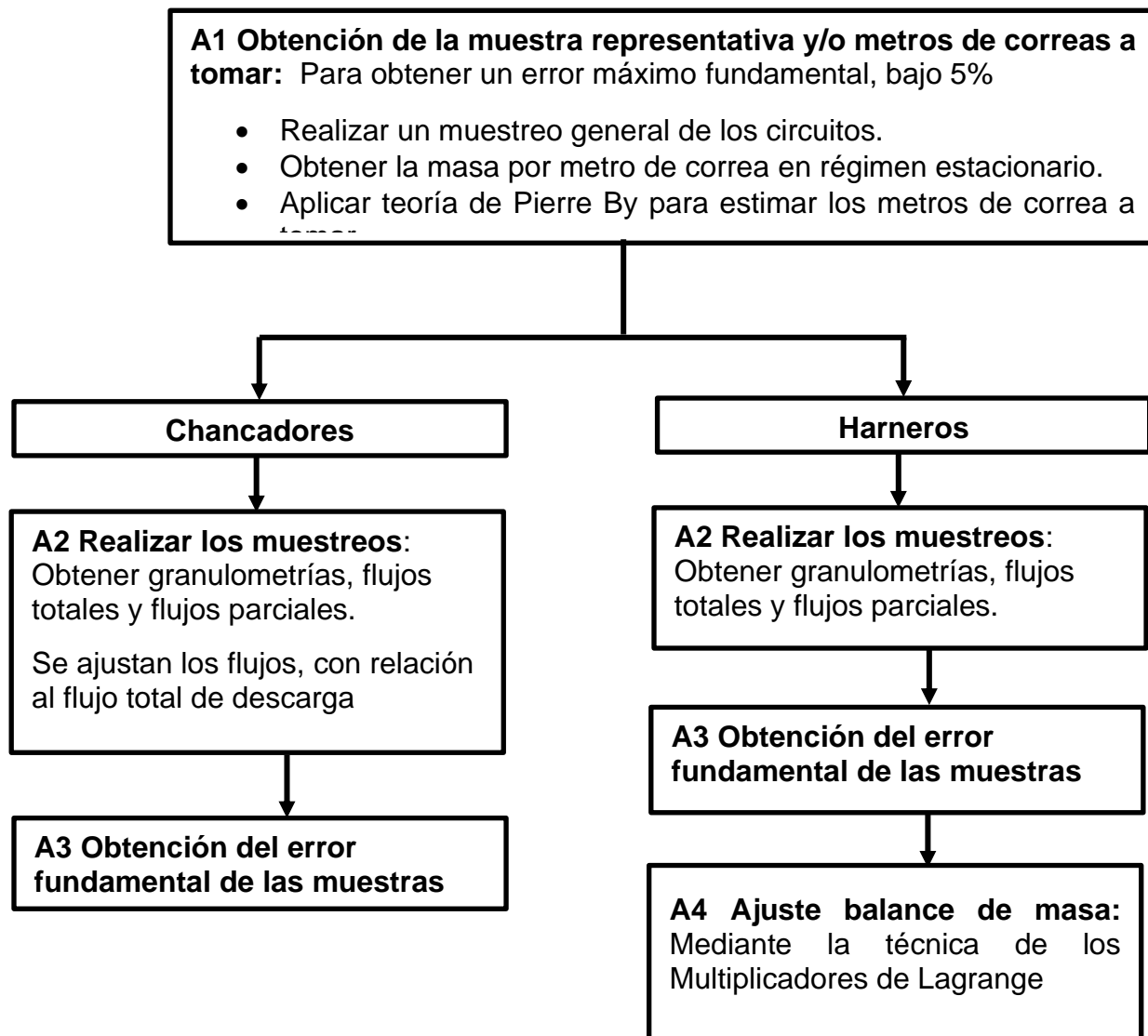


Figura A.1 Diagrama de flujo protocolo de muestreo.

A.1. Cálculo del tamaño de la muestra representativa

Se debió determinar cuantos metros de correo mínimo se debían tomar a los circuitos para que las muestras fueran representativas y obtener un error fundamental máximo de un 5 %. Para lo anterior se realizó un muestreo de todas las correas del circuito, asumiendo que la condición más representativa era cuando el sistema se encontraba en régimen estacionario y con alimentación nominal.

Utilizando la teoría de error de Pierre Gy, se aplicó la ecuación A.1 para calcular la muestra representativa " M_S ". Para el caso de este análisis se utiliza $M_L \rightarrow \infty$ aplicando la Ecuación A.3.

Detenido los circuitos secundarios y terciarios con las correas cargadas, para cada correa se tomó un metro de correa, estas muestras fueron ajustadas por el método de los Multiplicadores de Lagrange obteniéndose la masa " M_m ". Dividiendo " M_S " por " M_m " se obtuvo " L_s ", los metros de correa mínimos a tomar para obtener la muestra representativa.

$$S^2 = K * d^3 * \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right) \quad (A.1)$$

Donde

$$Error = 2 * S \quad (A.2)$$

Con $M_L \rightarrow \infty$

$$S^2 = \frac{K * d^3}{M_S} \quad (A.3)$$

$$M_S = \frac{K * d^3}{S^2} \quad (A.4)$$

$$L_s = \frac{M_S}{M_{ma}} \quad (A.5)$$

Donde

- M_L = masa del lote en gramos.
- M_S = masa de la muestra representativa en gramos.
- M_m = masa de un metro de cinta.
- L_s = Largo de muestra representativa en metros.
- d = diámetro máximo de partículas en cm. (se utiliza d_{95} , diámetro correspondiente al 95% pasante acumulado), también se llama diámetro nominal.

•

$$K = c * g * f * l \text{ contante} \quad (A.6)$$

Con:

- c = factor de composición mineralógica (gr/cm³)
- g = factor de distribución de tamaño (sin dimensión)
- f = factor de forma de las partículas (sin dimensión)
- l = factor de liberación ($0 < l < 1$, sin dimensión)

A.1.2. Obtención de la contante K

Para obtener la contante K se determinaron los parámetros de la Formula A.6, teniendo que:

A.1.2.1. Factor de composición mineralógica (gr/cm³)

$$c = \left(\frac{1-a_L}{a_L} \right) * \left(\frac{1-a_L}{g_1} + a_L * g_2 \right) \quad [\text{gr/cm}^3] \quad (A.7)$$

a_L = proporción en peso del componente crítico o con valor comercial (mena)

g_1 = peso específico del componente crítico (mena)

g_2 = peso específico de la ganga

Para esta expresión se puede aproximar $c = \left(\frac{g_1}{a_L}\right)$, si a_L es pequeño, como es el caso de la ley de cobre del mineral de barrial Seco que es 0,9%.

Teniendo que:

$$a_L = 0,9\%$$

$$g_1 = 3,76 \text{ g/cm}^3 \text{ (atacamita).}$$

Se obtiene

$$c = \frac{g_1}{a_L} = 2,39 \cdot 10^{-3} \text{ [gr/cm}^3 \text{]}$$

A.1.2.2. Factor de distribución de tamaño (sin dimensión)

El factor de distribución de tamaño “g” depende de d y de d’ con:

$g = 0,50$	si	$2 < d/d' < 4$
$g = 0,75$	si	$1 < d/d' < 2$
$g = 1,00$	si	$d/d' = 1$
$g = 0,25$	si	$d/d' > 4$

d’ es el diámetro de las partículas mínimas, medido en cm. (en la práctica se utiliza d_{05}).

A.1.2.3. Factor de forma de las partículas (sin dimensión)

Este factor está definido por:

$$f = \frac{(\text{volumen de la partícula})}{d^3} \quad (\text{A.8})$$

Si se supone que las partículas son aproximadamente esféricas, entonces

$$f = \frac{\left(\pi \cdot \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3\right)}{d^3} = \frac{\pi}{6} = 0,52 \quad (\text{A.9})$$

Se recomienda utilizar el factor $f = 0,5$

A.1.2.4. Factor de liberación ($0 < I < 1$, sin dimensión)

Sea:

d = tamaño máximo de partícula.

d_l = tamaño de liberación del componente crítico.

En nuestro caso d_l es $75 \mu\text{m}$ por ser mineral cobre

Se recomienda utilizar.

$$I = 1 \quad \text{sí } d_l > d \quad (\text{A.10})$$

$$I = \left(\frac{d_l}{d}\right)^b \quad \text{sí } d_l < d \quad (\text{A.11})$$

La determinación del coeficiente b requiere experimentos de muestreo. Para este caso se utilizó la recomendación del texto Introducción al Muestreo Minero de Marco Antonio Alfaro Sironvalle con $b=1,2$.

A.1.3. Cálculo de la muestra representativa para un error de 5%

Utilizando lo anterior se obtuvo la masa representativa para un error 5% M_S . Dividiendo esta masa por M_m , obtenemos los metros de correas representativos de todas las cintas, LS. Estos cálculos se resumen en la Tabla A.1.1. Como los largos calculados son menores o cercanos a 1 m, se tomó un metro de correa en todas las cintas, para obtener la masa representativa.

Tabla A.1. Cálculo de la muestra representativa

Correa	d	d'	d_l	d/d'	b	aL	g_1	c	l	g	f	K	Error	S^2	MS	Ma	L
	cm	cm	cm			%	g/c m ³	g/cm ³							kg	kg	m
CT-01	8,7	0,01	0,01	907	1	0,9	4	417,8	0,0002	0,25	0,5	0,011	0,05	0,0006	11,6	34,2	0,3
CT-02	7,5	0,01	0,01	808	1	0,9	4	417,8	0,0003	0,25	0,5	0,013	0,05	0,0006	8,8	60,3	0,1
CT-04	8,8	0,98	0,01	9	1	0,9	4	417,8	0,0002	0,25	0,5	0,011	0,05	0,0006	11,8	33,6	0,4
CT-05	2,8	0,01	0,01	393	1	0,9	4	417,8	0,0008	0,25	0,5	0,042	0,05	0,0006	1,5	48,6	0,0
CT-06	2,94	0,01	0,01	381	1	0,9	4	417,8	0,0008	0,25	1,5	0,121	0,05	0,0006	4,9	38,4	0,1
CT-08	2,50	0,01	0,01	293	1	0,9	4	417,8	0,0009	0,25	2,5	0,245	0,05	0,0006	6,1	61,0	0,1
CT-10	3,31	0,03	0,01	122	1	0,9	4	417,8	0,0007	0,25	3,5	0,245	0,05	0,0006	14,2	22,1	0,4
CT-12	1,52	0,01	0,01	261	1	0,9	4	417,8	0,0017	0,25	4,5	0,800	0,05	0,0006	4,5	51,8	0,1

A.2. Muestreo cintas para determinar parámetros de Whiten

En las tablas siguientes se pueden observar las muestras tomadas según lo indicado en el capítulo 3 para determinar los parámetros Whiten para los harneros y chancadores.

Como resumen las muestras tomadas se resumen según la siguiente Tabla A.2.

Tabla A.2. Resumen listado de muestreos

Muestreos para obtención Variables de Whiten							
		Chancador secundario			Chancador Terciario		
Muestreos números	Frecuencia alimentadora	Css	Alim.	Descarga	Css	Alim.	Descarga
N°	Hz	mm	Correa muestreada	Correa muestreada	mm	Correa muestreada	Correa muestreada
1	42	22	100-CT-004	100-CT-002			
2	30	25	100-CT-004	100-CT-002			
3	35	25	100-CT-004	100-CT-002			
4	37	25	100-CT-004	100-CT-002			
5	39	25	100-CT-004	100-CT-002			
6	42	25	100-CT-004	100-CT-002			
7	30	28	100-CT-004	100-CT-002			
8	35	28	100-CT-004	100-CT-002			
9	37	28	100-CT-004	100-CT-002			
10	39	28	100-CT-004	100-CT-002			
11	42	28	100-CT-004	100-CT-002			
12	42	31	100-CT-004	100-CT-002			
1	42				8	100-CT-010	100-CT-008
2	30				12	100-CT-010	100-CT-008
3	35				12	100-CT-010	100-CT-008
4	37				12	100-CT-010	100-CT-008
5	39				12	100-CT-010	100-CT-008
6	42				12	100-CT-010	100-CT-008
7	30				16	100-CT-010	100-CT-008
8	35				16	100-CT-010	100-CT-008
9	37				16	100-CT-010	100-CT-008
10	39				16	100-CT-010	100-CT-008
11	42				16	100-CT-010	100-CT-008
12	42				19	100-CT-010	100-CT-008
		Harnero Secundario			Harnero Terciario		
Muestreos números	Frecuencia alimentadora	Alim.	Sobre tamaño	Bajo tamaño	Alim.	Sobre tamaño	Bajo tamaño
N°	Hz	mm	Correa muestreada	Correa muestreada	mm	Correa muestreada	Correa muestreada
1	27	100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012			
2	30	100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012			
3	33	100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012			
4	36	100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012			
5	39	100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012			
1	27				100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012
2	30				100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012
3	33				100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012
4	36				100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012
5	39				100-CT-008	100-CT-010	100-CT-012

A.2.1. Muestreo chancador secundario sin ajustar

Tabla A.3 Chancado secundario muestreo sin ajustar N° 1.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestreo		1									
Flujo	t/h	124,35					107,70				
Peso	grs	22517					15754				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	9586	42,6	42,6	57,4	52,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	4839	21,5	64,1	35,9	26,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	7446	33,1	97,1	2,9	41,1	1553	9,9	9,9	90,1	10,6
3/4	19000	394	1,7	98,9	1,1	2,2	4273	27,1	37,0	63,0	29,2
5/8	15875	23	0,1	99,0	1,0	0,1	1834	11,6	48,6	51,4	12,5
1/2	12500	34	0,2	99,1	0,9	0,2	2254	14,3	62,9	37,1	15,4
3/8	9500	29	0,1	99,3	0,7	0,2	1226	7,8	70,7	29,3	8,4
1/4	6300	18	0,1	99,3	0,7	0,1	1221	7,7	78,5	21,5	8,3
6	3350	16	0,1	99,4	0,6	0,1	1170	7,4	85,9	14,1	8,0
12	1700	11	0,0	99,5	0,5	0,1	779	4,9	90,8	9,2	5,3
30	600	19	0,1	99,5	0,5	0,1	644	4,1	94,9	5,1	4,4
50	300	14	0,1	99,6	0,4	0,1	240	1,5	96,4	3,6	1,6
70	212	11	0,0	99,7	0,3	0,1	93	0,6	97,0	3,0	0,6
-70	150	77	0,3	100,0	0,0	0,4	467	3,0	100,0	0,0	3,2

Tabla A.4 Chancado secundario muestreo sin ajustar N° 2.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		2									
Flujo	Ton/h	48,92					51,37				
Peso	grs	8858					7514				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	6050	68,3	68,3	31,7	33,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1146	12,9	81,2	18,8	6,3	93	1,2	1,2	98,8	0,6
1	25000	1511	17,1	98,3	1,7	8,3	2766	36,8	38,0	62,0	18,9
3/4	19000	74	0,8	99,1	0,9	0,4	1821	24,2	62,3	37,7	12,4
5/8	15875	10	0,1	99,2	0,8	0,1	511	6,8	69,1	30,9	3,5
1/2	12500	8	0,1	99,3	0,7	0,0	532	7,1	76,2	23,8	3,6
3/8	9500	20	0,2	99,6	0,4	0,1	362	4,8	81,0	19,0	2,5
1/4	6300	6	0,1	99,6	0,4	0,0	393	5,2	86,2	13,8	2,7
6	3350	5	0,1	99,7	0,3	0,0	341	4,5	90,7	9,3	2,3
12	1700	4	0,0	99,7	0,3	0,0	224	3,0	93,7	6,3	1,5
30	600	4	0,0	99,8	0,2	0,0	193	2,6	96,3	3,7	1,3
50	300	3	0,0	99,8	0,2	0,0	83	1,1	97,4	2,6	0,6
70	212	4	0,0	99,9	0,1	0,0	31	0,4	97,8	2,2	0,2
-70	150	13	0,1	100,0	0,0	0,1	164	2,2	100,0	0,0	1,1

Tabla A.5 Chancado secundario muestreo sin ajustar N°3

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		3									
Flujo	Ton/h	85,95					76,40				
Peso	grs	15564					11175				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	10503	67,5	67,5	32,5	58,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1550	10,0	77,4	22,6	8,6	64	0,6	0,6	99,4	0,4
1	25000	3226	20,7	98,2	1,8	17,8	3001	26,9	27,4	72,6	20,5
3/4	19000	159	1,0	99,2	0,8	0,9	2944	26,3	53,8	46,2	20,1
5/8	15875	9	0,1	99,2	0,8	0,0	1056	9,4	63,2	36,8	7,2
1/2	12500	20	0,1	99,4	0,6	0,1	1008	9,0	72,2	27,8	6,9
3/8	9500	9	0,1	99,4	0,6	0,0	706	6,3	78,6	21,4	4,8
1/4	6300	13	0,1	99,5	0,5	0,1	560	5,0	83,6	16,4	3,8
6	3350	10	0,1	99,6	0,4	0,1	568	5,1	88,7	11,3	3,9
12	1700	7	0,0	99,6	0,4	0,0	400	3,6	92,2	7,8	2,7
30	600	10	0,1	99,7	0,3	0,1	362	3,2	95,5	4,5	2,5
50	300	7	0,0	99,7	0,3	0,0	152	1,4	96,8	3,2	1,0
70	212	4	0,0	99,8	0,2	0,0	59	0,5	97,4	2,6	0,4
-70	150	37	0,2	100,0	0,0	0,2	295	2,6	100,0	0,0	2,0

Tabla A.6 Chancado secundario muestreo sin ajustar N°4

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		4									
Flujo	Ton/h	110,41					96,05				
Peso	grs	19993					14050				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	7358	36,8	36,8	63,2	40,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	2216	11,1	47,9	52,1	12,2	171	1,2	1,2	98,8	1,2
1	25000	9905	49,5	97,4	2,6	54,7	3774	26,9	28,1	71,9	25,8
3/4	19000	368	1,8	99,3	0,7	2,0	4090	29,1	57,2	42,8	28,0
5/8	15875	9	0,0	99,3	0,7	0,0	1276	9,1	66,3	33,7	8,7
1/2	12500	6	0,0	99,3	0,7	0,0	867	6,2	72,4	27,6	5,9
3/8	9500	18	0,1	99,4	0,6	0,1	999	7,1	79,6	20,4	6,8
1/4	6300	15	0,1	99,5	0,5	0,1	913	6,5	86,0	14,0	6,2
6	3350	12	0,1	99,6	0,4	0,1	717	5,1	91,2	8,8	4,9
12	1700	6	0,0	99,6	0,4	0,0	420	3,0	94,1	5,9	2,9
30	600	10	0,1	99,6	0,4	0,1	334	2,4	96,5	3,5	2,3
50	300	8	0,0	99,7	0,3	0,0	139	1,0	97,5	2,5	0,9
70	212	4	0,0	99,7	0,3	0,0	57	0,4	97,9	2,1	0,4
-70	150	58	0,3	100,0	0,0	0,3	293	2,1	100,0	0,0	2,0

Tabla A.7 Chancado secundario muestreo sin ajustar N°5.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		5									
Flujo	Ton/h	123,10					112,2				
Peso	grs	22291					16409				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	2763	12,4	12,4	87,6	15,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	5763	25,9	38,2	61,8	31,8	125	0,8	0,8	99,2	0,9
1	25000	12774	57,3	95,6	4,4	70,5	5223	31,8	32,6	67,4	35,7
3/4	19000	767	3,4	99,0	1,0	4,2	3834	23,4	56,0	44,0	26,2
5/8	15875	50	0,2	99,2	0,8	0,3	1636	10,0	65,9	34,1	11,2
1/2	12500	11	0,0	99,3	0,7	0,1	958	5,8	71,8	28,2	6,5
3/8	9500	15	0,1	99,3	0,7	0,1	1156	7,0	78,8	21,2	7,9
1/4	6300	17	0,1	99,4	0,6	0,1	1142	7,0	85,8	14,2	7,8
6	3350	14	0,1	99,5	0,5	0,1	855	5,2	91,0	9,0	5,8
12	1700	10	0,0	99,5	0,5	0,1	513	3,1	94,1	5,9	3,5
30	600	14	0,1	99,6	0,4	0,1	421	2,6	96,7	3,3	2,9
50	300	11	0,0	99,6	0,4	0,1	154	0,9	97,6	2,4	1,1
70	212	6	0,0	99,7	0,3	0,0	58	0,4	98,0	2,0	0,4
-70	150	76	0,3	100,0	0,0	0,4	334	2,0	100,0	0,0	2,3

Tabla A.8. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°6.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		6									
Flujo	Ton/h	149,98					116,19				
Peso	grs	27159					16996				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5558	20,5	20,5	79,5	30,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	4913	18,1	38,6	61,4	27,1	579	3,4	3,4	96,6	4,0
1	25000	15938	58,7	97,2	2,8	88,0	3865	22,7	26,1	73,9	26,4
3/4	19000	455	1,7	98,9	1,1	2,5	4810	28,3	54,4	45,6	32,9
5/8	15875	13	0,0	99,0	1,0	0,1	1539	9,1	63,5	36,5	10,5
1/2	12500	32	0,1	99,1	0,9	0,2	1579	9,3	72,8	27,2	10,8
3/8	9500	29	0,1	99,2	0,8	0,2	979	5,8	78,6	21,4	6,7
1/4	6300	16	0,1	99,2	0,8	0,1	951	5,6	84,1	15,9	6,5
6	3350	15	0,1	99,3	0,7	0,1	926	5,4	89,6	10,4	6,3
12	1700	15	0,1	99,4	0,6	0,1	574	3,4	93,0	7,0	3,9
30	600	19	0,1	99,4	0,6	0,1	450	2,7	95,6	4,4	3,1
50	300	18	0,1	99,5	0,5	0,1	182	1,1	96,7	3,3	1,2
70	212	11	0,0	99,5	0,5	0,1	74	0,4	97,1	2,9	0,5
-70	150	127	0,5	100,0	0,0	0,7	488	2,9	100,0	0,0	3,3

Tabla A.9. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°7.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		7									
Flujo	Ton/h	69,84					55,47				
Peso	grs	12647					8114				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	7906	62,5	62,5	37,5	43,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	2100	16,6	79,1	20,9	11,6	177	2,2	2,2	97,8	1,2
1	25000	2472	19,5	98,7	1,3	13,7	3388	41,8	43,9	56,1	23,2
3/4	19000	53	0,4	99,1	0,9	0,3	1860	22,9	66,9	33,1	12,7
5/8	15875	14	0,1	99,2	0,8	0,1	462	5,7	72,6	27,4	3,2
1/2	12500	13	0,1	99,3	0,7	0,1	492	6,1	78,6	21,4	3,4
3/8	9500	4	0,0	99,3	0,7	0,0	445	5,5	84,1	15,9	3,0
1/4	6300	6	0,0	99,4	0,6	0,0	382	4,7	88,8	11,2	2,6
6	3350	11	0,1	99,5	0,5	0,1	269	3,3	92,1	7,9	1,8
12	1700	6	0,0	99,5	0,5	0,0	191	2,4	94,5	5,5	1,3
30	600	9	0,1	99,6	0,4	0,0	170	2,1	96,6	3,4	1,2
50	300	7	0,1	99,6	0,4	0,0	72	0,9	97,5	2,5	0,5
70	212	3	0,0	99,7	0,3	0,0	30	0,4	97,8	2,2	0,2
-70	150	43	0,3	100,0	0,0	0,2	176	2,2	100,0	0,0	1,2

Tabla A.10. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°8.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		8									
Flujo	Ton/h	63,31					83,43				
Peso	grs	11465					12204				
Vel.	m/s	1,534					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5252	45,8	45,8	54,2	29,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3056	26,7	72,5	27,5	16,9	584	4,8	4,8	95,2	4,0
1	25000	2860	24,9	97,4	2,6	15,8	4515	37,0	41,8	58,2	30,9
3/4	19000	147	1,3	98,7	1,3	0,8	2767	22,7	64,5	35,5	18,9
5/8	15875	30	0,3	99,0	1,0	0,2	846	6,9	71,4	28,6	5,8
1/2	12500	3	0,0	99,0	1,0	0,0	756	6,2	77,6	22,4	5,2
3/8	9500	17	0,1	99,1	0,9	0,1	564	4,6	82,2	17,8	3,9
1/4	6300	13	0,1	99,2	0,8	0,1	508	4,2	86,4	13,6	3,5
6	3350	11	0,1	99,3	0,7	0,1	516	4,2	90,6	9,4	3,5
12	1700	8	0,1	99,4	0,6	0,0	335	2,7	93,3	6,7	2,3
30	600	10	0,1	99,5	0,5	0,1	301	2,5	95,8	4,2	2,1
50	300	7	0,1	99,6	0,4	0,0	133	1,1	96,9	3,1	0,9
70	212	4	0,0	99,6	0,4	0,0	56	0,5	97,4	2,6	0,4
-70	150	47	0,4	100,0	0,0	0,3	323	2,6	100,0	0,0	2,2

Tabla A.11. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°9.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		9									
Flujo	Ton/h	82,60					123,56				
Peso	grs	14957					18074				
Vel.	m/s	1,53					1,90				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	3535	23,6	23,6	76,4	19,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	2803	18,7	42,4	57,6	15,5	359	2,0	2,0	98,0	2,5
1	25000	7961	53,2	95,6	4,4	44,0	6976	38,6	40,6	59,4	47,7
3/4	19000	466	3,1	98,7	1,3	2,6	4110	22,7	63,3	36,7	28,1
5/8	15875	11	0,1	98,8	1,2	0,1	1523	8,4	71,7	28,3	10,4
1/2	12500	13	0,1	98,9	1,1	0,1	1073	5,9	77,7	22,3	7,3
3/8	9500	11	0,1	99,0	1,0	0,1	876	4,8	82,5	17,5	6,0
1/4	6300	16	0,1	99,1	0,9	0,1	874	4,8	87,4	12,6	6,0
6	3350	16	0,1	99,2	0,8	0,1	743	4,1	91,5	8,5	5,1
12	1700	11	0,1	99,2	0,8	0,1	481	2,7	94,1	5,9	3,3
30	600	18	0,1	99,4	0,6	0,1	393	2,2	96,3	3,7	2,7
50	300	13	0,1	99,4	0,6	0,1	169	0,9	97,2	2,8	1,2
70	212	7	0,0	99,5	0,5	0,0	72	0,4	97,6	2,4	0,5
-70	150	76	0,5	100,0	0,0	0,4	426	2,4	100,0	0,0	2,9

Tabla A.12. Chancado Secundario Muestreo sin ajustar N°10.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		10									
Flujo	Ton/h	125,26					131,27				
Peso	grs	22682					19202				
Vel.	m/s	1,53					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	7832	34,5	34,5	65,5	43,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	6081	26,8	61,3	38,7	33,6	583	3,0	3,0	97,0	4,0
1	25000	8352	36,8	98,2	1,8	46,1	6968	36,3	39,3	60,7	47,6
3/4	19000	230	1,0	99,2	0,8	1,3	3863	20,1	59,4	40,6	26,4
5/8	15875	3	0,0	99,2	0,8	0,0	1619	8,4	67,9	32,1	11,1
1/2	12500	17	0,1	99,3	0,7	0,1	1335	7,0	74,8	25,2	9,1
3/8	9500	18	0,1	99,3	0,7	0,1	1124	5,9	80,7	19,3	7,7
1/4	6300	12	0,1	99,4	0,6	0,1	1079	5,6	86,3	13,7	7,4
6	3350	13	0,1	99,5	0,5	0,1	973	5,1	91,4	8,6	6,7
12	1700	11	0,0	99,5	0,5	0,1	568	3,0	94,3	5,7	3,9
30	600	18	0,1	99,6	0,4	0,1	178	0,9	95,2	4,8	1,2
50	300	13	0,1	99,6	0,4	0,1	72	0,4	95,6	4,4	0,5
70	212	7	0,0	99,7	0,3	0,0	451	2,3	98,0	2,0	3,1
-70	150	75	0,3	100,0	0,0	0,4	390	2,0	100,0	0,0	2,7

Tabla A.13. Chancado secundario muestreo sin ajustar N°11.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		11									
Flujo	Ton/h	152,94					132,08				
Peso	grs	27694					19320				
Vel.	m/s	1,53					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5521	19,9	19,9	80,1	30,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	4216	15,2	35,2	64,8	23,3	110	0,6	0,6	99,4	0,8
1	25000	17371	62,7	97,9	2,1	95,9	7492	38,8	39,3	60,7	51,2
3/4	19000	276	1,0	98,9	1,1	1,5	4450	23,0	62,4	37,6	30,4
5/8	15875	19	0,1	98,9	1,1	0,1	1530	7,9	70,3	29,7	10,5
1/2	12500	12	0,0	99,0	1,0	0,1	1341	6,9	77,2	22,8	9,2
3/8	9500	8	0,0	99,0	1,0	0,0	1103	5,7	83,0	17,0	7,5
1/4	6300	28	0,1	99,1	0,9	0,2	951	4,9	87,9	12,1	6,5
6	3350	27	0,1	99,2	0,8	0,1	844	4,4	92,2	7,8	5,8
12	1700	20	0,1	99,3	0,7	0,1	483	2,5	94,7	5,3	3,3
30	600	26	0,1	99,4	0,6	0,1	406	2,1	96,8	3,2	2,8
50	300	22	0,1	99,5	0,5	0,1	168	0,9	97,7	2,3	1,1
70	212	14	0,1	99,5	0,5	0,1	66	0,3	98,0	2,0	0,4
-70	150	134	0,5	100,0	0,0	0,7	377	2,0	100,0	0,0	2,6

Tabla A.14. Chancado secundario muestras sin ajustar N°12.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		12									
Flujo	Ton/h	147,66					112,46				
Peso	grs	26739					16450				
Vel.	m/s	1,53					1,90				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5110	19,1	19,1	80,9	28,2	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	7568	28,3	47,4	52,6	41,8	583	3,5	3,5	96,5	4,0
1	25000	13643	51,0	98,4	1,6	75,3	7553	45,9	49,5	50,5	51,6
3/4	19000	191	0,7	99,2	0,8	1,1	2975	18,1	67,5	32,5	20,3
5/8	15875	25	0,1	99,2	0,8	0,1	1138	6,9	74,5	25,5	7,8
1/2	12500	7	0,0	99,3	0,7	0,0	1059	6,4	80,9	19,1	7,2
3/8	9500	16	0,1	99,3	0,7	0,1	701	4,3	85,2	14,8	4,8
1/4	6300	15	0,1	99,4	0,6	0,1	730	4,4	89,6	10,4	5,0
6	3350	14	0,1	99,4	0,6	0,1	622	3,8	93,4	6,6	4,3
12	1700	11	0,0	99,5	0,5	0,1	389	2,4	95,7	4,3	2,7
30	600	17	0,1	99,5	0,5	0,1	307	1,9	97,6	2,4	2,1
50	300	14	0,1	99,6	0,4	0,1	114	0,7	98,3	1,7	0,8
70	212	8	0,0	99,6	0,4	0,0	44	0,3	98,6	1,4	0,3
-70	150	100	0,4	100,0	0,0	0,6	235	1,4	100,0	0,0	1,6

A.2.2. Muestreo chancador terciario sin ajustar

Tabla A.15 Chancado terciario muestreo sin ajustar N°1.

Muestra		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
1											
Flujo	t/h	95,23					101,20				
Peso	g	17873					17068				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	4159	23,3	23,3	76,7	22,2	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	8225	46,0	69,3	30,7	43,8	39	0,2	0,2	99,8	0,2
5/8	15875	3578	20,0	89,3	10,7	19,1	125	0,7	1,0	99,0	0,7
1/2	12500	1486	8,3	97,6	2,4	7,9	410	2,4	3,4	96,6	2,4
3/8	9500	302	1,7	99,3	0,7	1,6	2123	12,4	15,8	84,2	12,6
1/4	6300	24	0,1	99,4	0,6	0,1	3484	20,4	36,2	63,8	20,7
6	3350	10	0,1	99,5	0,5	0,1	3526	20,7	56,9	43,1	20,9
12	1700	5	0,0	99,5	0,5	0,0	2392	14,0	70,9	29,1	14,2
30	600	7	0,0	99,6	0,4	0,0	2201	12,9	83,8	16,2	13,0
50	300	6	0,0	99,6	0,4	0,0	884	5,2	89,0	11,0	5,2
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	350	2,1	91,0	9,0	2,1
-70	150	67	0,4	100,0	0,0	0,4	1534	9,0	100,0	0,0	9,1

Tabla A.16. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°2.

Muestra		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
2											
Flujo	t/h	115,76					75,10				
Peso	g	21727					12666				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5062	23,3	23,3	76,7	27,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	9574	44,1	67,4	32,6	51,0	779	6,2	6,2	93,8	4,6
5/8	15875	4114	18,9	86,3	13,7	21,9	1431	11,3	17,4	82,6	8,5
1/2	12500	2499	11,5	97,8	2,2	13,3	2787	22,0	39,5	60,5	16,5
3/8	9500	299	1,4	99,2	0,8	1,6	2480	19,6	59,0	41,0	14,7
1/4	6300	51	0,2	99,4	0,6	0,3	1777	14,0	73,1	26,9	10,5
6	3350	19	0,1	99,5	0,5	0,1	1374	10,9	83,9	16,1	8,1
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	796	6,3	90,2	9,8	4,7
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,0	587	4,6	94,8	5,2	3,5
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	218	1,7	96,6	3,4	1,3
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	81	0,6	97,2	2,8	0,5
-70	150	78	0,4	100,0	0,0	0,4	355	2,8	100,0	0,0	2,1

Tabla A.17. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°3.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		3									
Flujo	t/h	115,76					111,11				
Peso	g	21727					18740				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5062	23,3	23,3	76,7	27,0	26	0,1	0,1	99,9	0,2
3/4	19000	9574	44,1	67,4	32,6	51,0	618	3,3	3,4	96,6	3,7
5/8	15875	4114	18,9	86,3	13,7	21,9	1994	10,6	14,1	85,9	11,8
1/2	12500	2499	11,5	97,8	2,2	13,3	3147	16,8	30,9	69,1	18,7
3/8	9500	299	1,4	99,2	0,8	1,6	4001	21,4	52,2	47,8	23,7
1/4	6300	51	0,2	99,4	0,6	0,3	3091	16,5	68,7	31,3	18,3
6	3350	19	0,1	99,5	0,5	0,1	2542	13,6	82,3	17,7	15,1
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	1282	6,8	89,1	10,9	7,6
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,0	934	5,0	94,1	5,9	5,5
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	341	1,8	95,9	4,1	2,0
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	133	0,7	96,6	3,4	0,8
-70	150	78	0,4	100,0	0,0	0,4	630	3,4	100,0	0,0	3,7

Tabla A.18. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°4.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		4									
Flujo	t/h	115,76					137,27				
Peso	g	21727					23152				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5062	23,3	23,3	76,7	27,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	9574	44,1	67,4	32,6	51,0	338	1,5	1,5	98,5	2,0
5/8	15875	4114	18,9	86,3	13,7	21,9	1628	7,0	8,5	91,5	9,7
1/2	12500	2499	11,5	97,8	2,2	13,3	4570	19,7	28,2	71,8	27,1
3/8	9500	299	1,4	99,2	0,8	1,6	4287	18,5	46,7	53,3	25,4
1/4	6300	51	0,2	99,4	0,6	0,3	2732	11,8	58,5	41,5	16,2
6	3350	19	0,1	99,5	0,5	0,1	3238	14,0	72,5	27,5	19,2
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	2193	9,5	82,0	18,0	13,0
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,0	1855	8,0	90,0	10,0	11,0
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	700	3,0	93,0	7,0	4,2
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	278	1,2	94,2	5,8	1,7
-70	150	78	0,4	100,0	0,0	0,4	1332	5,8	100,0	0,0	7,9

Tabla A.19. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°5.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		5									
Flujo	t/h	115,76					162,98				
Peso	g	21727					27487				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5062	23,3	23,3	76,7	27,0	460	1,7	1,7	98,3	2,7
3/4	19000	9574	44,1	67,4	32,6	51,0	1428	5,2	6,9	93,1	8,5
5/8	15875	4114	18,9	86,3	13,7	21,9	4254	15,5	22,3	77,7	25,2
1/2	12500	2499	11,5	97,8	2,2	13,3	4353	15,8	38,2	61,8	25,8
3/8	9500	299	1,4	99,2	0,8	1,6	3156	11,5	49,7	50,3	18,7
1/4	6300	51	0,2	99,4	0,6	0,3	3767	13,7	63,4	36,6	22,3
6	3350	19	0,1	99,5	0,5	0,1	3939	14,3	77,7	22,3	23,4
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	2362	8,6	86,3	13,7	14,0
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,0	1721	6,3	92,6	7,4	10,2
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	631	2,3	94,9	5,1	3,7
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	239	0,9	95,7	4,3	1,4
-70	150	78	0,4	100,0	0,0	0,4	1176	4,3	100,0	0,0	7,0

Tabla A.20. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°6.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		6									
Flujo	t/h	115,76					63,31				
Peso	g	21727					10677				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5062	23,3	23,3	76,7	27,0	66	0,6	0,6	99,4	0,4
3/4	19000	9574	44,1	67,4	32,6	51,0	889	8,3	8,9	91,1	5,3
5/8	15875	4114	18,9	86,3	13,7	21,9	1625	15,2	24,2	75,8	9,6
1/2	12500	2499	11,5	97,8	2,2	13,3	2467	23,1	47,3	52,7	14,6
3/8	9500	299	1,4	99,2	0,8	1,6	1725	16,2	63,4	36,6	10,2
1/4	6300	51	0,2	99,4	0,6	0,3	1235	11,6	75,0	25,0	7,3
6	3350	19	0,1	99,5	0,5	0,1	832	7,8	82,8	17,2	4,9
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	504	4,7	87,5	12,5	3,0
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,0	461	4,3	91,8	8,2	2,7
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	224	2,1	93,9	6,1	1,3
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	101	0,9	94,9	5,1	0,6
-70	150	78	0,4	100,0	0,0	0,4	547	5,1	100,0	0,0	3,2

Tabla A.21. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°7.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		7									
Flujo	t/h	115,76					83,77				
Peso	g	21727					14129				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5062	23,3	23,3	76,7	27,0	426	3,0	3,0	97,0	2,5
3/4	19000	9574	44,1	67,4	32,6	51,0	4208	29,8	32,8	67,2	25,0
5/8	15875	4114	18,9	86,3	13,7	21,9	4384	31,0	63,8	36,2	26,0
1/2	12500	2499	11,5	97,8	2,2	13,3	3219	22,8	86,6	13,4	19,1
3/8	9500	299	1,4	99,2	0,8	1,6	1165	8,2	94,9	5,1	6,9
1/4	6300	51	0,2	99,4	0,6	0,3	235	1,7	96,5	3,5	1,4
6	3350	19	0,1	99,5	0,5	0,1	128	0,9	97,4	2,6	0,8
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	75	0,5	98,0	2,0	0,4
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,0	71	0,5	98,5	1,5	0,4
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	38	0,3	98,7	1,3	0,2
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	18	0,1	98,9	1,1	0,1
-70	150	78	0,4	100,0	0,0	0,4	162	1,1	100,0	0,0	1,0

Tabla A.22 Chancado terciario muestreo sin ajustar N°8.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		8									
Flujo	t/h	145,59					110,06				
Peso	g	27325					18563				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	7919	29,0	29,0	71,0	42,2	196	1,1	1,1	98,9	1,2
3/4	19000	12340	45,2	74,1	25,9	65,7	2328	12,5	13,6	86,4	13,8
5/8	15875	4081	14,9	89,1	10,9	21,7	3644	19,6	33,2	66,8	21,6
1/2	12500	2479	9,1	98,1	1,9	13,2	3600	19,4	52,6	47,4	21,3
3/8	9500	305	1,1	99,3	0,7	1,6	3079	16,6	69,2	30,8	18,3
1/4	6300	48	0,2	99,4	0,6	0,3	1923	10,4	79,6	20,4	11,4
6	3350	16	0,1	99,5	0,5	0,1	1598	8,6	88,2	11,8	9,5
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	823	4,4	92,6	7,4	4,9
30	600	10	0,0	99,6	0,4	0,1	578	3,1	95,7	4,3	3,4
50	300	10	0,0	99,6	0,4	0,1	225	1,2	96,9	3,1	1,3
70	212	7	0,0	99,6	0,4	0,0	88	0,5	97,4	2,6	0,5
-70	150	100	0,4	100,0	0,0	0,5	482	2,6	100,0	0,0	2,9

Tabla A.23. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°9.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		9									
Flujo	t/h	145,59					152,93				
Peso	g	27325					25792				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	7919	29,0	29,0	71,0	42,2	149	0,6	0,6	99,4	0,9
3/4	19000	12340	45,2	74,1	25,9	65,7	3025	11,7	12,3	87,7	17,9
5/8	15875	4081	14,9	89,1	10,9	21,7	4620	17,9	30,2	69,8	27,4
1/2	12500	2479	9,1	98,1	1,9	13,2	4945	19,2	49,4	50,6	29,3
3/8	9500	305	1,1	99,3	0,7	1,6	4082	15,8	65,2	34,8	24,2
1/4	6300	48	0,2	99,4	0,6	0,3	3152	12,2	77,4	22,6	18,7
6	3350	16	0,1	99,5	0,5	0,1	2673	10,4	87,8	12,2	15,8
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	1265	4,9	92,7	7,3	7,5
30	600	10	0,0	99,6	0,4	0,1	847	3,3	96,0	4,0	5,0
50	300	10	0,0	99,6	0,4	0,1	299	1,2	97,1	2,9	1,8
70	212	7	0,0	99,6	0,4	0,0	112	0,4	97,6	2,4	0,7
-70	150	100	0,4	100,0	0,0	0,5	623	2,4	100,0	0,0	3,7

Tabla A.24. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°10.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		10									
Flujo	t/h	145,59					140,98				
Peso	g	27325					23777				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	7919	29,0	29,0	71,0	42,2	91	0,4	0,4	99,6	0,5
3/4	19000	12340	45,2	74,1	25,9	65,7	2391	10,1	10,4	89,6	14,2
5/8	15875	4081	14,9	89,1	10,9	21,7	5425	22,8	33,3	66,7	32,2
1/2	12500	2479	9,1	98,1	1,9	13,2	4053	17,0	50,3	49,7	24,0
3/8	9500	305	1,1	99,3	0,7	1,6	3695	15,5	65,8	34,2	21,9
1/4	6300	48	0,2	99,4	0,6	0,3	2662	11,2	77,0	23,0	15,8
6	3350	16	0,1	99,5	0,5	0,1	2346	9,9	86,9	13,1	13,9
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	1205	5,1	92,0	8,0	7,1
30	600	10	0,0	99,6	0,4	0,1	835	3,5	95,5	4,5	4,9
50	300	10	0,0	99,6	0,4	0,1	300	1,3	96,7	3,3	1,8
70	212	7	0,0	99,6	0,4	0,0	120	0,5	97,2	2,8	0,7
-70	150	100	0,4	100,0	0,0	0,5	655	2,8	100,0	0,0	3,9

Tabla A.25. Chancado terciario muestreo sin ajustar N°11.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		11									
Flujo	t/h	145,59					56,46				
Peso	g	27325					9523				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	7919	29,0	29,0	71,0	42,2	469	4,9	4,9	95,1	2,8
3/4	19000	12340	45,2	74,1	25,9	65,7	3129	32,9	37,8	62,2	18,6
5/8	15875	4081	14,9	89,1	10,9	21,7	2762	29,0	66,8	33,2	16,4
1/2	12500	2479	9,1	98,1	1,9	13,2	1463	15,4	82,1	17,9	8,7
3/8	9500	305	1,1	99,3	0,7	1,6	469	4,9	87,1	12,9	2,8
1/4	6300	48	0,2	99,4	0,6	0,3	269	2,8	89,9	10,1	1,6
6	3350	16	0,1	99,5	0,5	0,1	208	2,2	92,1	7,9	1,2
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,0	160	1,7	93,8	6,2	0,9
30	600	10	0,0	99,6	0,4	0,1	175	1,8	95,6	4,4	1,0
50	300	10	0,0	99,6	0,4	0,1	89	0,9	96,5	3,5	0,5
70	212	7	0,0	99,6	0,4	0,0	43	0,5	97,0	3,0	0,3
-70	150	100	0,4	100,0	0,0	0,5	288	3,0	100,0	0,0	1,7

Tabla A.26. Chancado terciario muestras sin ajustar N°12.

		Alimentación sin ajustar					Descarga sin ajustar				
Muestra		12									
Flujo	t/h	95,23					121,74				
Peso	g	17873					20533				
Vel.	m/s	1,48					1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	4159	23,3	23,3	76,7	22,2	1510	7,4	7,4	92,6	9,0
3/4	19000	8225	46,0	69,3	30,7	43,8	9916	48,3	55,6	44,4	58,8
5/8	15875	3578	20,0	89,3	10,7	19,1	5512	26,8	82,5	17,5	32,7
1/2	12500	1486	8,3	97,6	2,4	7,9	2348	11,4	93,9	6,1	13,9
3/8	9500	302	1,7	99,3	0,7	1,6	625	3,0	97,0	3,0	3,7
1/4	6300	24	0,1	99,4	0,6	0,1	237	1,2	98,1	1,9	1,4
6	3350	10	0,1	99,5	0,5	0,1	130	0,6	98,8	1,2	0,8
12	1700	5	0,0	99,5	0,5	0,0	55	0,3	99,0	1,0	0,3
30	600	7	0,0	99,6	0,4	0,0	39	0,2	99,2	0,8	0,2
50	300	6	0,0	99,6	0,4	0,0	21	0,1	99,3	0,7	0,1
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	12	0,1	99,4	0,6	0,1
-70	150	67	0,4	100,0	0,0	0,4	128	0,6	100,0	0,0	0,8

A.2.4. Muestreo harnero secundario no ajustadas

Tabla A.27. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°1.

Muestra		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar				
1																
Flujo	Ton/h	125,73					78,95					50,14				
Peso	grs	18391					14296					8545				
Vel.	m/s	1,899					1,534					1,63				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	1392	7,6	7,6	92,4	9,5	1724	12,1	12,1	87,9	9,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3077	16,7	24,3	75,7	21,0	3812	26,7	38,7	61,3	21,1	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	8755	47,6	71,9	28,1	59,9	8318	58,2	96,9	3,1	45,9	2375	27,8	27,8	72,2	13,9
3/4	19000	2017	11,0	82,9	17,1	13,8	235	1,6	98,6	1,4	1,3	2285	26,7	54,5	45,5	13,4
5/8	15875	658	3,6	86,4	13,6	4,5	54	0,4	98,9	1,1	0,3	848	9,9	64,5	35,5	5,0
1/2	12500	384	2,1	88,5	11,5	2,6	36	0,3	99,2	0,8	0,2	641	7,5	72,0	28,0	3,8
3/8	9500	503	2,7	91,3	8,7	3,4	54	0,4	99,6	0,4	0,3	673	7,9	79,8	20,2	3,9
1/4	6300	381	2,1	93,3	6,7	2,6	14	0,1	99,7	0,3	0,1	479	5,6	85,4	14,6	2,8
6	3350	363	2,0	95,3	4,7	2,5	5	0,0	99,7	0,3	0,0	444	5,2	90,6	9,4	2,6
12	1700	235	1,3	96,6	3,4	1,6	7	0,0	99,7	0,3	0,0	230	2,7	93,3	6,7	1,3
30	600	223	1,2	97,8	2,2	1,5	9	0,1	99,8	0,2	0,0	167	1,9	95,3	4,7	1,0
50	300	107	0,6	98,4	1,6	0,7	5	0,0	99,8	0,2	0,0	73	0,9	96,1	3,9	0,4
70	212	45	0,2	98,6	1,4	0,3	8	0,1	99,9	0,1	0,0	33	0,4	96,5	3,5	0,2
-70	150	251	1,4	100,0	0,0	1,7	15	0,1	100,0	0,0	0,1	299	3,5	100,0	0,0	1,8

Tabla A.28. Harnero secundario muestreo sin ajustar N° 2.

Muestra		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar				
2																
Flujo	Ton/h	200,77					126,02					118,55				
Peso	grs	29368					22819					20203				
Vel.	m/s	1,899					1,534					1,63				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	4621	15,7	15,7	84,3	31,6	1814	7,9	7,9	92,1	10,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1470	5,0	20,7	79,3	10,0	1316	5,8	13,7	86,3	7,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	13604	46,3	67,1	32,9	93,0	18225	79,9	93,6	6,4	100,6	2834	14,0	14,0	86,0	16,6
3/4	19000	3288	11,2	78,3	21,7	22,5	771	3,4	97,0	3,0	4,3	5063	25,1	39,1	60,9	29,7
5/8	15875	1093	3,7	82,0	18,0	7,5	150	0,7	97,6	2,4	0,8	2131	10,5	49,6	50,4	12,5
1/2	12500	1206	4,1	86,1	13,9	8,2	131	0,6	98,2	1,8	0,7	1969	9,7	59,4	40,6	11,6
3/8	9500	837	2,9	88,9	11,1	5,7	142	0,6	98,8	1,2	0,8	1706	8,4	67,8	32,2	10,0
1/4	6300	681	2,3	91,3	8,7	4,7	23	0,1	98,9	1,1	0,1	1332	6,6	74,4	25,6	7,8
6	3350	718	2,4	93,7	6,3	4,9	22	0,1	99,0	1,0	0,1	1447	7,2	81,6	18,4	8,5
12	1700	508	1,7	95,4	4,6	3,5	18	0,1	99,1	0,9	0,1	975	4,8	86,4	13,6	5,7
30	600	492	1,7	97,1	2,9	3,4	26	0,1	99,2	0,8	0,1	950	4,7	91,1	8,9	5,6
50	300	235	0,8	97,9	2,1	1,6	23	0,1	99,3	0,7	0,1	465	2,3	93,4	6,6	2,7
70	212	97	0,3	98,2	1,8	0,7	14	0,1	99,4	0,6	0,1	198	1,0	94,4	5,6	1,2
-70	150	517	1,8	100,0	0,0	3,5	144	0,6	100,0	0,0	0,8	1134	5,6	100,0	0,0	6,7

Tabla A.29. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°3.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar				
Muestra		3														
Flujo	Ton/h	376,38					89,99					138,40				
Peso	grs	55056					16296					23585				
Vel.	m/s	1,899					1,534					1,63				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	8487	15,4	15,4	84,6	58,0	612	3,8	3,8	96,2	3,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3865	7,0	22,4	77,6	26,4	1044	6,4	10,2	89,8	5,8	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	16023	29,1	51,5	48,5	109,5	13313	81,7	91,9	8,1	73,5	3766	16,0	16,0	84,0	22,1
3/4	19000	6031	11,0	62,5	37,5	41,2	1032	6,3	98,2	1,8	5,7	5752	24,4	40,4	59,6	33,8
5/8	15875	1806	3,3	65,8	34,2	12,3	45	0,3	98,5	1,5	0,2	2252	9,5	49,9	50,1	13,2
1/2	12500	2137	3,9	69,7	30,3	14,6	38	0,2	98,7	1,3	0,2	1425	6,0	55,9	44,1	8,4
3/8	9500	2445	4,4	74,1	25,9	16,7	27	0,2	98,9	1,1	0,1	1698	7,2	63,1	36,9	10,0
1/4	6300	2242	4,1	78,2	21,8	15,3	22	0,1	99,0	1,0	0,1	1698	7,2	70,3	29,7	10,0
6	3350	2625	4,8	82,9	17,1	17,9	20	0,1	99,1	0,9	0,1	1757	7,4	77,8	22,2	10,3
12	1700	1802	3,3	86,2	13,8	12,3	14	0,1	99,2	0,8	0,1	1222	5,2	83,0	17,0	7,2
30	600	1887	3,4	89,6	10,4	12,9	18	0,1	99,3	0,7	0,1	1120	4,8	87,7	12,3	6,6
50	300	979	1,8	91,4	8,6	6,7	14	0,1	99,4	0,6	0,1	552	2,3	90,1	9,9	3,2
70	212	511	0,9	92,3	7,7	3,5	10	0,1	99,5	0,5	0,1	272	1,2	91,2	8,8	1,6
-70	150	4215	7,7	100,0	0,0	28,8	87	0,5	100,0	0,0	0,5	2071	8,8	100,0	0,0	12,2

Tabla A.30. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°4.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar				
Muestra		4														
Flujo	Ton/h	412,06					185,43					285,33				
Peso	grs	60274					33578					48624				
Vel.	m/s	1,899					1,534					1,63				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	6333	10,5	10,5	89,5	43,3	9516	28,3	28,3	71,7	52,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	4026	6,7	17,2	82,8	27,5	2954	8,8	37,1	62,9	16,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	18303	30,4	47,6	52,4	125,1	18953	56,4	93,6	6,4	104,7	3947	8,1	8,1	91,9	23,2
3/4	19000	8751	14,5	62,1	37,9	59,8	1240	3,7	97,3	2,7	6,8	5880	12,1	20,2	79,8	34,5
5/8	15875	3000	5,0	67,0	33,0	20,5	214	0,6	97,9	2,1	1,2	3000	6,2	26,4	73,6	17,6
1/2	12500	2951	4,9	71,9	28,1	20,2	182	0,5	98,5	1,5	1,0	3286	6,8	33,1	66,9	19,3
3/8	9500	3049	5,1	77,0	23,0	20,8	136	0,4	98,9	1,1	0,8	4306	8,9	42,0	58,0	25,3
1/4	6300	2645	4,4	81,4	18,6	18,1	144	0,4	99,3	0,7	0,8	5386	11,1	53,1	46,9	31,6
6	3350	2782	4,6	86,0	14,0	19,0	57	0,2	99,5	0,5	0,3	5647	11,6	64,7	35,3	33,1
12	1700	1722	2,9	88,9	11,1	11,8	27	0,1	99,5	0,5	0,1	3504	7,2	71,9	28,1	20,6
30	600	1784	3,0	91,8	8,2	12,2	27	0,1	99,6	0,4	0,1	3620	7,4	79,3	20,7	21,2
50	300	936	1,6	93,4	6,6	6,4	17	0,1	99,7	0,3	0,1	1911	3,9	83,3	16,7	11,2
70	212	424	0,7	94,1	5,9	2,9	9	0,0	99,7	0,3	0,0	869	1,8	85,1	14,9	5,1
-70	150	3568	5,9	100,0	0,0	24,4	102	0,3	100,0	0,0	0,6	7268	14,9	100,0	0,0	42,7

Tabla A.31. Harnero secundario muestreo sin ajustar N°5.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar					
Muestra		5															
Flujo	Ton/h	463,54					215,05						307,34				
Peso	grs	67805					38942						52375				
Vel.	m/s	1,899					1,534						1,63				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	6810	10,0	10,0	90,0	46,6	9904	25,4	25,4	74,6	54,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	2851	4,2	14,2	85,8	19,5	5285	13,6	39,0	61,0	29,2	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	16153	23,8	38,1	61,9	110,4	18535	47,6	86,6	13,4	102,4	2994	5,7	5,7	94,3	17,6	
3/4	19000	9180	13,5	51,6	48,4	62,8	3604	9,3	95,9	4,1	19,9	8793	16,8	22,5	77,5	51,6	
5/8	15875	3586	5,3	56,9	43,1	24,5	331	0,8	96,7	3,3	1,8	4947	9,4	32,0	68,0	29,0	
1/2	12500	4419	6,5	63,4	36,6	30,2	281	0,7	97,4	2,6	1,6	4199	8,0	40,0	60,0	24,6	
3/8	9500	4294	6,3	69,7	30,3	29,4	214	0,5	98,0	2,0	1,2	5156	9,8	49,8	50,2	30,3	
1/4	6300	4464	6,6	76,3	23,7	30,5	106	0,3	98,2	1,8	0,6	5714	10,9	60,7	39,3	33,5	
6	3350	4268	6,3	82,6	17,4	29,2	97	0,2	98,5	1,5	0,5	5247	10,0	70,7	29,3	30,8	
12	1700	2773	4,1	86,7	13,3	19,0	69	0,2	98,7	1,3	0,4	3507	6,7	77,4	22,6	20,6	
30	600	2537	3,7	90,5	9,5	17,3	82	0,2	98,9	1,1	0,5	3273	6,2	83,7	16,3	19,2	
50	300	1298	1,9	92,4	7,6	8,9	53	0,1	99,0	1,0	0,3	1688	3,2	86,9	13,1	9,9	
70	212	649	1,0	93,3	6,7	4,4	28	0,1	99,1	0,9	0,2	857	1,6	88,5	11,5	5,0	
-70	150	4523	6,7	100,0	0,0	30,9	353	0,9	100,0	0,0	1,9	6000	11,5	100,0	0,0	35,2	

A.2.5. Muestreo harnero terciario no ajustadas

Tabla A.32 Harnero terciario muestreo sin ajustar N°1.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar					
Muestra		1															
Flujo	Ton/h	59,44					21,59						28,13				
Peso	grs	10025					4052						5479				
Vel.	m/s	1,65					1,48						1,426				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	1374	13,7	13,7	86,3	8,1	1016	25,1	25,1	74,9	5,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
3/4	19000	1766	17,6	31,3	68,7	10,5	1720	42,4	67,5	32,5	9,2	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
5/8	15875	845	8,4	39,8	60,2	5,0	636	15,7	83,2	16,8	3,4	31	0,6	0,6	99,4	0,2	
1/2	12500	869	8,7	48,4	51,6	5,2	567	14,0	97,2	2,8	3,0	303	5,5	6,1	93,9	1,6	
3/8	9500	755	7,5	56,0	44,0	4,5	80	2,0	99,2	0,8	0,4	593	10,8	16,9	83,1	3,0	
1/4	6300	741	7,4	63,3	36,7	4,4	13	0,3	99,5	0,5	0,1	846	15,4	32,4	67,6	4,3	
6	3350	797	8,0	71,3	28,7	4,7	4	0,1	99,6	0,4	0,0	828	15,1	47,5	52,5	4,3	
12	1700	555	5,5	76,8	23,2	3,3	3	0,1	99,7	0,3	0,0	540	9,9	57,4	42,6	2,8	
30	600	546	5,4	82,3	17,7	3,2	2	0,0	99,7	0,3	0,0	563	10,3	67,6	32,4	2,9	
50	300	295	2,9	85,2	14,8	1,7	1	0,0	99,8	0,2	0,0	302	5,5	73,1	26,9	1,5	
70	212	152	1,5	86,7	13,3	0,9	1	0,0	99,8	0,2	0,0	149	2,7	75,8	24,2	0,8	
-70	150	1330	13,3	100,0	0,0	7,9	9	0,2	100,0	0,0	0,0	1324	24,2	100,0	0,0	6,8	

Tabla A.33. Harnero terciario muestreo sin ajustar N°2.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar				
Muestra		2														
Flujo	Ton/h	85,07					39,51					56,34				
Peso	grs	14347					7415					10975				
Vel.	m/s	1,65					1,48					1,426				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	1488	10,4	10,4	89,6	8,8	2363	31,9	31,9	68,1	12,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	2497	17,4	27,8	72,2	14,8	2804	37,8	69,7	30,3	14,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	1064	7,4	35,2	64,8	6,3	1223	16,5	86,2	13,8	6,5	127	1,2	1,2	98,8	0,7
1/2	12500	1093	7,6	42,8	57,2	6,5	752	10,1	96,3	3,7	4,0	631	5,7	6,9	93,1	3,2
3/8	9500	1053	7,3	50,1	49,9	6,2	236	3,2	99,5	0,5	1,3	1124	10,2	17,1	82,9	5,8
1/4	6300	1238	8,6	58,8	41,2	7,3	7	0,1	99,6	0,4	0,0	1896	17,3	34,4	65,6	9,7
6	3350	1288	9,0	67,8	32,2	7,6	6	0,1	99,7	0,3	0,0	1794	16,3	50,8	49,2	9,2
12	1700	887	6,2	73,9	26,1	5,3	2	0,0	99,7	0,3	0,0	1135	10,3	61,1	38,9	5,8
30	600	878	6,1	80,1	19,9	5,2	2	0,0	99,7	0,3	0,0	1044	9,5	70,6	29,4	5,4
50	300	477	3,3	83,4	16,6	2,8	1	0,0	99,7	0,3	0,0	537	4,9	75,5	24,5	2,8
70	212	268	1,9	85,2	14,8	1,6	1	0,0	99,8	0,2	0,0	304	2,8	78,3	21,7	1,6
-70	150	2116	14,8	100,0	0,0	12,5	18	0,2	100,0	0,0	0,1	2382	21,7	100,0	0,0	12,2

Tabla A.34. Harnero terciario muestreo sin ajustar N°3.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar				
Muestra		3														
Flujo	Ton/h	127,51					49,37					71,73				
Peso	grs	21506					9266					13972				
Vel.	m/s	1,65					1,48					1,426				
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	942	4,4	4,4	95,6	5,6	892	9,6	9,6	90,4	4,8	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	2753	12,8	17,2	82,8	16,3	3213	34,7	44,3	55,7	17,1	157	1,1	1,1	98,9	0,8
5/8	15875	2967	13,8	31,0	69,0	17,6	3312	35,7	80,0	20,0	17,6	556	4,0	5,1	94,9	2,9
1/2	12500	3526	16,4	47,4	52,6	20,9	1529	16,5	96,5	3,5	8,1	1576	11,3	16,4	83,6	8,1
3/8	9500	1721	8,0	55,4	44,6	10,2	225	2,4	99,0	1,0	1,2	1629	11,7	28,0	72,0	8,4
1/4	6300	1289	6,0	61,4	38,6	7,6	15	0,2	99,1	0,9	0,1	1813	13,0	41,0	59,0	9,3
6	3350	1618	7,5	68,9	31,1	9,6	11	0,1	99,3	0,7	0,1	1716	12,3	53,3	46,7	8,8
12	1700	1233	5,7	74,6	25,4	7,3	7	0,1	99,3	0,7	0,0	1270	9,1	62,4	37,6	6,5
30	600	1261	5,9	80,5	19,5	7,5	5	0,1	99,4	0,6	0,0	1241	8,9	71,3	28,7	6,4
50	300	696	3,2	83,7	16,3	4,1	3	0,0	99,4	0,6	0,0	659	4,7	76,0	24,0	3,4
70	212	386	1,8	85,5	14,5	2,3	2	0,0	99,4	0,6	0,0	368	2,6	78,6	21,4	1,9
-70	150	3114	14,5	100,0	0,0	18,5	52	0,6	100,0	0,0	0,3	2986	21,4	100,0	0,0	15,3

Tabla A.35. Harnero terciario muestras sin ajustar N°4.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar					
Muestra		4															
Flujo	Ton/h	267,85					77,22					172,54					
Peso	grs	45175					14493					33609					
Vel.	m/s	1,65					1,48					1,426					
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	2404	5,3	5,3	94,7	14,3	2513	17,3	17,3	82,7	13,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
3/4	19000	4706	10,4	15,7	84,3	27,9	5788	39,9	57,3	42,7	30,8	242	0,7	0,7	99,3	1,2	
5/8	15875	3987	8,8	24,6	75,4	23,6	4112	28,4	85,6	14,4	21,9	791	2,4	3,1	96,9	4,1	
1/2	12500	3433	7,6	32,2	67,8	20,4	1524	10,5	96,2	3,8	8,1	1600	4,8	7,8	92,2	8,2	
3/8	9500	3002	6,6	38,8	61,2	17,8	350	2,4	98,6	1,4	1,9	3040	9,0	16,9	83,1	15,6	
1/4	6300	4327	9,6	48,4	51,6	25,7	19	0,1	98,7	1,3	0,1	3180	9,5	26,3	73,7	16,3	
6	3350	5235	11,6	60,0	40,0	31,0	14	0,1	98,8	1,2	0,1	3969	11,8	38,2	61,8	20,4	
12	1700	3686	8,2	68,1	31,9	21,9	12	0,1	98,9	1,1	0,1	3511	10,4	48,6	51,4	18,0	
30	600	3552	7,9	76,0	24,0	21,1	13	0,1	99,0	1,0	0,1	3613	10,7	59,3	40,7	18,5	
50	300	1896	4,2	80,2	19,8	11,2	10	0,1	99,0	1,0	0,1	4529	13,5	72,8	27,2	23,2	
70	212	1042	2,3	82,5	17,5	6,2	6	0,0	99,1	0,9	0,0	1221	3,6	76,5	23,5	6,3	
-70	150	7906	17,5	100,0	0,0	46,9	132	0,9	100,0	0,0	0,7	7913	23,5	100,0	0,0	40,6	

Tabla A.36. Harnero terciario muestreo sin ajustar N°5.

		Alimentación sin ajustar					Sobre tamaño sin ajustar					Bajo Tamaño sin ajustar					
Muestra		5															
Flujo	Ton/h	361,74					117,56					265,69					
Peso	grs	61010					22065					51756					
Vel.	m/s	1,65					1,48					1,426					
Malla Ty	Abert. (um)	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	3934	6,4	6,4	93,6	23,3	2865	13,0	13,0	87,0	15,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
3/4	19000	6476	10,6	17,1	82,9	38,4	6289	28,5	41,5	58,5	33,5	166	0,3	0,3	99,7	0,9	
5/8	15875	5000	8,2	25,3	74,7	29,6	4000	18,1	59,6	40,4	21,3	2174	4,2	4,5	95,5	11,2	
1/2	12500	6466	10,6	35,9	64,1	38,3	4819	21,8	81,5	18,5	25,7	2600	5,0	9,5	90,5	13,3	
3/8	9500	8973	14,7	50,6	49,4	53,2	2959	13,4	94,9	5,1	15,8	8550	16,5	26,1	73,9	43,9	
1/4	6300	7996	13,1	63,7	36,3	47,4	799	3,6	98,5	1,5	4,3	8187	15,8	41,9	58,1	42,0	
6	3350	7452	12,2	75,9	24,1	44,2	168	0,8	99,2	0,8	0,9	8609	16,6	58,5	41,5	44,2	
12	1700	4062	6,7	82,5	17,5	24,1	34	0,2	99,4	0,6	0,2	5517	10,7	69,2	30,8	28,3	
30	600	3134	5,1	87,7	12,3	18,6	20	0,1	99,5	0,5	0,1	4392	8,5	77,7	22,3	22,5	
50	300	1279	2,1	89,8	10,2	7,6	10	0,0	99,5	0,5	0,1	1897	3,7	81,3	18,7	9,7	
70	212	640	1,0	90,8	9,2	3,8	6	0,0	99,6	0,4	0,0	914	1,8	83,1	16,9	4,7	
-70	150	5597	9,2	100,0	0,0	33,2	96	0,4	100,0	0,0	0,5	8750	16,9	100,0	0,0	44,9	

A.3 Cálculo de error Muestréos

A partir de la formula (A.8), se obtiene las Tabla A.34 y Tabla A.35 del error fundamental de los muestreos, de los harneros y chancadores.

$$Error = 2 * \sqrt{K * d^3 * \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L}\right)} \quad (A.8)$$

Tabla A.37. Error fundamental muestreos harneros.

Correa	Muestreo	d	d'	d _i	L	ML	d/d'	b	aL	g1	c	l	g	f	Ms	S ²	S	Error
Error Fundamental muestreo Harnero Secundario																		
CT-02	1	7,4	0,38	0,008	34	625	19,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00026	0,25	0,5	18	0,0003	0,017	3,37
CT-04	2	9,1	2,54	0,008	29	415	3,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00020	0,5	0,5	14	0,0011	0,033	6,51
CT-05	3	3,5	0,08	0,008	34	291	46,8	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,25	0,5	9	0,0002	0,013	2,54
CT-02	4	9,8	0,21	0,008	34	999	46,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00018	0,25	0,5	29	0,0003	0,017	3,43
CT-04	5	7,6	2,25	0,008	29	662	3,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00025	0,5	0,5	23	0,0005	0,022	4,38
CT-05	6	3,3	0,02	0,008	34	687	161,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00067	0,25	0,5	20	0,0001	0,008	1,56
CT-02	7	9,7	0,02	0,008	34	1872	510,8	1,2	0,9	3,76	418	0,00018	0,25	0,5	55	0,0002	0,012	2,50
CT-04	8	4,8	2,20	0,008	29	473	2,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00043	0,5	0,5	16	0,0003	0,017	3,40
CT-05	9	3,4	0,02	0,008	34	802	181,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00066	0,25	0,5	24	0,0001	0,007	1,46
CT-02	10	8,7	0,02	0,008	34	2049	428,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00021	0,25	0,5	60	0,0001	0,011	2,15
CT-04	11	10,8	2,27	0,008	29	974	4,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00016	0,25	0,5	34	0,0003	0,017	3,49
CT-05	12	3,0	0,02	0,008	34	1653	174,5	1,2	0,9	3,76	418	0,00076	0,25	0,5	49	0,0000	0,005	0,92
CT-02	13	8,5	0,02	0,008	34	2305	433,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00022	0,25	0,5	68	0,0001	0,010	2,00
CT-04	14	10,6	1,96	0,008	29	1129	5,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00017	0,25	0,5	39	0,0003	0,016	3,20
CT-05	15	2,7	0,02	0,008	34	1781	150,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00087	0,25	0,5	52	0,0000	0,004	0,80
Error Fundamental muestreo Harnero Terciario																		
CT-08	1	3,3	0,02	0,008	44	441	190,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00067	0,25	0,5	10	0,0001	0,011	2,22
CT-10	2	3,5	1,30	0,008	51	207	2,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	4	0,0007	0,026	5,21
CT-12	3	1,3	0,02	0,008	38	208	80,9	1,2	0,9	3,76	418	0,00203	0,25	0,5	5	0,0000	0,007	1,31
CT-08	4	3,1	0,02	0,008	44	631	184,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00071	0,25	0,5	14	0,0001	0,009	1,78
CT-10	5	3,6	1,29	0,008	51	378	2,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,5	0,5	7	0,0004	0,020	3,91
CT-12	6	1,4	0,02	0,008	38	417	82,9	1,2	0,9	3,76	418	0,00195	0,25	0,5	11	0,0000	0,005	0,95
CT-08	7	2,5	0,02	0,008	44	946	144,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00095	0,25	0,5	22	0,0000	0,006	1,17
CT-10	8	3,1	1,28	0,008	51	473	2,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00072	0,5	0,5	9	0,0002	0,015	3,09
CT-12	9	1,6	0,02	0,008	38	531	97,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00161	0,25	0,5	14	0,0000	0,005	0,98
CT-08	10	2,6	0,02	0,008	44	1988	153,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00091	0,25	0,5	45	0,0000	0,004	0,84
CT-10	11	3,4	1,29	0,008	51	739	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00065	0,5	0,5	14	0,0002	0,013	2,68
CT-12	12	1,5	0,02	0,008	38	1277	88,9	1,2	0,9	3,76	418	0,00180	0,25	0,5	34	0,0000	0,003	0,58
CT-08	13	2,8	0,02	0,008	44	2684	151,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00083	0,25	0,5	61	0,0000	0,004	0,77
CT-10	14	3,3	0,94	0,008	51	1125	3,5	1,2	0,9	3,76	418	0,00068	0,5	0,5	22	0,0001	0,011	2,10
CT-12	15	1,6	0,02	0,008	38	1967	92,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00166	0,25	0,5	52	0,0000	0,002	0,50

Tabla A.38. Error fundamental muestreos chancadores.

Correa	Muestreo	d	d'	d _i	L	ML	d/d'	b	aL	g1	c	l	g	f	Ms	S ²	S	Error
Error Fundamental muestreo Cachador Secundario																		
CT-04	1	11,2	2,58	0,0075	29	653	4,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00016	0,25	0,5	23	0,00049	0,022	4,41
CT-02	2	3,1	0,06	0,0075	34	536	53,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00072	0,25	0,5	16	0,00007	0,008	1,68
CT-04	3	11,5	2,74	0,0075	29	257	4,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00015	0,25	0,5	9	0,00130	0,036	7,21
CT-02	4	3,6	0,12	0,0075	34	255	31,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00060	0,25	0,5	8	0,00019	0,014	2,78
CT-04	5	11,5	2,69	0,0075	29	451	4,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00015	0,25	0,5	16	0,00074	0,027	5,44
CT-02	6	3,5	0,08	0,0075	34	380	46,5	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,25	0,5	11	0,00012	0,011	2,23
CT-04	7	11,0	2,56	0,0075	29	580	4,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00016	0,25	0,5	20	0,00054	0,023	4,63
CT-02	8	3,6	0,13	0,0075	34	478	27,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00061	0,25	0,5	14	0,00010	0,010	2,01
CT-04	9	9,2	2,51	0,0075	29	646	3,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00020	0,5	0,5	22	0,00069	0,026	5,25
CT-02	10	3,6	0,13	0,0075	34	558	27,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00061	0,25	0,5	16	0,00009	0,009	1,86
CT-04	11	10,3	2,55	0,0075	29	788	4,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00017	0,25	0,5	27	0,00035	0,019	3,73
CT-02	12	3,7	0,09	0,0075	34	578	42,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00059	0,25	0,5	17	0,00009	0,009	1,87
CT-04	13	11,4	2,73	0,0075	29	367	4,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00015	0,25	0,5	13	0,00090	0,030	6,01
CT-02	14	3,7	0,14	0,0075	34	276	25,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00059	0,25	0,5	8	0,00018	0,014	2,70
CT-04	15	11,2	2,62	0,0075	29	332	4,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00015	0,25	0,5	11	0,00096	0,031	6,21
CT-02	16	3,7	0,10	0,0075	34	415	39,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00058	0,25	0,5	12	0,00013	0,011	2,24
CT-04	17	10,5	2,51	0,0075	29	434	4,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00017	0,25	0,5	15	0,00066	0,026	5,13
CT-02	18	3,7	0,13	0,0075	34	615	28,9	1,2	0,9	3,76	418	0,00060	0,25	0,5	18	0,00008	0,009	1,80
CT-04	19	11,0	2,61	0,0075	29	658	4,2	1,2	0,9	3,76	418	0,00016	0,25	0,5	23	0,00047	0,022	4,33
CT-02	20	3,7	0,09	0,0075	34	653	41,1	1,2	0,9	3,76	418	0,00059	0,25	0,5	19	0,00008	0,009	1,76
CT-04	21	10,2	2,56	0,0075	29	803	4,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00017	0,25	0,5	28	0,00034	0,018	3,68
CT-02	22	3,6	0,16	0,0075	34	657	23,1	1,2	0,9	3,76	418	0,00060	0,25	0,5	19	0,00007	0,009	1,73
CT-04	23	10,2	2,58	0,0075	29	775	3,9	1,2	0,9	3,76	418	0,00017	0,5	0,5	27	0,00069	0,026	5,26
CT-02	24	3,7	0,22	0,0075	34	559	16,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00058	0,25	0,5	16	0,00009	0,010	1,92
Error Fundamental muestreo Chancador Terciario																		
CT-10	1	3,5	1,36	0,0075	51	912	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	18	0,00015	0,012	2,47
CT-08	2	1,2	0,02	0,0075	44	751	65,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00224	0,25	0,5	17	0,00001	0,003	0,69
CT-10	3	3,5	1,33	0,0075	51	1108	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	22	0,00013	0,011	2,24
CT-08	4	2,0	0,06	0,0075	44	557	35,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00122	0,25	0,5	13	0,00004	0,006	1,26
CT-10	5	3,5	1,33	0,0075	51	1108	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	22	0,00013	0,011	2,24
CT-08	6	1,9	0,05	0,0075	44	825	41,0	1,2	0,9	3,76	418	0,00134	0,25	0,5	19	0,00002	0,005	0,97
CT-10	7	3,5	1,33	0,0075	51	1108	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	22	0,00013	0,011	2,24
CT-08	8	1,7	0,02	0,0075	44	1019	85,5	1,2	0,9	3,76	418	0,00145	0,25	0,5	23	0,00002	0,004	0,82
CT-10	9	2,4	1,03	0,0075	51	1104	2,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00100	0,5	0,5	22	0,00006	0,008	1,59
CT-08	10	1,7	0,04	0,0075	44	1158	45,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00148	0,25	0,5	26	0,00001	0,004	0,76
CT-10	11	3,5	1,33	0,0075	51	1108	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	22	0,00013	0,011	2,24
CT-08	12	2,2	0,02	0,0075	44	470	103,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00110	0,25	0,5	11	0,00005	0,007	1,48
CT-10	13	3,5	1,33	0,0075	51	1108	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	22	0,00013	0,011	2,24
CT-08	14	2,5	0,92	0,0075	44	622	2,7	1,2	0,9	3,76	418	0,00096	0,5	0,5	14	0,00010	0,010	2,03
CT-10	15	3,5	1,37	0,0075	51	1394	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,5	0,5	27	0,00010	0,010	2,02
CT-08	16	2,3	0,09	0,0075	44	817	27,1	1,2	0,9	3,76	418	0,00103	0,25	0,5	19	0,00004	0,006	1,18
CT-10	17	3,5	1,37	0,0075	51	1394	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,5	0,5	27	0,00010	0,010	2,02
CT-08	18	2,3	0,09	0,0075	44	1135	24,4	1,2	0,9	3,76	418	0,00105	0,25	0,5	26	0,00002	0,005	0,99
CT-10	19	3,5	1,37	0,0075	51	1394	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,5	0,5	27	0,00010	0,010	2,02
CT-08	20	2,2	0,08	0,0075	44	1046	29,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00108	0,25	0,5	24	0,00003	0,005	1,01
CT-10	21	3,5	1,37	0,0075	51	1394	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00062	0,5	0,5	27	0,00010	0,010	2,02
CT-08	22	2,5	0,10	0,0075	44	419	26,3	1,2	0,9	3,76	418	0,00094	0,25	0,5	10	0,00008	0,009	1,77
CT-10	23	3,5	1,36	0,0075	51	912	2,6	1,2	0,9	3,76	418	0,00063	0,5	0,5	18	0,00015	0,012	2,47
CT-08	24	2,9	1,14	0,0075	44	903	2,5	1,2	0,9	3,76	418	0,00079	0,5	0,5	21	0,00010	0,010	1,95

A.4. Ajuste balance de masa, mediante la técnica de los Multiplicadores de Lagrange de los harneros y modelo de Whiten

A.4.1. Muestreo harnero secundario ajustadas y modelo Whiten

Tabla A.39 Harnero secundario muestreo ajustadas N°1.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra	1															
Flujo	Ton/h	127,0					77,0						50,0			
Peso	grs	18583					13946						8525			
Vel.	m/s	1,899					1,534						1,63			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	1388	7,5	7,5	92,5	9,5	1718	12,3	12,3	87,7	9,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3056	16,4	23,9	76,1	20,9	3813	27,1	39,4	60,6	20,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	8641	46,5	70,4	29,6	59,1	8081	57,5	96,9	3,1	44,3	2491	29,6	29,6	70,4	14,8
3/4	19000	2175	11,7	82,1	17,9	14,9	230	1,6	98,6	1,4	1,3	2290	27,2	56,8	43,2	13,6
5/8	15875	733	3,9	86,1	13,9	5,0	53	0,4	98,9	1,1	0,3	795	9,4	66,2	33,8	4,7
1/2	12500	477	2,6	88,6	11,4	3,3	34	0,2	99,2	0,8	0,2	518	6,2	72,4	27,6	3,1
3/8	9500	575	3,1	91,7	8,3	3,9	52	0,4	99,5	0,5	0,3	614	7,3	79,7	20,3	3,6
1/4	6300	409	2,2	93,9	6,1	2,8	14	0,1	99,6	0,4	0,1	457	5,4	85,1	14,9	2,7
6	3350	379	2,0	96,0	4,0	2,6	5	0,0	99,7	0,3	0,0	432	5,1	90,2	9,8	2,6
12	1700	213	1,1	97,1	2,9	1,5	7	0,1	99,7	0,3	0,0	238	2,8	93,1	6,9	1,4
30	600	165	0,9	98,0	2,0	1,1	9	0,1	99,8	0,2	0,1	181	2,1	95,2	4,8	1,1
50	300	73	0,4	98,4	1,6	0,5	5	0,0	99,8	0,2	0,0	80	0,9	96,2	3,8	0,5
70	212	37	0,2	98,6	1,4	0,3	9	0,1	99,9	0,1	0,0	34	0,4	96,6	3,4	0,2
-70	150	263	1,4	100,0	0,0	1,8	15	0,1	100,0	0,0	0,1	289	3,4	100,0	0,0	1,7

Tabla A.40 Harnero secundario modelo Whiten N°1.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra	1															
Flujo	Ton/h	127,0					77,6						49,4			
Peso	grs	18583					14059						8419			
Vel.	m/h	1,899					1,534						1,63			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	1388	7,5	7,5	92,5	9,5	1718	12,2	12,2	87,8	9,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3056	16,4	23,9	76,1	20,9	3783	26,9	39,1	60,9	20,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	8641	46,5	70,4	29,6	59,1	8069	57,4	96,5	3,5	44,6	2473	29,4	29,4	70,6	14,5
3/4	19000	2175	11,7	82,1	17,9	14,9	435	3,1	99,6	0,4	2,4	2124	25,2	54,6	45,4	12,5
5/8	15875	733	3,9	86,1	13,9	5,0	38	0,3	99,9	0,1	0,2	818	9,7	64,3	35,7	4,8
1/2	12500	477	2,6	88,6	11,4	3,3	9	0,1	99,9	0,1	0,0	548	6,5	70,8	29,2	3,2
3/8	9500	575	3,1	91,7	8,3	3,9	5	0,0	100,0	0,0	0,0	666	7,9	78,7	21,3	3,9
1/4	6300	409	2,2	93,9	6,1	2,8	2	0,0	100,0	0,0	0,0	475	5,6	84,4	15,6	2,8
6	3350	379	2,0	96,0	4,0	2,6	1	0,0	100,0	0,0	0,0	441	5,2	89,6	10,4	2,6
12	1700	213	1,1	97,1	2,9	1,5	0	0,0	100,0	0,0	0,0	248	2,9	92,6	7,4	1,5
30	600	165	0,9	98,0	2,0	1,1	0	0,0	100,0	0,0	0,0	192	2,3	94,8	5,2	1,1
50	300	73	0,4	98,4	1,6	0,5	0	0,0	100,0	0,0	0,0	85	1,0	95,9	4,1	0,5
70	212	37	0,2	98,6	1,4	0,3	0	0,0	100,0	0,0	0,0	43	0,5	96,4	3,6	0,3
-70	150	263	1,4	100,0	0,0	1,8	0	0,0	100,0	0,0	0,0	306	3,6	100,0	0,0	1,8

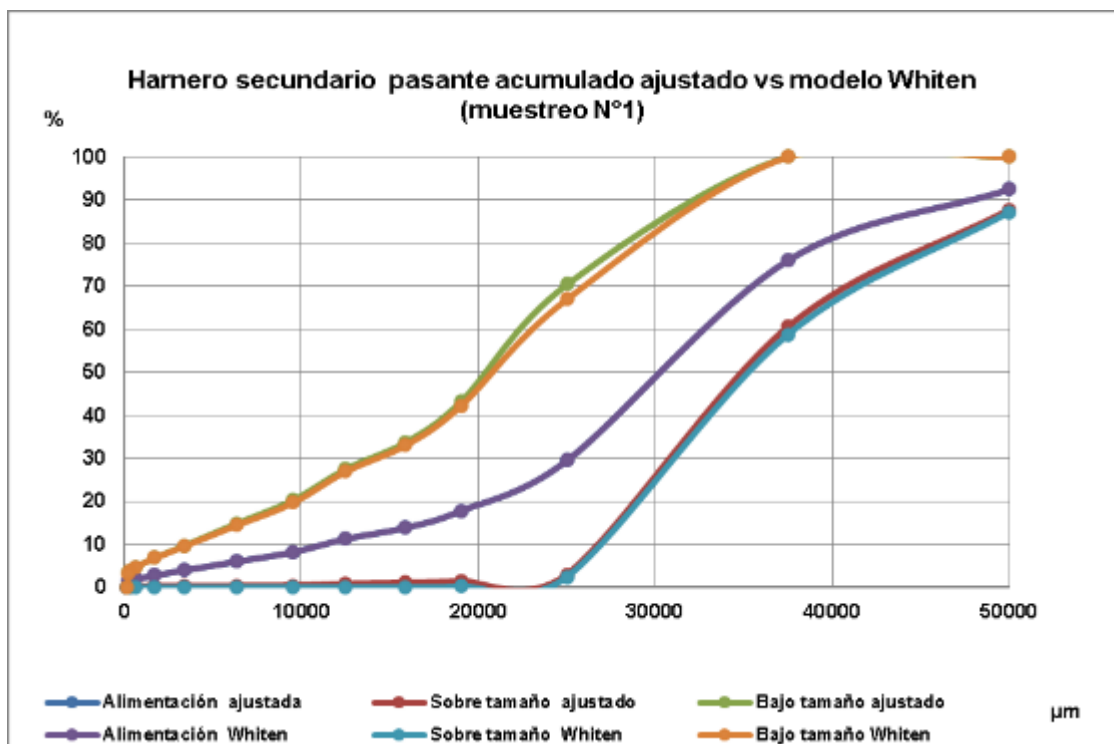


Figura A.2: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.

Tabla A.41 Harnero secundario muestras ajustadas N°2.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra		2														
Flujo	Ton/h	226,3					109,6						116,7			
Peso	grs	33108					19852						19889			
Vel.	m/s	1,899					1,534						1,63			
Malla	Abert.	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo
Ty	[µm]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]
2	50000	1903	5,7	5,7	94,3	13,0	2355	11,9	11,9	88,1	13,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1248	3,8	9,5	90,5	8,5	1545	7,8	19,6	80,4	8,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	14706	44,4	53,9	46,1	100,5	14724	74,2	93,8	6,2	81,3	3276	16,5	16,5	83,5	19,2
3/4	19000	5342	16,1	70,1	29,9	36,5	621	3,1	96,9	3,1	3,4	5639	28,4	44,8	55,2	33,1
5/8	15875	1766	5,3	75,4	24,6	12,1	133	0,7	97,6	2,4	0,7	1932	9,7	54,5	45,5	11,3
1/2	12500	1754	5,3	80,7	19,3	12,0	122	0,6	98,2	1,8	0,7	1928	9,7	64,2	35,8	11,3
3/8	9500	1368	4,1	84,8	15,2	9,4	122	0,6	98,8	1,2	0,7	1479	7,4	71,7	28,3	8,7
1/4	6300	1038	3,1	88,0	12,0	7,1	22	0,1	99,0	1,0	0,1	1189	6,0	77,6	22,4	7,0
6	3350	1115	3,4	91,3	8,7	7,6	22	0,1	99,1	0,9	0,1	1279	6,4	84,1	15,9	7,5
12	1700	757	2,3	93,6	6,4	5,2	18	0,1	99,2	0,8	0,1	866	4,4	88,4	11,6	5,1
30	600	739	2,2	95,9	4,1	5,1	25	0,1	99,3	0,7	0,1	838	4,2	92,6	7,4	4,9
50	300	356	1,1	96,9	3,1	2,4	21	0,1	99,4	0,6	0,1	394	2,0	94,6	5,4	2,3
70	212	149	0,5	97,4	2,6	1,0	13	0,1	99,5	0,5	0,1	162	0,8	95,4	4,6	0,9
-70	150	867	2,6	100,0	0,0	5,9	108	0,5	100,0	0,0	0,6	909	4,6	100,0	0,0	5,3

Tabla A.42 Harnero secundario modelo Whiten N°2.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		2														
Flujo	Ton/h	226,3					109,7					116,7				
Peso	grs	33108					19859					19883				
Vel.	m/h	1,899					1,534					1,63				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	1903	5,7	5,7	94,3	13,0	2355	11,9	11,9	88,1	13,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1248	3,8	9,5	90,5	8,5	1545	7,8	19,6	80,4	8,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	14706	44,4	53,9	46,1	100,5	14372	72,4	92,0	8,0	79,4	3607	18,1	18,1	81,9	21,2
3/4	19000	5342	16,1	70,1	29,9	36,5	1387	7,0	99,0	1,0	7,7	4918	24,7	42,9	57,1	28,9
5/8	15875	1766	5,3	75,4	24,6	12,1	126	0,6	99,6	0,4	0,7	1939	9,8	52,6	47,4	11,4
1/2	12500	1754	5,3	80,7	19,3	12,0	44	0,2	99,8	0,2	0,2	2002	10,1	62,7	37,3	11,7
3/8	9500	1368	4,1	84,8	15,2	9,4	15	0,1	99,9	0,1	0,1	1579	7,9	70,6	29,4	9,3
1/4	6300	1038	3,1	88,0	12,0	7,1	6	0,0	100,0	0,0	0,0	1204	6,1	76,7	23,3	7,1
6	3350	1115	3,4	91,3	8,7	7,6	4	0,0	100,0	0,0	0,0	1295	6,5	83,2	16,8	7,6
12	1700	757	2,3	93,6	6,4	5,2	2	0,0	100,0	0,0	0,0	880	4,4	87,6	12,4	5,2
30	600	739	2,2	95,9	4,1	5,1	2	0,0	100,0	0,0	0,0	859	4,3	92,0	8,0	5,0
50	300	356	1,1	96,9	3,1	2,4	1	0,0	100,0	0,0	0,0	413	2,1	94,0	6,0	2,4
70	212	149	0,5	97,4	2,6	1,0	0	0,0	100,0	0,0	0,0	173	0,9	94,9	5,1	1,0
-70	150	867	2,6	100,0	0,0	5,9	0	0,0	100,0	0,0	0,0	1011	5,1	100,0	0,0	5,9

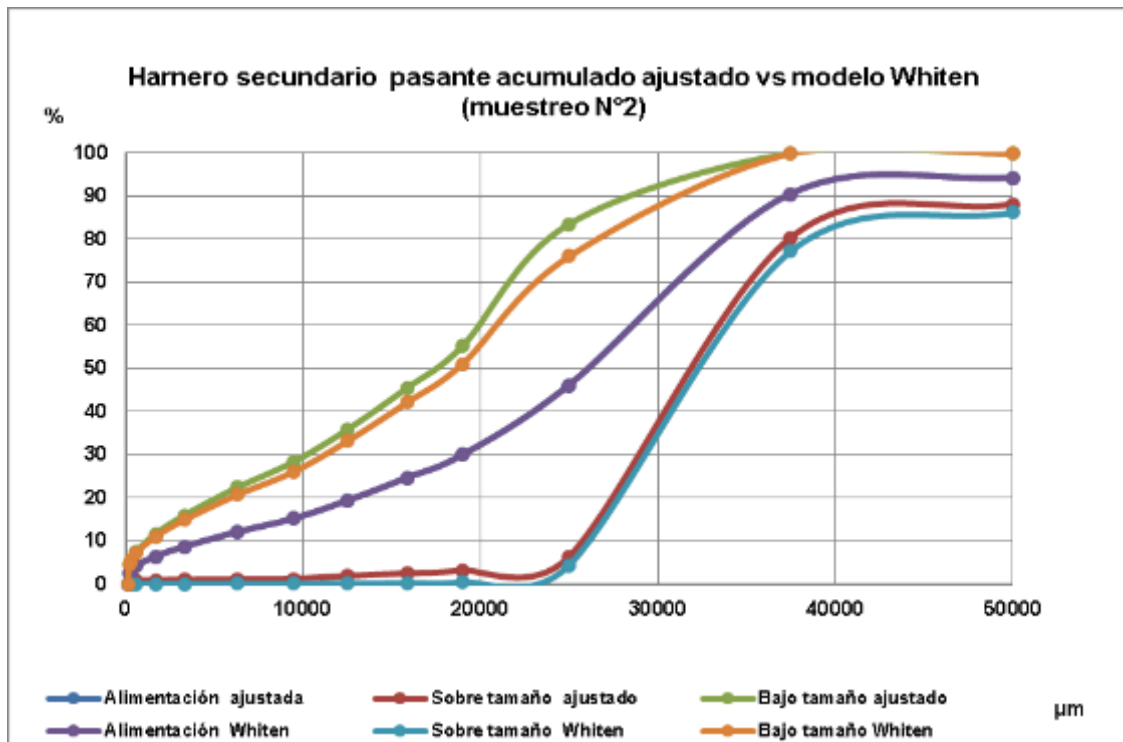


Figura A.3: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.

Tabla A.43 Harnero secundario muestras ajustadas N°3.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra		3														
Flujo	Ton/h	248,0					103,6						144,4			
Peso	grs	36273					18761						24603			
Vel.	m/s	1,899					1,534						1,63			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	547	1,5	1,5	98,5	3,7	677	3,6	3,6	96,4	3,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1096	3,0	4,5	95,5	7,5	1357	7,2	10,8	89,2	7,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	15689	43,3	47,8	52,2	107,3	15380	82,0	92,8	7,2	84,9	3804	15,5	15,5	84,5	22,3
3/4	19000	5884	16,2	64,0	36,0	40,2	1049	5,6	98,4	1,6	5,8	5868	23,9	39,3	60,7	34,4
5/8	15875	1930	5,3	69,3	30,7	13,2	45	0,2	98,7	1,3	0,2	2207	9,0	48,3	51,7	12,9
1/2	12500	1347	3,7	73,0	27,0	9,2	38	0,2	98,9	1,1	0,2	1533	6,2	54,5	45,5	9,0
3/8	9500	1590	4,4	77,4	22,6	10,9	27	0,1	99,0	1,0	0,2	1826	7,4	61,9	38,1	10,7
1/4	6300	1577	4,3	81,8	18,2	10,8	22	0,1	99,1	0,9	0,1	1817	7,4	69,3	30,7	10,7
6	3350	1642	4,5	86,3	13,7	11,2	20	0,1	99,2	0,8	0,1	1894	7,7	77,0	23,0	11,1
12	1700	1141	3,1	89,4	10,6	7,8	14	0,1	99,3	0,7	0,1	1316	5,3	82,4	17,6	7,7
30	600	1053	2,9	92,3	7,7	7,2	18	0,1	99,4	0,6	0,1	1210	4,9	87,3	12,7	7,1
50	300	522	1,4	93,8	6,2	3,6	14	0,1	99,5	0,5	0,1	595	2,4	89,7	10,3	3,5
70	212	260	0,7	94,5	5,5	1,8	10	0,1	99,5	0,5	0,1	293	1,2	90,9	9,1	1,7
-70	150	1994	5,5	100,0	0,0	13,6	88	0,5	100,0	0,0	0,5	2239	9,1	100,0	0,0	13,1

Tabla A.44 Harnero secundario modelo Whiten N°3.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		3														
Flujo	Ton/h	248,0					99,7						148,2			
Peso	grs	36273					18060						25263			
Vel.	m/h	1,899					1,534						1,63			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	547	1,5	1,5	98,5	3,7	677	3,8	3,8	96,2	3,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1096	3,0	4,5	95,5	7,5	1357	7,5	11,3	88,7	7,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	15689	43,3	47,8	52,2	107,3	14680	81,3	92,6	7,4	81,1	4463	17,7	17,7	82,3	26,2
3/4	19000	5884	16,2	64,0	36,0	40,2	1190	6,6	99,1	0,9	6,6	5735	22,7	40,4	59,6	33,7
5/8	15875	1930	5,3	69,3	30,7	13,2	102	0,6	99,7	0,3	0,6	2153	8,5	48,9	51,1	12,6
1/2	12500	1347	3,7	73,0	27,0	9,2	24	0,1	99,8	0,2	0,1	1547	6,1	55,0	45,0	9,1
3/8	9500	1590	4,4	77,4	22,6	10,9	13	0,1	99,9	0,1	0,1	1840	7,3	62,3	37,7	10,8
1/4	6300	1577	4,3	81,8	18,2	10,8	6	0,0	99,9	0,1	0,0	1832	7,3	69,5	30,5	10,7
6	3350	1642	4,5	86,3	13,7	11,2	4	0,0	100,0	0,0	0,0	1909	7,6	77,1	22,9	11,2
12	1700	1141	3,1	89,4	10,6	7,8	2	0,0	100,0	0,0	0,0	1327	5,3	82,4	17,6	7,8
30	600	1053	2,9	92,3	7,7	7,2	2	0,0	100,0	0,0	0,0	1225	4,9	87,2	12,8	7,2
50	300	522	1,4	93,8	6,2	3,6	1	0,0	100,0	0,0	0,0	608	2,4	89,6	10,4	3,6
70	212	260	0,7	94,5	5,5	1,8	0	0,0	100,0	0,0	0,0	302	1,2	90,8	9,2	1,8
-70	150	1994	5,5	100,0	0,0	13,6	0	0,0	100,0	0,0	0,0	2322	9,2	100,0	0,0	13,6

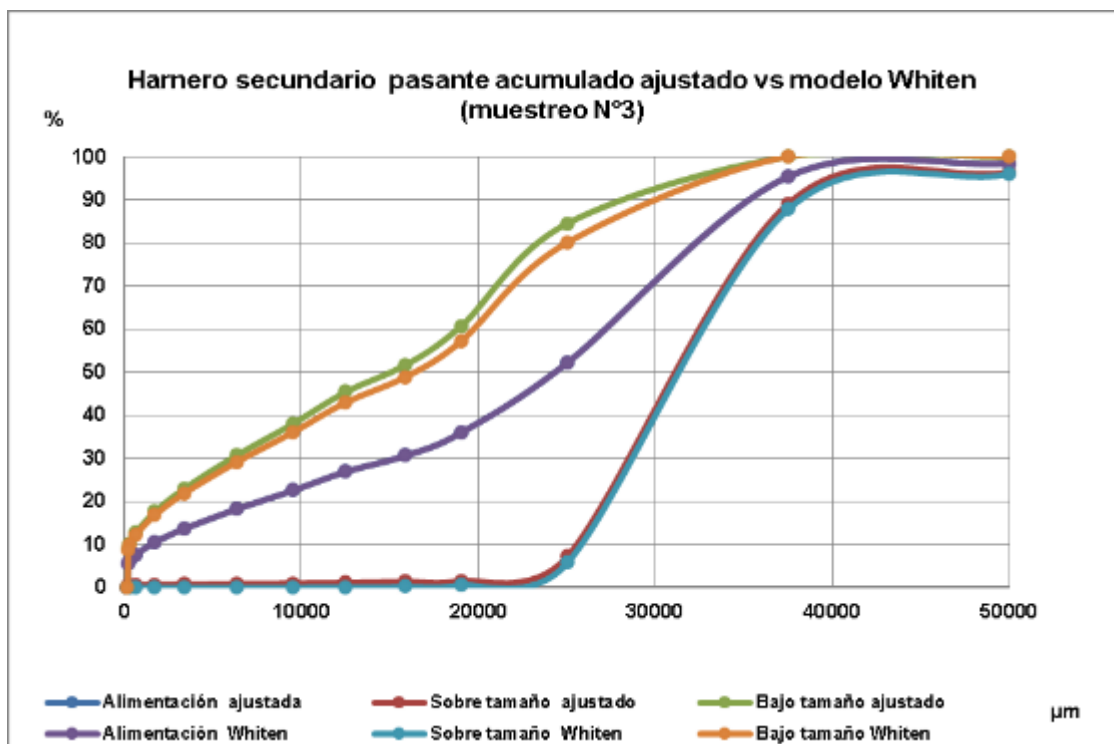


Figura A.4: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.

Tabla A.45. Harnero secundario muestras ajustadas N°4.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange					
Muestra		4															
Flujo	Ton/h	448,3					166,1					282,2					
Peso	grs	65571					30076					48087					
Vel.	m/s	1,899					1,534					1,63					
Malla Ty	Abert. [µm]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	6349	9,7	9,7	90,3	43,4	7859	26,1	26,1	73,9	43,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	3111	4,7	14,4	85,6	21,3	3851	12,8	38,9	61,1	21,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	16768	25,6	40,0	60,0	114,6	16182	53,8	92,7	7,3	89,4	4306	9,0	9,0	91,0	25,3	
3/4	19000	6868	10,5	50,5	49,5	46,9	1294	4,3	97,0	3,0	7,1	6783	14,1	23,1	76,9	39,8	
5/8	15875	2930	4,5	54,9	45,1	20,0	214	0,7	97,8	2,2	1,2	3212	6,7	29,7	70,3	18,8	
1/2	12500	3141	4,8	59,7	40,3	21,5	180	0,6	98,4	1,6	1,0	3490	7,3	37,0	63,0	20,5	
3/8	9500	3924	6,0	65,7	34,3	26,8	132	0,4	98,8	1,2	0,7	4448	9,2	46,2	53,8	26,1	
1/4	6300	4344	6,6	72,3	27,7	29,7	133	0,4	99,2	0,8	0,7	4936	10,3	56,5	43,5	29,0	
6	3350	4536	6,9	79,3	20,7	31,0	55	0,2	99,4	0,6	0,3	5233	10,9	67,4	32,6	30,7	
12	1700	2715	4,1	83,4	16,6	18,6	26	0,1	99,5	0,5	0,1	3138	6,5	73,9	26,1	18,4	
30	600	2813	4,3	87,7	12,3	19,2	26	0,1	99,6	0,4	0,1	3252	6,8	80,7	19,3	19,1	
50	300	1442	2,2	89,9	10,1	9,9	17	0,1	99,6	0,4	0,1	1664	3,5	84,1	15,9	9,8	
70	212	644	1,0	90,9	9,1	4,4	9	0,0	99,7	0,3	0,0	742	1,5	85,7	14,3	4,4	
-70	150	5988	9,1	100,0	0,0	40,9	98	0,3	100,0	0,0	0,5	6884	14,3	100,0	0,0	40,4	

Tabla A.46 Harnero secundario modelo Whiten N°4.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		4														
Flujo	Ton/h	448,3					166,0					282,3				
Peso	grs	65571					30063					48100				
Vel.	m/h	1,899					1,534					1,63				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	6349	9,7	9,7	90,3	43,4	7859	26,1	26,1	73,9	43,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3111	4,7	14,4	85,6	21,3	3851	12,8	39,0	61,0	21,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	16768	25,6	40,0	60,0	114,6	16272	54,1	93,1	6,9	89,9	4221	8,8	8,8	91,2	24,8
3/4	19000	6868	10,5	50,5	49,5	46,9	1710	5,7	98,8	1,2	9,4	6391	13,3	22,1	77,9	37,5
5/8	15875	2930	4,5	54,9	45,1	20,0	199	0,7	99,4	0,6	1,1	3226	6,7	28,8	71,2	18,9
1/2	12500	3141	4,8	59,7	40,3	21,5	74	0,2	99,7	0,3	0,4	3590	7,5	36,2	63,8	21,1
3/8	9500	3924	6,0	65,7	34,3	26,8	41	0,1	99,8	0,2	0,2	4533	9,4	45,7	54,3	26,6
1/4	6300	4344	6,6	72,3	27,7	29,7	23	0,1	99,9	0,1	0,1	5040	10,5	56,1	43,9	29,6
6	3350	4536	6,9	79,3	20,7	31,0	15	0,1	99,9	0,1	0,1	5271	11,0	67,1	32,9	30,9
12	1700	2715	4,1	83,4	16,6	18,6	7	0,0	100,0	0,0	0,0	3156	6,6	73,7	26,3	18,5
30	600	2813	4,3	87,7	12,3	19,2	7	0,0	100,0	0,0	0,0	3271	6,8	80,5	19,5	19,2
50	300	1442	2,2	89,9	10,1	9,9	3	0,0	100,0	0,0	0,0	1677	3,5	83,9	16,1	9,8
70	212	644	1,0	90,9	9,1	4,4	1	0,0	100,0	0,0	0,0	749	1,6	85,5	14,5	4,4
-70	150	5988	9,1	100,0	0,0	40,9	1	0,0	100,0	0,0	0,0	6975	14,5	100,0	0,0	40,9

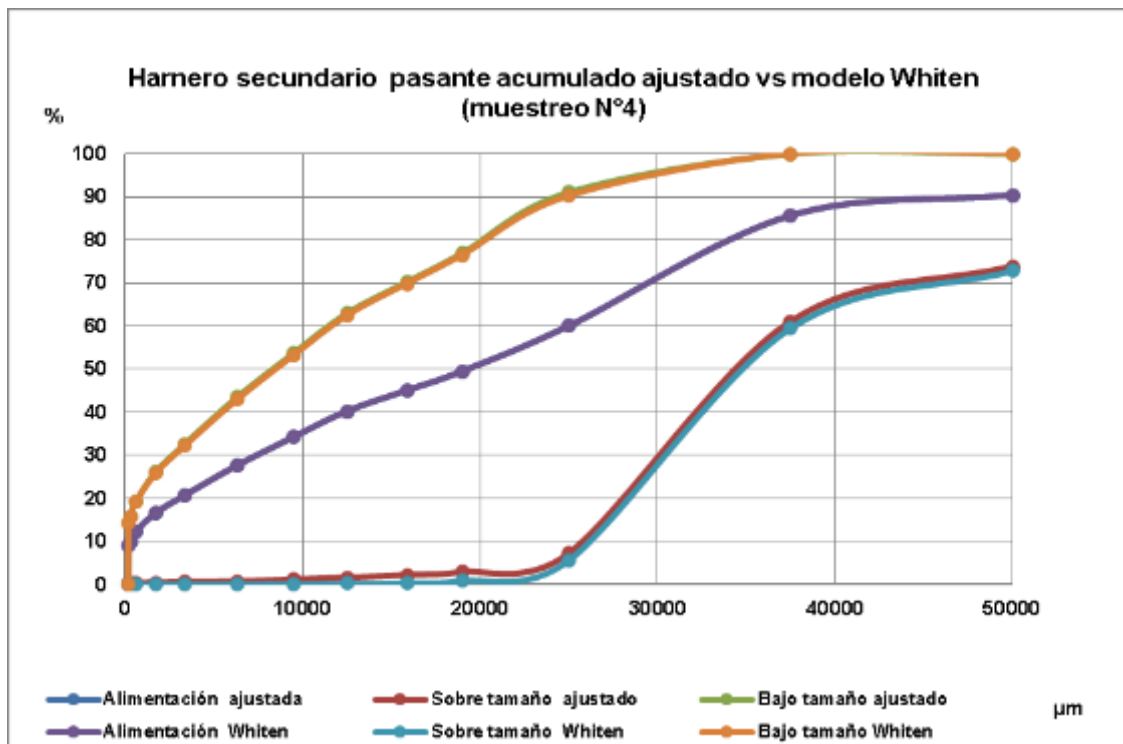


Figura A.5: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.

Tabla A.47. Harnero secundario muestras ajustadas N°5.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange					
Muestra		5															
Flujo	Ton/h	499,8					194,9						304,8				
Peso	grs	73102					35302						51943				
Vel.	m/s	1,899					1,534						1,63				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	7138	9,8	9,8	90,2	48,8	8836	25,0	25,0	75,0	48,8	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	3073	4,2	14,0	86,0	21,0	3804	10,8	35,8	64,2	21,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	16918	23,1	37,1	62,9	115,7	17751	50,3	86,1	13,9	98,0	487	5,8	5,8	94,2	17,6	
3/4	19000	10222	14,0	51,1	48,9	69,9	3319	9,4	95,5	4,5	18,3	1424	16,9	22,7	77,3	51,6	
5/8	15875	4363	6,0	57,1	42,9	29,8	318	0,9	96,4	3,6	1,8	775	9,2	31,9	68,1	28,1	
1/2	12500	3913	5,4	62,4	37,6	26,7	286	0,8	97,2	2,8	1,6	695	8,3	40,2	59,8	25,2	
3/8	9500	4585	6,3	68,7	31,3	31,3	213	0,6	97,8	2,2	1,2	833	9,9	50,1	49,9	30,2	
1/4	6300	4943	6,8	75,4	24,6	33,8	105	0,3	98,1	1,9	0,6	917	10,9	61,0	39,0	33,2	
6	3350	4566	6,2	81,7	18,3	31,2	97	0,3	98,4	1,6	0,5	847	10,1	71,0	29,0	30,7	
12	1700	3033	4,1	85,8	14,2	20,7	69	0,2	98,6	1,4	0,4	562	6,7	77,7	22,3	20,4	
30	600	2832	3,9	89,7	10,3	19,4	81	0,2	98,8	1,2	0,4	522	6,2	83,9	16,1	18,9	
50	300	1463	2,0	91,7	8,3	10,0	52	0,1	98,9	1,1	0,3	268	3,2	87,1	12,9	9,7	
70	212	740	1,0	92,7	7,3	5,1	28	0,1	99,0	1,0	0,2	136	1,6	88,7	11,3	4,9	
-70	150	5314	7,3	100,0	0,0	36,3	343	1,0	100,0	0,0	1,9	951	11,3	100,0	0,0	34,4	

Tabla A.48. Harnero secundario modelo Whiten N°5.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten					
Muestra		5															
Flujo	Ton/h	499,8					189,0						310,8				
Peso	grs	73102					34219						52962				
Vel.	m/h	1,899					1,534						1,63				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	7138	9,8	9,8	90,2	48,8	8836	25,8	25,8	74,2	48,8	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	3073	4,2	14,0	86,0	21,0	3804	11,1	36,9	63,1	21,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	16918	23,1	37,1	62,9	115,7	17295	50,5	87,5	12,5	95,5	3434	6,5	6,5	93,5	20,2	
3/4	19000	10222	14,0	51,1	48,9	69,9	3527	10,3	97,8	2,2	19,5	8590	16,2	22,7	77,3	50,4	
5/8	15875	4363	6,0	57,1	42,9	29,8	445	1,3	99,09	0,91	2,5	4664	8,8	31,5	68,5	27,4	
1/2	12500	3913	5,4	62,4	37,6	26,7	142	0,4	99,5	0,5	0,8	4424	8,4	39,9	60,1	26,0	
3/8	9500	4585	6,3	68,7	31,3	31,3	74	0,2	99,7	0,3	0,4	5271	10,0	49,8	50,2	30,9	
1/4	6300	4943	6,8	75,4	24,6	33,8	41	0,1	99,8	0,2	0,2	5720	10,8	60,6	39,4	33,6	
6	3350	4566	6,2	81,7	18,3	31,2	24	0,1	99,9	0,1	0,1	5298	10,0	70,6	29,4	31,1	
12	1700	3033	4,1	85,8	14,2	20,7	12	0,0	99,9	0,1	0,1	3522	6,7	77,3	22,7	20,7	
30	600	2832	3,9	89,7	10,3	19,4	10	0,0	100,0	0,0	0,1	3290	6,2	83,5	16,5	19,3	
50	300	1463	2,0	91,7	8,3	10,0	5	0,0	100,0	0,0	0,0	1699	3,2	86,7	13,3	10,0	
70	212	740	1,0	92,7	7,3	5,1	3	0,0	100,0	0,0	0,0	860	1,6	88,3	11,7	5,0	
-70	150	5314	7,3	100,0	0,0	36,3	1	0,0	100,0	0,0	0,0	6190	11,7	100,0	0,0	36,3	

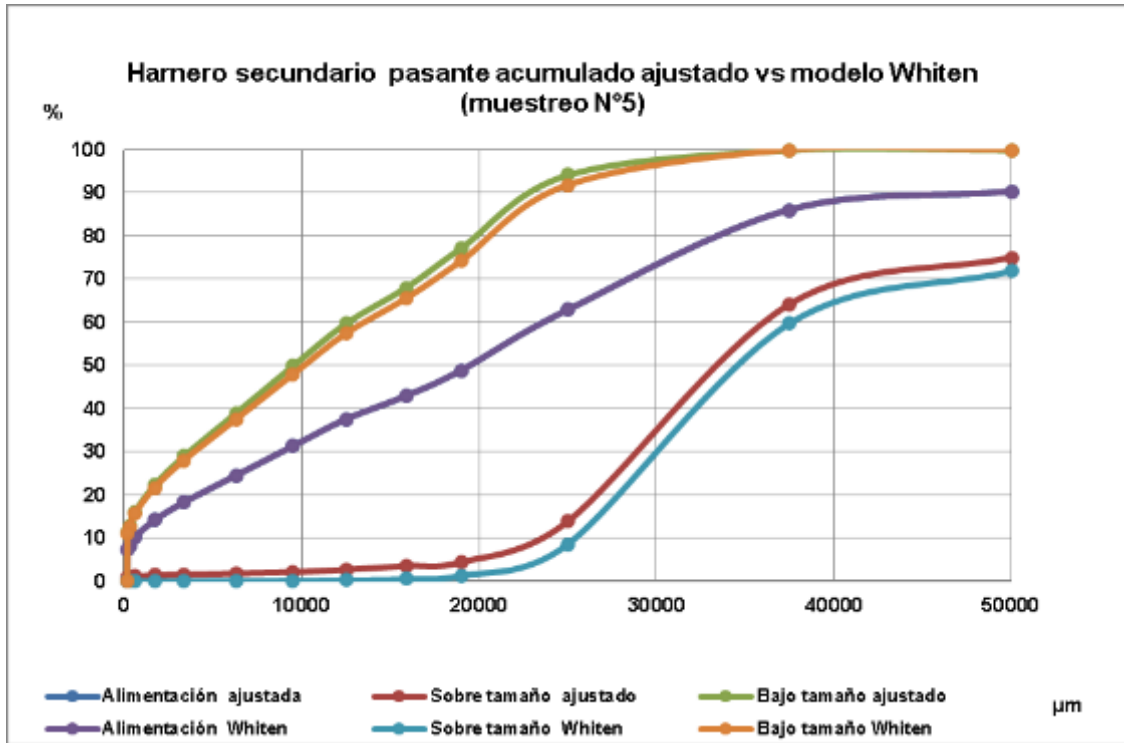


Figura A.6: Harnero secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.

A.4.2. Muestreo harnero terciario ajustadas y modelo Whiten

Tabla A.49. Harnero terciario muestras ajustadas N°1.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra																
Flujo	Ton/h	54,1					25,5					28,5				
Peso	grs	9118					4789					5561				
Vel.	m/s	1,65					1,48					1,426				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	1215	13,3	13,3	86,7	7,2	1352	28,2	28,2	71,8	7,2	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	1677	18,4	31,7	68,3	9,9	1866	39,0	67,2	32,8	9,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	766	8,4	40,1	59,9	4,5	822	17,2	84,4	15,6	4,4	31	0,6	0,6	99,4	0,2
1/2	12500	826	9,1	49,2	50,8	4,9	628	13,1	97,5	2,5	3,3	303	5,5	6,0	94,0	1,6
3/8	9500	611	6,7	55,9	44,1	3,6	87	1,8	99,3	0,7	0,5	615	11,1	17,1	82,9	3,2
1/4	6300	736	8,1	64,0	36,0	4,4	13	0,3	99,6	0,4	0,1	837	15,1	32,1	67,9	4,3
6	3350	731	8,0	72,0	28,0	4,3	4	0,1	99,7	0,3	0,0	840	15,1	47,2	52,8	4,3
12	1700	484	5,3	77,3	22,7	2,9	3	0,1	99,7	0,3	0,0	556	10,0	57,2	42,8	2,9
30	600	498	5,5	82,7	17,3	3,0	2	0,0	99,8	0,2	0,0	573	10,3	67,5	32,5	2,9
50	300	268	2,9	85,7	14,3	1,6	1	0,0	99,8	0,2	0,0	309	5,6	73,1	26,9	1,6
70	212	134	1,5	87,1	12,9	0,8	1	0,0	99,8	0,2	0,0	153	2,8	75,8	24,2	0,8
-70	150	1172	12,9	100,0	0,0	6,9	9	0,2	100,0	0,0	0,0	1344	24,2	100,0	0,0	6,9

Tabla A.50. Harnero terciario modelo Whiten N°1.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten					
Muestra		1															
Flujo	Ton/h	54,1					25,4						28,6				
Peso	grs	9118					4773						5578				
Vel.	m/h	1,65					1,48						1,426				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	0	0,0	0,0	100	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	1215	13,3	13,3	87	7,2	1352	28,3	28,3	71,7	7,2	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
3/4	19000	1677	18,4	31,7	68	9,9	1866	39,1	67,4	32,6	9,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
5/8	15875	766	8,4	40,1	60	4,5	714	15,0	82,4	17,6	3,8	144	2,6	2,6	97,4	0,7	
1/2	12500	826	9,1	49,2	51	4,9	555	11,6	94,0	6,0	3,0	378	6,8	9,4	90,6	1,9	
3/8	9500	611	6,7	55,9	44	3,6	151	3,2	97,2	2,8	0,8	549	9,8	19,2	80,8	2,8	
1/4	6300	736	8,1	64,0	36	4,4	65	1,4	98,5	1,5	0,3	783	14,0	33,2	66,8	4,0	
6	3350	731	8,0	72,0	28	4,3	32	0,7	99,2	0,8	0,2	810	14,5	47,8	52,2	4,2	
12	1700	484	5,3	77,3	23	2,9	15	0,3	99,5	0,5	0,1	544	9,7	57,5	42,5	2,8	
30	600	498	5,5	82,7	17	3,0	13	0,3	99,8	0,2	0,1	562	10,1	67,6	32,4	2,9	
50	300	268	2,9	85,7	14	1,6	7	0,1	99,9	0,1	0,0	303	5,4	73,0	27,0	1,6	
70	212	134	1,5	87,1	13	0,8	3	0,1	100,0	0,0	0,0	151	2,7	75,7	24,3	0,8	
-70	150	1172	12,9	100,0	0	6,9	0	0,0	100,0	0,0	0,0	1353	24,3	100,0	0,0	6,9	

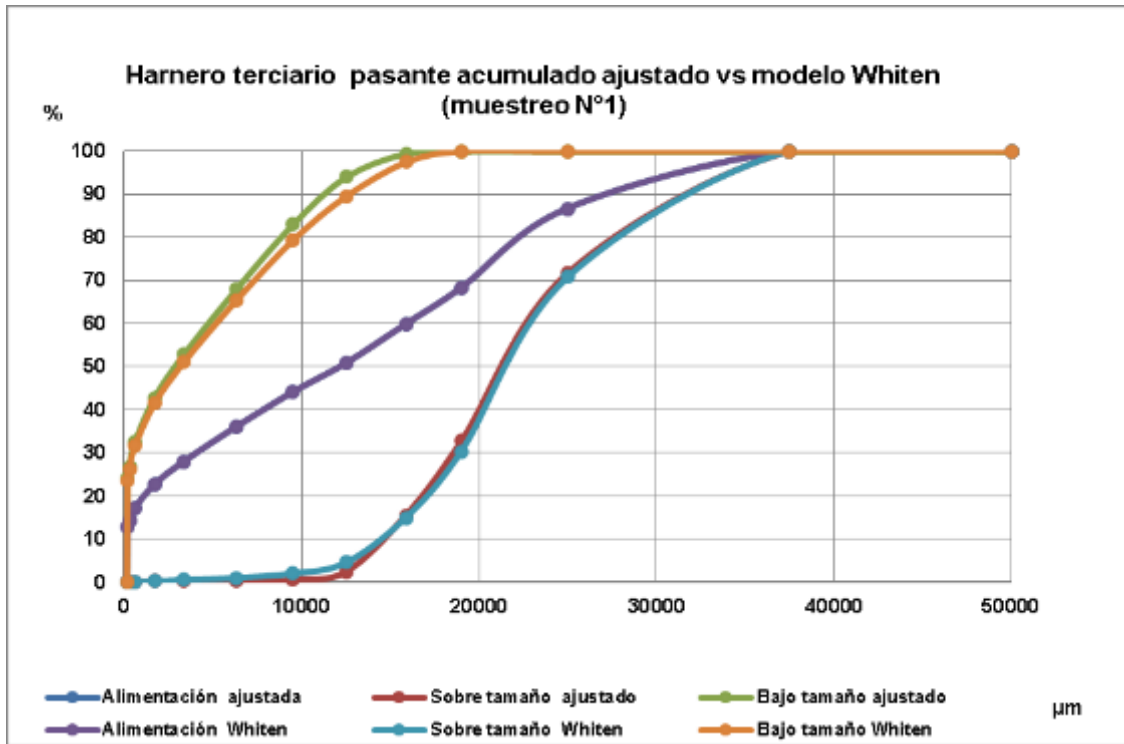


Figura A.7: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.

Tabla A.51. Harnero Terciario Muestras ajustadas N°2.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra		2														
Flujo	Ton/h	90,0					34,3						55,7			
Peso	grs	15186					6443						10852			
Vel.	m/s	1,65					1,48						1,426			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	1535	10,1	10,1	89,9	9,1	1709	26,5	26,5	73,5	9,1	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	2472	16,3	26,4	73,6	14,7	2750	42,7	69,2	30,8	14,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	1082	7,1	33,5	66,5	6,4	1082	16,8	86,0	14,0	5,8	127	1,2	1,2	98,8	0,7
1/2	12500	1135	7,5	41,0	59,0	6,7	653	10,1	96,1	3,9	3,5	633	5,8	7,0	93,0	3,3
3/8	9500	1155	7,6	48,6	51,4	6,8	212	3,3	99,4	0,6	1,1	1113	10,3	17,3	82,7	5,7
1/4	6300	1540	10,1	58,7	41,3	9,1	7	0,1	99,5	0,5	0,0	1771	16,3	33,6	66,4	9,1
6	3350	1507	9,9	68,7	31,3	8,9	6	0,1	99,6	0,4	0,0	1735	16,0	49,6	50,4	8,9
12	1700	971	6,4	75,0	25,0	5,8	2	0,0	99,7	0,3	0,0	1119	10,3	59,9	40,1	5,7
30	600	910	6,0	81,0	19,0	5,4	2	0,0	99,7	0,3	0,0	1049	9,7	69,5	30,5	5,4
50	300	471	3,1	84,1	15,9	2,8	1	0,0	99,7	0,3	0,0	543	5,0	74,6	25,4	2,8
70	212	266	1,8	85,9	14,1	1,6	1	0,0	99,7	0,3	0,0	306	2,8	77,4	22,6	1,6
-70	150	2142	14,1	100,0	0,0	12,7	18	0,3	100,0	0,0	0,1	2456	22,6	100,0	0,0	12,6

Tabla A.52. Harnero secundario modelo Whiten N°2.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		2														
Flujo	Ton/h	90,0					35,5						54,5			
Peso	grs	15186					6671						10615			
Vel.	m/h	1,65					1,48						1,426			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	1535	10,1	10,1	89,9	9,1	1709	25,6	25,6	74,4	9,1	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	2472	16,3	26,4	73,6	14,7	2750	41,2	66,8	33,2	14,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	1082	7,1	33,5	66,5	6,4	1007	15,1	81,9	18,1	5,4	204	1,9	1,9	98,1	1,0
1/2	12500	1135	7,5	41,0	59,0	6,7	716	10,7	92,7	7,3	3,8	567	5,3	7,3	92,7	2,9
3/8	9500	1155	7,6	48,6	51,4	6,8	253	3,8	96,5	3,5	1,3	1071	10,1	17,4	82,6	5,5
1/4	6300	1540	10,1	58,7	41,3	9,1	117	1,8	98,2	1,8	0,6	1656	15,6	33,0	67,0	8,5
6	3350	1507	9,9	68,7	31,3	8,9	57	0,9	99,1	0,9	0,3	1682	15,8	48,8	51,2	8,6
12	1700	971	6,4	75,0	25,0	5,8	25	0,4	99,5	0,5	0,1	1095	10,3	59,1	40,9	5,6
30	600	910	6,0	81,0	19,0	5,4	20	0,3	99,8	0,2	0,1	1030	9,7	68,8	31,2	5,3
50	300	471	3,1	84,1	15,9	2,8	10	0,1	99,9	0,1	0,1	534	5,0	73,9	26,1	2,7
70	212	266	1,8	85,9	14,1	1,6	6	0,1	100,0	0,0	0,0	301	2,8	76,7	23,3	1,5
-70	150	2142	14,1	100,0	0,0	12,7	0	0,0	100,0	0,0	0,0	2474	23,3	100,0	0,0	12,7

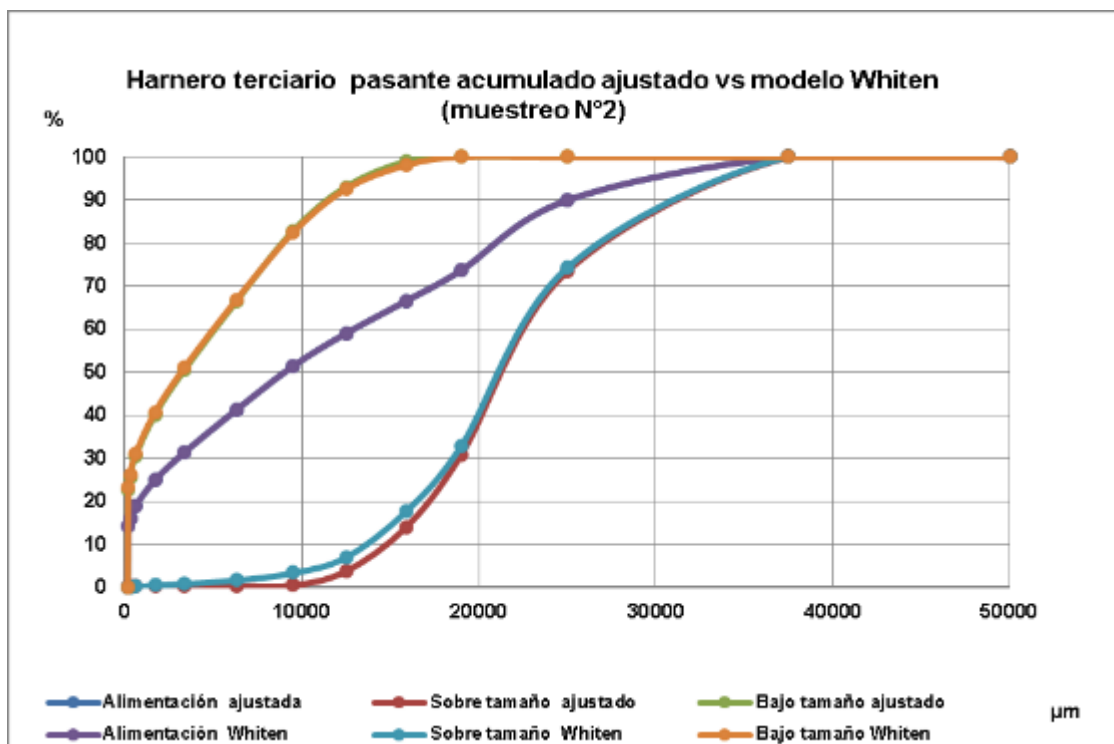


Figura A.8: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.

Tabla A.53. Harnero terciario muestras ajustadas N°3.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange					
Muestra		3															
Flujo	Ton/h	124,7					52,3										
Peso	grs	21029					9823										
Vel.	m/s	1,65					1,48										
Malla	Abert.	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	
	Ty	[µm]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]
	2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
	1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
	1	25000	940	4,5	4,5	95,5	5,6	1046	10,7	10,7	89,3	5,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0
	3/4	19000	2977	14,2	18,6	81,4	17,6	3162	32,2	42,8	57,2	16,8	156	1,1	1,1	98,9	0,8
	5/8	15875	3248	15,4	34,1	65,9	19,3	3088	31,4	74,3	25,7	16,5	547	3,9	5,0	95,0	2,8
	1/2	12500	3327	15,8	49,9	50,1	19,7	2187	22,3	96,5	3,5	11,7	1573	11,2	16,1	83,9	8,1
	3/8	9500	1641	7,8	57,7	42,3	9,7	243	2,5	99,0	1,0	1,3	1643	11,7	27,8	72,2	8,4
	1/4	6300	1418	6,7	64,4	35,6	8,4	15	0,2	99,2	0,8	0,1	1622	11,5	39,3	60,7	8,3
	6	3350	1523	7,2	71,7	28,3	9,0	11	0,1	99,3	0,7	0,1	1748	12,4	51,7	48,3	9,0
	12	1700	1141	5,4	77,1	22,9	6,8	7	0,1	99,4	0,6	0,0	1311	9,3	61,0	39,0	6,7
	30	600	1130	5,4	82,5	17,5	6,7	5	0,1	99,4	0,6	0,0	1300	9,2	70,2	29,8	6,7
	50	300	610	2,9	85,4	14,6	3,6	3	0,0	99,4	0,6	0,0	701	5,0	75,2	24,8	3,6
	70	212	341	1,6	87,0	13,0	2,0	2	0,0	99,5	0,5	0,0	392	2,8	78,0	22,0	2,0
	-70	150	2732	13,0	100,0	0,0	16,2	53	0,5	100,0	0,0	0,3	3100	22,0	100,0	0,0	15,9
			21029	100,0			124,7	9823	100,0			52,3	14094	100,0			72,4

Tabla A.54. Harnero secundario modelo Whiten N°3.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		3														
Flujo	Ton/h	124,7					53,3					71,3				
Peso	grs	21029					10012					13898				
Vel.	m/h	1,65					1,48					1,426				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	940	4,5	4,5	95,5	5,6	1046	10,5	10,5	89,5	5,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	2977	14,2	18,6	81,4	17,6	3313	33,1	43,5	56,5	17,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	3248	15,4	34,1	65,9	19,3	3022	30,2	73,7	26,3	16,1	616	4,4	4,4	95,6	3,2
1/2	12500	3327	15,8	49,9	50,1	19,7	2056	20,5	94,3	5,7	11,0	1709	12,3	16,7	83,3	8,8
3/8	9500	1641	7,8	57,7	42,3	9,7	345	3,5	97,7	2,3	1,8	1537	11,1	27,8	72,2	7,9
1/4	6300	1418	6,7	64,4	35,6	8,4	103	1,0	98,7	1,3	0,5	1531	11,0	38,8	61,2	7,9
6	3350	1523	7,2	71,7	28,3	9,0	55	0,5	99,3	0,7	0,3	1703	12,3	51,0	49,0	8,7
12	1700	1141	5,4	77,1	22,9	6,8	29	0,3	99,6	0,4	0,2	1289	9,3	60,3	39,7	6,6
30	600	1130	5,4	82,5	17,5	6,7	24	0,2	99,8	0,2	0,1	1281	9,2	69,5	30,5	6,6
50	300	610	2,9	85,4	14,6	3,6	12	0,1	99,9	0,1	0,1	692	5,0	74,5	25,5	3,6
70	212	341	1,6	87,0	13,0	2,0	7	0,1	100,0	0,0	0,0	387	2,8	77,3	22,7	2,0
-70	150	2732	13,0	100,0	0,0	16,2	0	0,0	100,0	0,0	0,0	3155	22,7	100,0	0,0	16,2

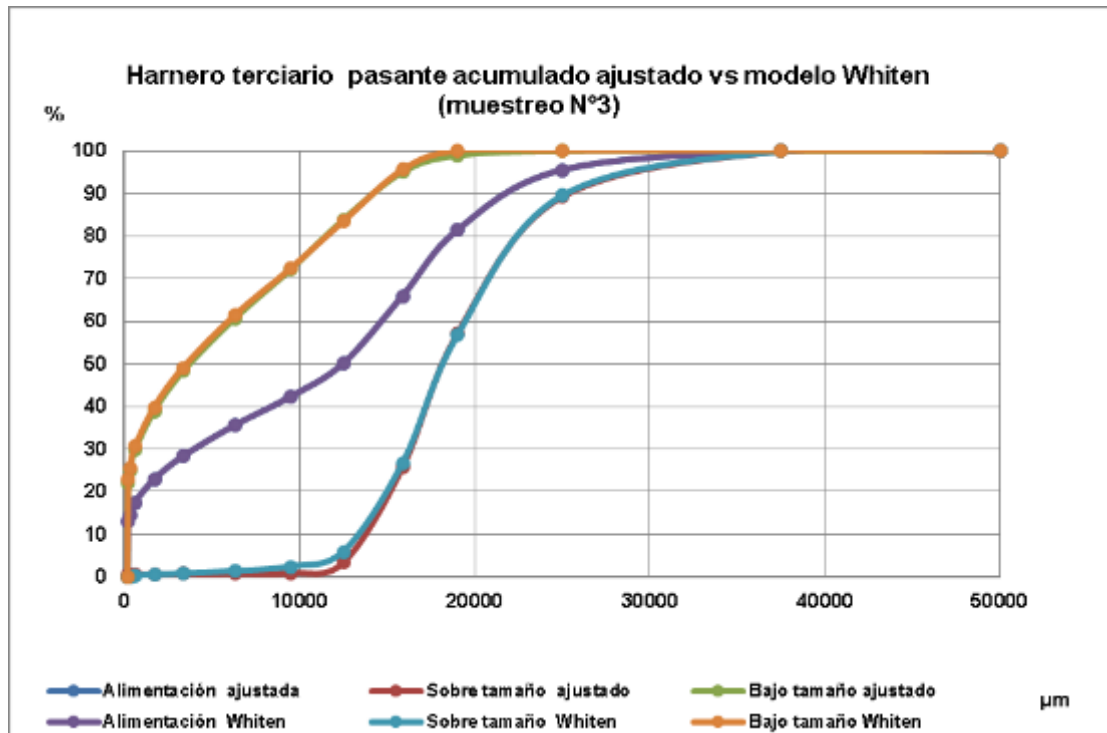


Figura A9: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.

Tabla A.55. Harnero terciario muestras ajustadas N°4.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra		4														
Flujo	Ton/h	259,0					84,7						174,3			
Peso	grs	43686					15905						33949			
Vel.	m/s	1,65					1,48						1,426			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	2575	5,9	5,9	94,1	15,3	2866	18,0	18,0	82,0	15,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	5490	12,6	18,5	81,5	32,5	5876	36,9	55,0	45,0	31,3	242	0,7	0,7	99,3	1,2
5/8	15875	4536	10,4	28,8	71,2	26,9	4290	27,0	81,9	18,1	22,9	786	2,3	3,0	97,0	4,0
1/2	12500	3441	7,9	36,7	63,3	20,4	2272	14,3	96,2	3,8	12,1	1616	4,8	7,8	92,2	8,3
3/8	9500	3025	6,9	43,6	56,4	17,9	387	2,4	98,7	1,3	2,1	3092	9,1	16,9	83,1	15,9
1/4	6300	3072	7,0	50,7	49,3	18,2	19	0,1	98,8	1,2	0,1	3528	10,4	27,3	72,7	18,1
6	3350	3829	8,8	59,4	40,6	22,7	14	0,1	98,9	1,1	0,1	4408	13,0	40,3	59,7	22,6
12	1700	3260	7,5	66,9	33,1	19,3	12	0,1	98,9	1,1	0,1	3753	11,1	51,3	48,7	19,3
30	600	3306	7,6	74,5	25,5	19,6	13	0,1	99,0	1,0	0,1	3805	11,2	62,5	37,5	19,5
50	300	2605	6,0	80,4	19,6	15,4	10	0,1	99,1	0,9	0,1	2998	8,8	71,4	28,6	15,4
70	212	1062	2,4	82,9	17,1	6,3	6	0,0	99,1	0,9	0,0	1220	3,6	75,0	25,0	6,3
-70	150	7487	17,1	100,0	0,0	44,4	139	0,9	100,0	0,0	0,7	8503	25,0	100,0	0,0	43,7

Tabla A.56. Harnero secundario modelo Whiten N°4.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		4														
Flujo	Ton/h	259,0					88,1						170,9			
Peso	grs	43686					16531						33299			
Vel.	m/h	1,65					1,48						1,426			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	2575	5,9	5,9	94,1	15,3	2866	17,3	17,3	82,7	15,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	5490	12,6	18,5	81,5	32,5	6109	37,0	54,3	45,7	32,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	4536	10,4	28,8	71,2	26,9	4219	25,5	79,8	20,2	22,5	860	2,6	2,6	97,4	4,4
1/2	12500	3441	7,9	36,7	63,3	20,4	2121	12,8	92,6	7,4	11,3	1773	5,3	7,9	92,1	9,1
3/8	9500	3025	6,9	43,6	56,4	17,9	634	3,8	96,5	3,5	3,4	2836	8,5	16,4	83,6	14,6
1/4	6300	3072	7,0	50,7	49,3	18,2	222	1,3	97,8	2,2	1,2	3317	10,0	26,4	73,6	17,0
6	3350	3829	8,8	59,4	40,6	22,7	137	0,8	98,7	1,3	0,7	4280	12,9	39,2	60,8	22,0
12	1700	3260	7,5	66,9	33,1	19,3	81	0,5	99,1	0,9	0,4	3681	11,1	50,3	49,7	18,9
30	600	3306	7,6	74,5	25,5	19,6	69	0,4	99,6	0,4	0,4	3747	11,3	61,5	38,5	19,2
50	300	2605	6,0	80,4	19,6	15,4	52	0,3	99,9	0,1	0,3	2955	8,9	70,4	29,6	15,2
70	212	1062	2,4	82,9	17,1	6,3	21	0,1	100,0	0,0	0,1	1205	3,6	74,0	26,0	6,2
-70	150	7487	17,1	100,0	0,0	44,4	1	0,0	100,0	0,0	0,0	8646	26,0	100,0	0,0	44,4

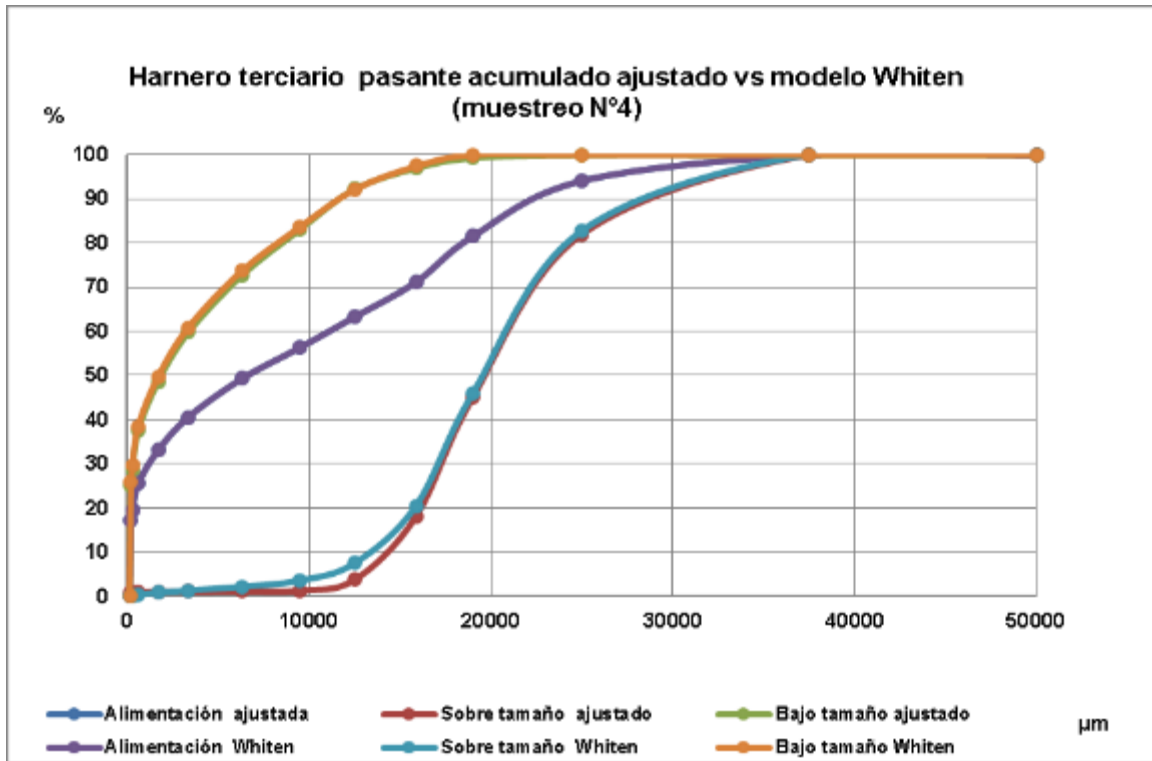


Figura A10: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.

Tabla A.57. Harnero terciario muestras ajustadas N° 5.

		Alimentación ajustada Lagrange					Sobre tamaño ajustada Lagrange					Bajo Tamaño ajustada Lagrange				
Muestra	5															
Flujo	Ton/h	372,5					109,2					263,3				
Peso	grs	62819					20487					51291				
Vel.	m/s	1,65					1,48					1,426				
Malla	Abert.	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo
Ty	[µm]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	3438	5,5	5,5	94,5	20,4	3826	18,7	18,7	81,3	20,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	5857	9,3	14,8	85,2	34,7	6358	31,0	49,7	50,3	33,9	166	0,3	0,3	99,7	0,9
5/8	15875	4818	7,7	22,5	77,5	28,6	3230	15,8	65,5	34,5	17,2	2213	4,3	4,6	95,4	11,4
1/2	12500	6039	9,6	32,1	67,9	35,8	4156	20,3	85,8	14,2	22,1	2662	5,2	9,8	90,2	13,7
3/8	9500	9325	14,8	46,9	53,1	55,3	1858	9,1	94,8	5,2	9,9	8842	17,2	27,1	72,9	45,4
1/4	6300	8052	12,8	59,7	40,3	47,7	734	3,6	98,4	1,6	3,9	8539	16,6	43,7	56,3	43,8
6	3350	7810	12,4	72,2	27,8	46,3	164	0,8	99,2	0,8	0,9	8850	17,3	61,0	39,0	45,4
12	1700	4629	7,4	79,5	20,5	27,4	34	0,2	99,4	0,6	0,2	5312	10,4	71,3	28,7	27,3
30	600	3619	5,8	85,3	14,7	21,5	20	0,1	99,5	0,5	0,1	4159	8,1	79,4	20,6	21,4
50	300	1511	2,4	87,7	12,3	9,0	10	0,0	99,5	0,5	0,1	1735	3,4	82,8	17,2	8,9
70	212	738	1,2	88,9	11,1	4,4	6	0,0	99,5	0,5	0,0	846	1,7	84,5	15,5	4,3
-70	150	6981	11,1	100,0	0,0	41,4	92	0,5	100,0	0,0	0,5	7967	15,5	100,0	0,0	40,9

Tabla A.58. Harnero secundario modelo Whiten N°5.

		Alimentación modelo Whiten					Sobre tamaño modelo Whiten					Bajo Tamaño modelo Whiten				
Muestra		5														
Flujo	Ton/h	372,5					117,1					255,3				
Peso	grs	62819					21987					49735				
Vel.	m/h	1,65					1,48					1,426				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	3438	5,5	5,5	94,5	20,4	3826	17,4	17,4	82,6	20,4	0	0,0	0,0	100,0	0,0
3/4	19000	5857	9,3	14,8	85,2	34,7	6518	29,6	47,0	53,0	34,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8	15875	4818	7,7	22,5	77,5	28,6	4486	20,4	67,5	32,5	23,9	909	1,8	1,8	98,2	4,7
1/2	12500	6039	9,6	32,1	67,9	35,8	3865	17,6	85,0	15,0	20,6	2964	6,0	7,8	92,2	15,2
3/8	9500	9325	14,8	46,9	53,1	55,3	2096	9,5	94,6	5,4	11,2	8594	17,3	25,1	74,9	44,1
1/4	6300	8052	12,8	59,7	40,3	47,7	632	2,9	97,4	2,6	3,4	8644	17,4	42,4	57,6	44,4
6	3350	7810	12,4	72,2	27,8	46,3	305	1,4	98,8	1,2	1,6	8704	17,5	59,9	40,1	44,7
12	1700	4629	7,4	79,5	20,5	27,4	126	0,6	99,4	0,6	0,7	5216	10,5	70,4	29,6	26,8
30	600	3619	5,8	85,3	14,7	21,5	82	0,4	99,8	0,2	0,4	4095	8,2	78,7	21,3	21,0
50	300	1511	2,4	87,7	12,3	9,0	33	0,1	99,9	0,1	0,2	1711	3,4	82,1	17,9	8,8
70	212	738	1,2	88,9	11,1	4,4	16	0,1	100,0	0,0	0,1	836	1,7	83,8	16,2	4,3
-70	150	6981	11,1	100,0	0,0	41,4	1	0,0	100,0	0,0	0,0	8062	16,2	100,0	0,0	41,4

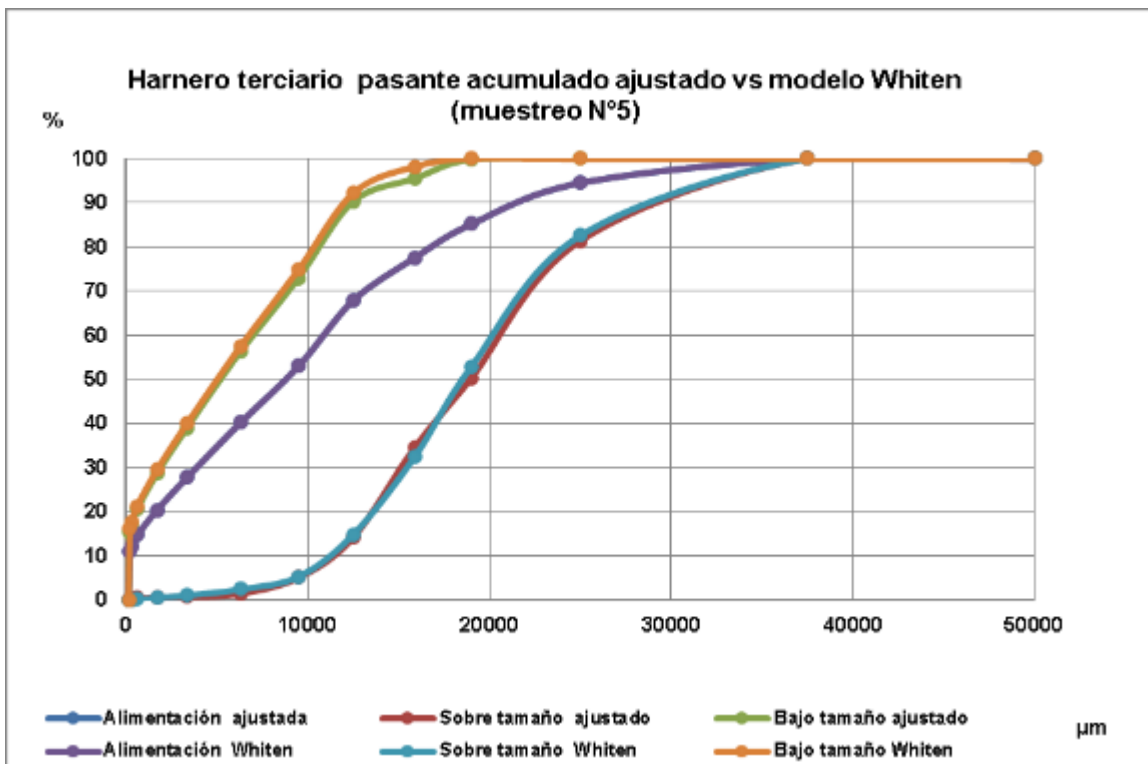


Figura A11: Harnero terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.

A.4.3. Muestreo chancador secundario ajustadas y modelo Whiten

Tabla A.59. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°1.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten					
Muestreo	1																
Flujo	t/h	109,33					109,33						109,33				
Peso	grs	15992					15992						15992				
Vel.	m/s	1,899				109,33	1,899					109,33	1,899				109,33
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc.	Ret. Acum.	Pas. Acum.	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc.	Ret. Acum.	Pas. Acum.	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc.	Ret. Acum.	Pas. Acum.	Flujo [t/h]	
2	50000	6808	42,6	42,6	57,4	46,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	3437	21,5	64,1	35,9	23,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0	10	0,1	0,1	99,9	0,1	
1	25000	5288	33,1	97,1	2,9	36,2	1576	9,9	9,9	90,1	10,8	2579	16,1	16,2	83,8	17,6	
3/4	19000	280	1,7	98,9	1,1	1,9	4337	27,1	37,0	63,0	29,7	3553	22,2	38,4	61,6	24,3	
5/8	15875	16	0,1	99,0	1,0	0,1	1862	11,6	48,6	51,4	12,7	3244	20,3	58,7	41,3	22,2	
1/2	12500	24	0,2	99,1	0,9	0,2	2288	14,3	62,9	37,1	15,6	1376	8,6	67,3	32,7	9,4	
3/8	9500	21	0,1	99,3	0,7	0,1	1244	7,8	70,7	29,3	8,5	1231	7,7	75,0	25,0	8,4	
1/4	6300	13	0,1	99,3	0,7	0,1	1239	7,7	78,5	21,5	8,5	1316	8,2	83,2	16,8	9,0	
6	3350	11	0,1	99,4	0,6	0,1	1188	7,4	85,9	14,1	8,1	928	5,8	89,0	11,0	6,3	
12	1700	8	0,0	99,5	0,5	0,1	791	4,9	90,8	9,2	5,4	823	5,1	94,2	5,8	5,6	
30	600	13	0,1	99,5	0,5	0,1	654	4,1	94,9	5,1	4,5	319	2,0	96,2	3,8	2,2	
50	300	10	0,1	99,6	0,4	0,1	244	1,5	96,4	3,6	1,7	119	0,7	96,9	3,1	0,8	
70	212	8	0,0	99,7	0,3	0,1	94	0,6	97,0	3,0	0,6	82	0,5	97,4	2,6	0,6	
-70	150	55	0,3	100,0	0,0	0,4	474	3,0	100,0	0,0	3,2	412	2,6	100,0	0,0	2,8	

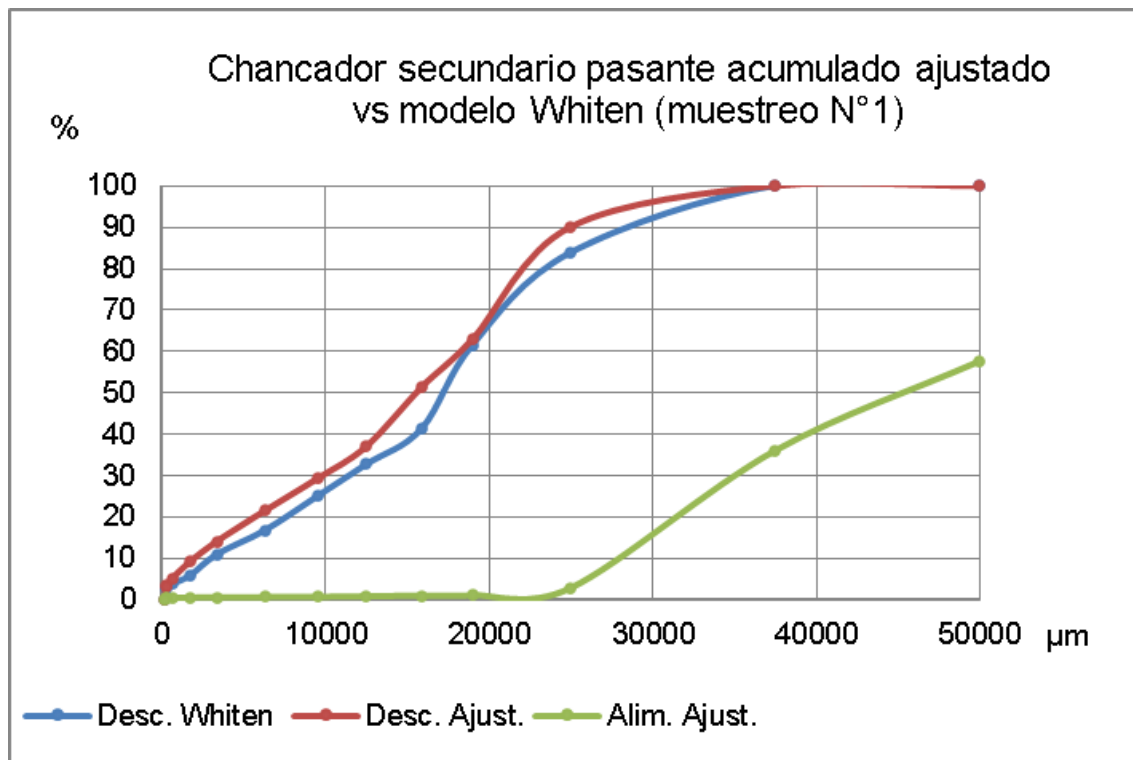


Figura A12: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.

Tabla A.61. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°2.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra	2															
Flujo	Ton/h	51,02					51,02					51,02				
Peso	grs	7464					7464					7464				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla	Abert.	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo	Peso	Ret.	Ret.	Pas.	Flujo
Ty	[um]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]
2	50000	5098	68,3	68,3	31,7	34,8	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	966	12,9	81,2	18,8	6,6	92	1,2	1,2	98,8	0,6	71	1,0	1,0	99,0	0,5
1	25000	1273	17,1	98,3	1,7	8,7	2747	36,8	38,0	62,0	18,8	1721	23,1	23,1	76,9	11,8
3/4	19000	62	0,8	99,1	0,9	0,4	1809	24,2	62,3	37,7	12,4	1482	19,9	19,9	80,1	10,1
5/8	15875	8	0,1	99,2	0,8	0,1	508	6,8	69,1	30,9	3,5	996	13,3	13,3	86,7	6,8
1/2	12500	7	0,1	99,3	0,7	0,0	528	7,1	76,2	23,8	3,6	552	7,4	7,4	92,6	3,8
3/8	9500	17	0,2	99,6	0,4	0,1	360	4,8	81,0	19,0	2,5	624	8,4	8,4	91,6	4,3
1/4	6300	5	0,1	99,6	0,4	0,0	390	5,2	86,2	13,8	2,7	672	9,0	9,0	91,0	4,6
6	3350	4	0,1	99,7	0,3	0,0	338	4,5	90,7	9,3	2,3	473	6,3	6,3	93,7	3,2
12	1700	3	0,0	99,7	0,3	0,0	223	3,0	93,7	6,3	1,5	420	5,6	5,6	94,4	2,9
30	600	3	0,0	99,8	0,2	0,0	192	2,6	96,3	3,7	1,3	160	2,1	2,1	97,9	1,1
50	300	3	0,0	99,8	0,2	0,0	83	1,1	97,4	2,6	0,6	58	0,8	0,8	99,2	0,4
70	212	3	0,0	99,9	0,1	0,0	31	0,4	97,8	2,2	0,2	37	0,5	0,5	99,5	0,3
-70	150	11	0,1	100,0	0,0	0,1	163	2,2	100,0	0,0	1,1	197	2,6	2,6	97,4	1,3

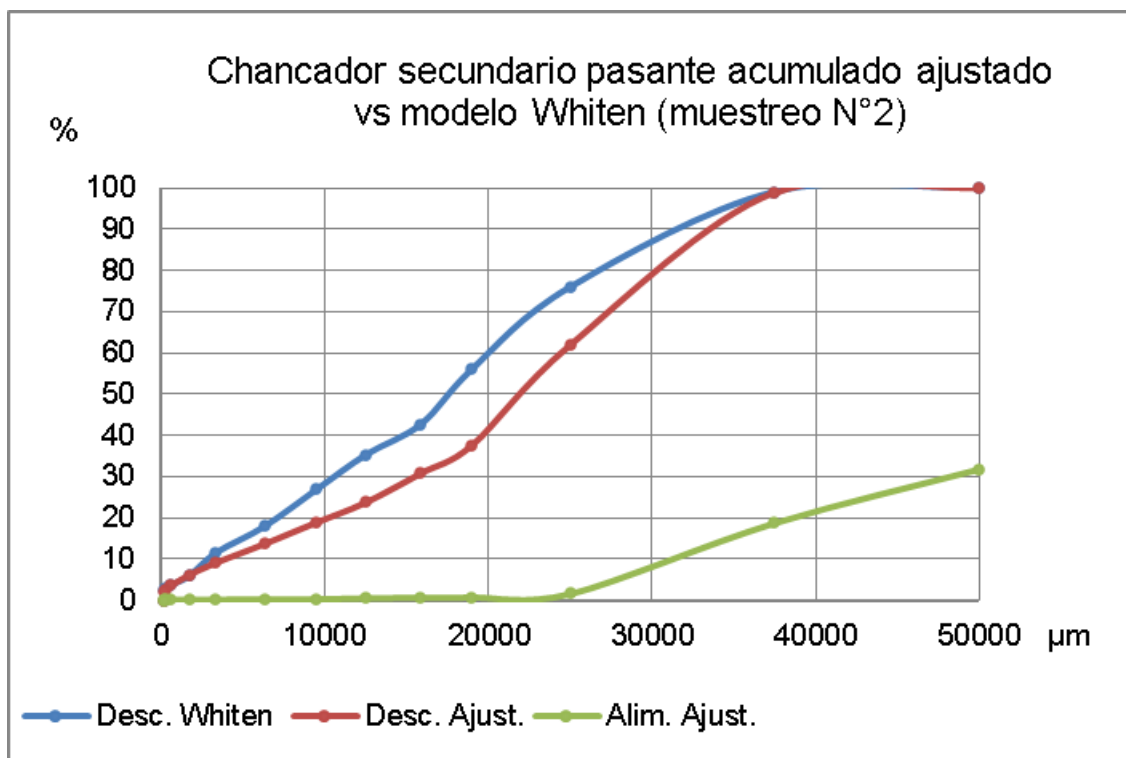


Figura A13: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.

Tabla A.62. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°3.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		3														
Flujo	Ton/h	77,52					77,52					77,52				
Peso	grs	11339					11339					11339				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	7652	67,5	67,5	32,5	52,3	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1129	10,0	77,4	22,6	7,7	65	0,6	0,6	99,4	0,4	116	1,0	1,0	99,0	0,8
1	25000	2350	20,7	98,2	1,8	16,1	3045	26,9	27,4	72,6	20,8	2750	24,3	24,3	75,7	18,8
3/4	19000	116	1,0	99,2	0,8	0,8	2987	26,3	53,8	46,2	20,4	2276	20,1	20,1	79,9	15,6
5/8	15875	7	0,1	99,2	0,8	0,0	1072	9,4	63,2	36,8	7,3	1484	13,1	13,1	86,9	10,1
1/2	12500	15	0,1	99,4	0,6	0,1	1023	9,0	72,2	27,8	7,0	821	7,2	7,2	92,8	5,6
3/8	9500	7	0,1	99,4	0,6	0,0	716	6,3	78,6	21,4	4,9	903	8,0	8,0	92,0	6,2
1/4	6300	9	0,1	99,5	0,5	0,1	568	5,0	83,6	16,4	3,9	992	8,8	8,8	91,2	6,8
6	3350	7	0,1	99,6	0,4	0,0	577	5,1	88,7	11,3	3,9	699	6,2	6,2	93,8	4,8
12	1700	5	0,0	99,6	0,4	0,0	406	3,6	92,2	7,8	2,8	620	5,5	5,5	94,5	4,2
30	600	7	0,1	99,7	0,3	0,0	367	3,2	95,5	4,5	2,5	238	2,1	2,1	97,9	1,6
50	300	5	0,0	99,7	0,3	0,0	154	1,4	96,8	3,2	1,1	87	0,8	0,8	99,2	0,6
70	212	3	0,0	99,8	0,2	0,0	60	0,5	97,4	2,6	0,4	59	0,5	0,5	99,5	0,4
-70	150	27	0,2	100,0	0,0	0,2	299	2,6	100,0	0,0	2,0	296	2,6	2,6	97,4	2,0

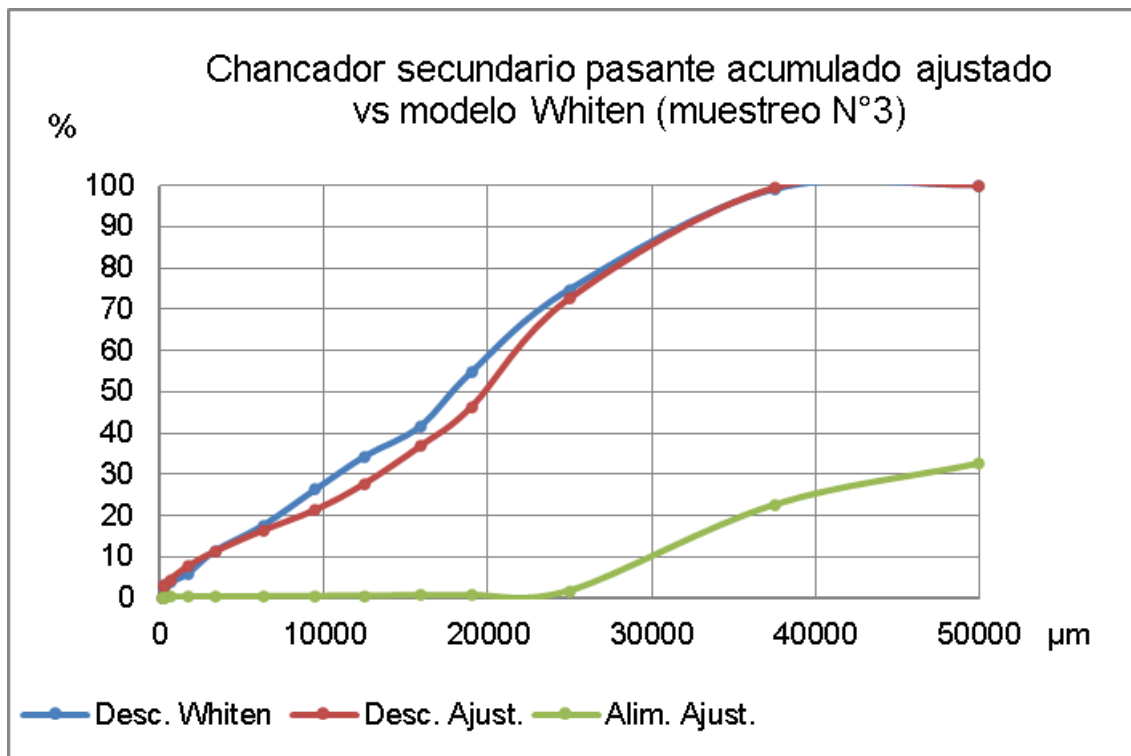


Figura A14: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.

Tabla A.63. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°4.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		4														
Flujo	Ton/h	97,84					97,84					97,84				
Peso	grs	14311					14311					14311				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5267	36,8	36,8	63,2	36,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1586	11,1	47,9	52,1	10,8	174	1,2	1,2	98,8	1,2	58	0,4	0,4	99,6	0,4
1	25000	7090	49,5	97,4	2,6	48,5	3844	26,9	28,1	71,9	26,3	4190	29,3	29,3	70,7	28,6
3/4	19000	263	1,8	99,3	0,7	1,8	4166	29,1	57,2	42,8	28,5	3430	24,0	24,0	76,0	23,5
5/8	15875	6	0,0	99,3	0,7	0,0	1300	9,1	66,3	33,7	8,9	1922	13,4	13,4	86,6	13,1
1/2	12500	4	0,0	99,3	0,7	0,0	883	6,2	72,4	27,6	6,0	840	5,9	5,9	94,1	5,7
3/8	9500	13	0,1	99,4	0,6	0,1	1018	7,1	79,6	20,4	7,0	900	6,3	6,3	93,7	6,2
1/4	6300	11	0,1	99,5	0,5	0,1	930	6,5	86,0	14,0	6,4	981	6,9	6,9	93,1	6,7
6	3350	9	0,1	99,6	0,4	0,1	731	5,1	91,2	8,8	5,0	691	4,8	4,8	95,2	4,7
12	1700	4	0,0	99,6	0,4	0,0	428	3,0	94,1	5,9	2,9	611	4,3	4,3	95,7	4,2
30	600	7	0,1	99,6	0,4	0,0	340	2,4	96,5	3,5	2,3	235	1,6	1,6	98,4	1,6
50	300	6	0,0	99,7	0,3	0,0	141	1,0	97,5	2,5	1,0	87	0,6	0,6	99,4	0,6
70	212	3	0,0	99,7	0,3	0,0	58	0,4	97,9	2,1	0,4	59	0,4	0,4	99,6	0,4
-70	150	42	0,3	100,0	0,0	0,3	299	2,1	100,0	0,0	2,0	306	2,1	2,1	97,9	2,1

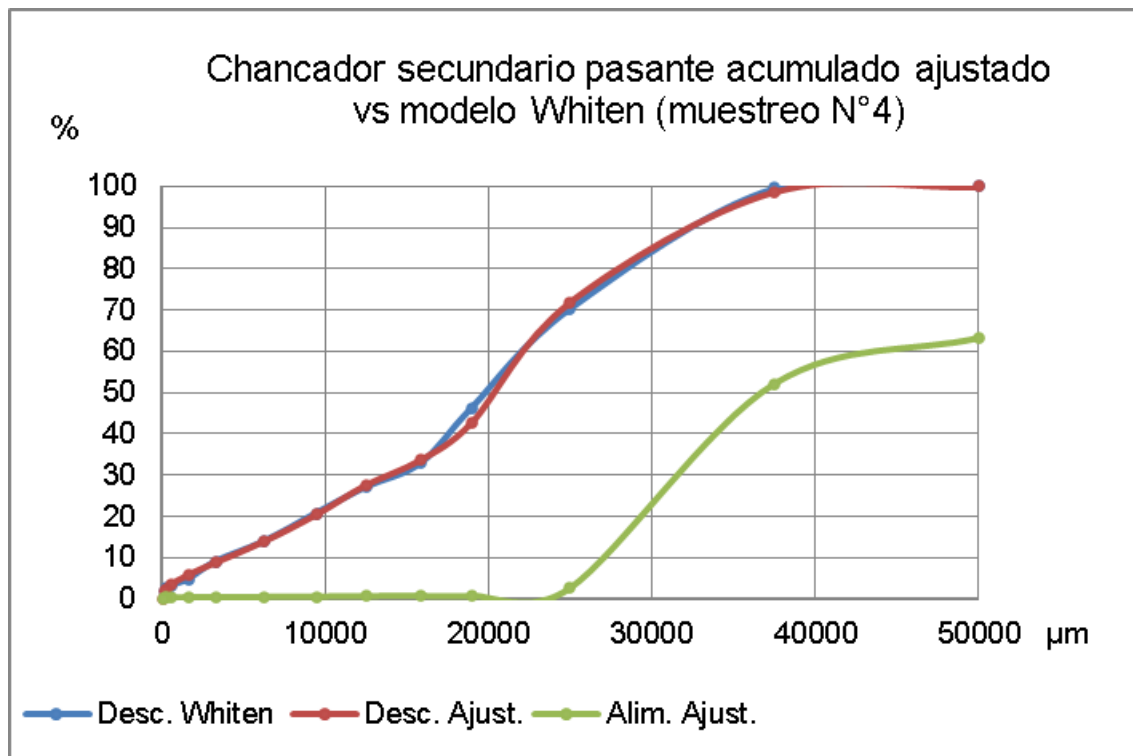


Figura A15: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.

Tabla A.64. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°5.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		5														
Flujo	Ton/h	113,2					113,2					113,2				
Peso	grs	16560					16560					16560				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	2053	12,4	12,4	87,6	14,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	4281	25,9	38,2	61,8	29,3	126	0,8	0,8	99,2	0,9	6	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	9490	57,3	95,6	4,4	64,9	5271	31,8	32,6	67,4	36,0	3983	24,1	24,1	75,9	27,2
3/4	19000	570	3,4	99,0	1,0	3,9	3869	23,4	56,0	44,0	26,5	4676	28,2	28,2	71,8	32,0
5/8	15875	37	0,2	99,2	0,8	0,3	1651	10,0	65,9	34,1	11,3	2664	16,1	16,1	83,9	18,2
1/2	12500	8	0,0	99,3	0,7	0,1	967	5,8	71,8	28,2	6,6	970	5,9	5,9	94,1	6,6
3/8	9500	11	0,1	99,3	0,7	0,1	1167	7,0	78,8	21,2	8,0	985	6,0	6,0	94,0	6,7
1/4	6300	13	0,1	99,4	0,6	0,1	1153	7,0	85,8	14,2	7,9	1076	6,5	6,5	93,5	7,4
6	3350	10	0,1	99,5	0,5	0,1	863	5,2	91,0	9,0	5,9	758	4,6	4,6	95,4	5,2
12	1700	7	0,0	99,5	0,5	0,1	518	3,1	94,1	5,9	3,5	672	4,1	4,1	95,9	4,6
30	600	10	0,1	99,6	0,4	0,1	425	2,6	96,7	3,3	2,9	260	1,6	1,6	98,4	1,8
50	300	8	0,0	99,6	0,4	0,1	156	0,9	97,6	2,4	1,1	97	0,6	0,6	99,4	0,7
70	212	4	0,0	99,7	0,3	0,0	59	0,4	98,0	2,0	0,4	61	0,4	0,4	99,6	0,4
-70	150	56	0,3	100,0	0,0	0,4	337	2,0	100,0	0,0	2,3	351	2,1	2,1	97,9	2,4

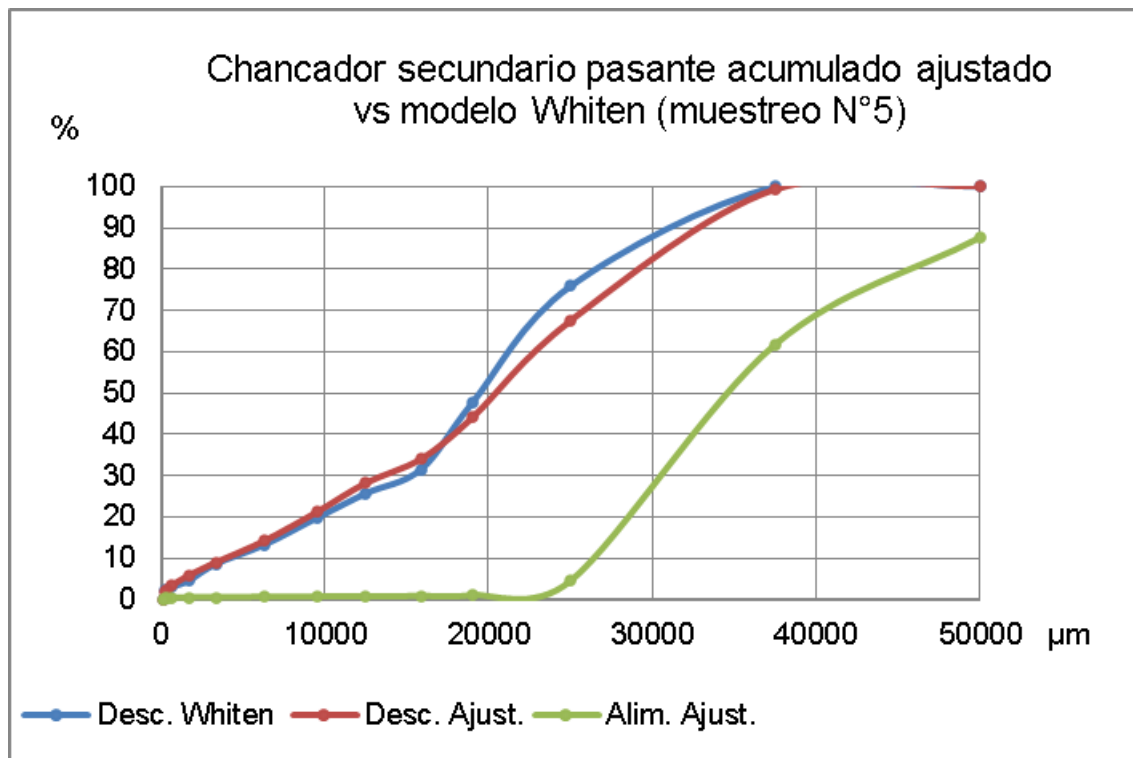


Figura A16: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.

Tabla A.65. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°6.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		6														
Flujo	Ton/h	120,60					120,60					120,60				
Peso	grs	17641					17641					17641				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	3610	20,5	20,5	79,5	24,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3191	18,1	38,6	61,4	21,8	601	3,4	3,4	96,6	4,1	12	0,1	0,1	99,9	0,1
1	25000	10353	58,7	97,2	2,8	70,8	4012	22,7	26,1	73,9	27,4	4555	25,8	25,8	74,2	31,1
3/4	19000	296	1,7	98,9	1,1	2,0	4993	28,3	54,4	45,6	34,1	4715	26,7	26,7	73,3	32,2
5/8	15875	8	0,0	99,0	1,0	0,1	1597	9,1	63,5	36,5	10,9	2699	15,3	15,3	84,7	18,5
1/2	12500	21	0,1	99,1	0,9	0,1	1639	9,3	72,8	27,2	11,2	1043	5,9	5,9	94,1	7,1
3/8	9500	19	0,1	99,2	0,8	0,1	1016	5,8	78,6	21,4	6,9	1067	6,0	6,0	94,0	7,3
1/4	6300	10	0,1	99,2	0,8	0,1	987	5,6	84,1	15,9	6,7	1155	6,5	6,5	93,5	7,9
6	3350	10	0,1	99,3	0,7	0,1	961	5,4	89,6	10,4	6,6	814	4,6	4,6	95,4	5,6
12	1700	10	0,1	99,4	0,6	0,1	596	3,4	93,0	7,0	4,1	725	4,1	4,1	95,9	5,0
30	600	12	0,1	99,4	0,6	0,1	468	2,7	95,6	4,4	3,2	281	1,6	1,6	98,4	1,9
50	300	12	0,1	99,5	0,5	0,1	189	1,1	96,7	3,3	1,3	107	0,6	0,6	99,4	0,7
70	212	7	0,0	99,5	0,5	0,0	77	0,4	97,1	2,9	0,5	62	0,4	0,4	99,6	0,4
-70	150	82	0,5	100,0	0,0	0,6	506	2,9	100,0	0,0	3,5	406	2,3	2,3	97,7	2,8

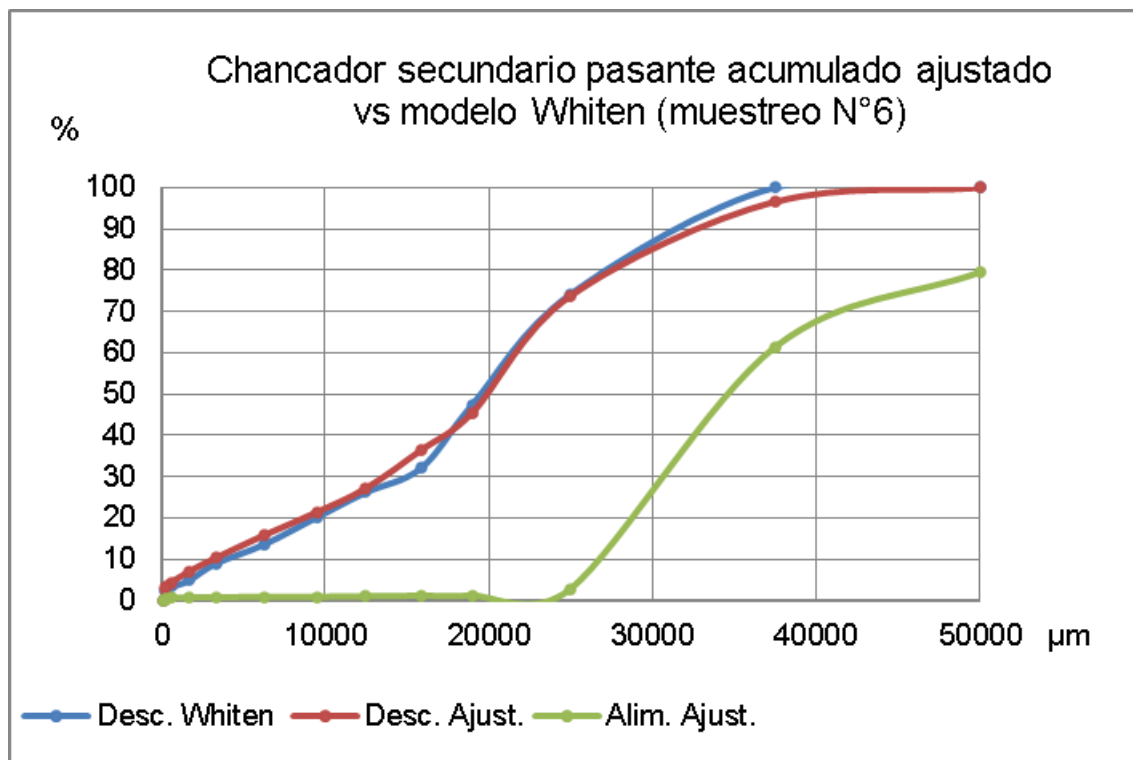


Figura A17: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°6.

Tabla A.66. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°7.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		7														
Flujo	Ton/h	57,09					57,09					57,09				
Peso	grs	8352	8351,6				8352	8351,6				8352	8351,6			
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5221	62,5	62,5	37,5	35,7	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	1387	16,6	79,1	20,9	9,5	182	2,2	2,2	97,8	1,2	287	3,4	3,4	96,6	2,0
1	25000	1632	19,5	98,7	1,3	11,2	3487	41,8	43,9	56,1	23,8	2627	31,5	31,5	68,5	18,0
3/4	19000	35	0,4	99,1	0,9	0,2	1914	22,9	66,9	33,1	13,1	1389	16,6	16,6	83,4	9,5
5/8	15875	9	0,1	99,2	0,8	0,1	476	5,7	72,6	27,4	3,3	747	8,9	8,9	91,1	5,1
1/2	12500	9	0,1	99,3	0,7	0,1	506	6,1	78,6	21,4	3,5	546	6,5	6,5	93,5	3,7
3/8	9500	3	0,0	99,3	0,7	0,0	458	5,5	84,1	15,9	3,1	633	7,6	7,6	92,4	4,3
1/4	6300	4	0,0	99,4	0,6	0,0	393	4,7	88,8	11,2	2,7	698	8,4	8,4	91,6	4,8
6	3350	7	0,1	99,5	0,5	0,0	277	3,3	92,1	7,9	1,9	495	5,9	5,9	94,1	3,4
12	1700	4	0,0	99,5	0,5	0,0	197	2,4	94,5	5,5	1,3	438	5,2	5,2	94,8	3,0
30	600	6	0,1	99,6	0,4	0,0	175	2,1	96,6	3,4	1,2	169	2,0	2,0	98,0	1,2
50	300	5	0,1	99,6	0,4	0,0	74	0,9	97,5	2,5	0,5	62	0,7	0,7	99,3	0,4
70	212	2	0,0	99,7	0,3	0,0	31	0,4	97,8	2,2	0,2	37	0,4	0,4	99,6	0,3
-70	150	28	0,3	100,0	0,0	0,2	181	2,2	100,0	0,0	1,2	222	2,7	2,7	97,3	1,5

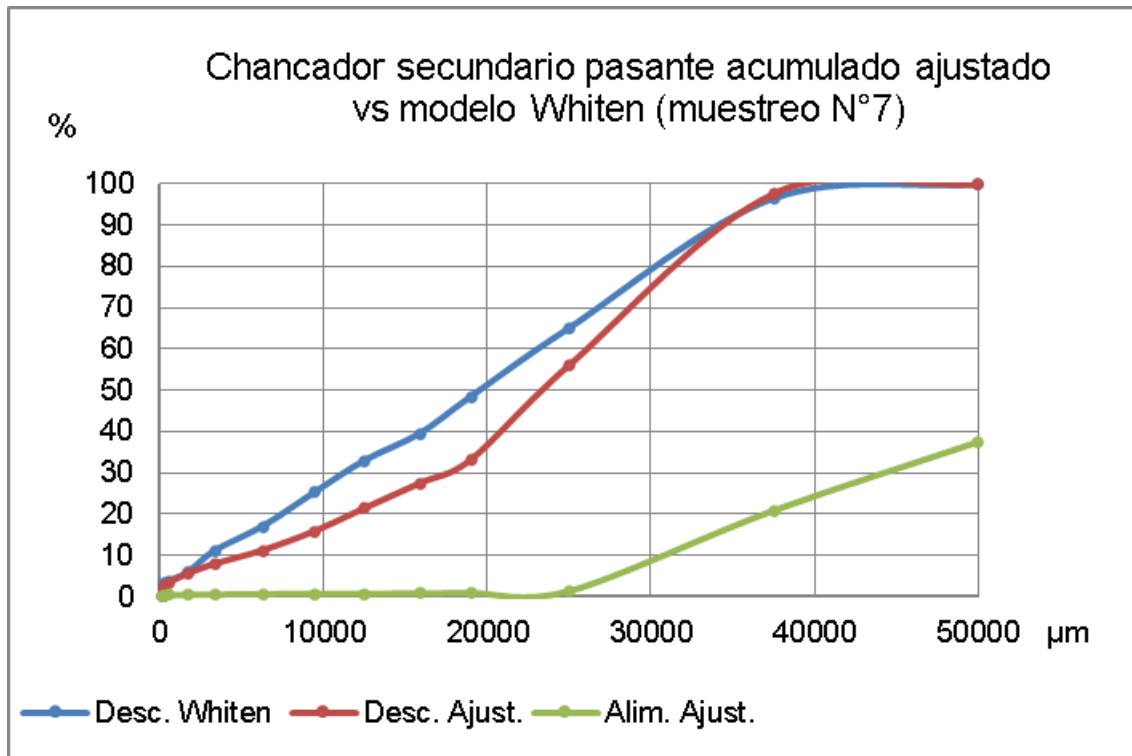


Figura A18: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°7.

Tabla A.67. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°8.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		8														
Flujo	Ton/h	79,71					79,71					79,71				
Peso	grs	11660					11660					11660				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	5341	45,8	45,8	54,2	36,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3108	26,7	72,5	27,5	21,2	558	4,8	4,8	95,2	3,8	361	3,1	3,1	96,9	2,5
1	25000	2909	24,9	97,4	2,6	19,9	4314	37,0	41,8	58,2	29,5	3907	33,5	33,5	66,5	26,7
3/4	19000	150	1,3	98,7	1,3	1,0	2644	22,7	64,5	35,5	18,1	2090	17,9	17,9	82,1	14,3
5/8	15875	31	0,3	99,0	1,0	0,2	808	6,9	71,4	28,6	5,5	1024	8,8	8,8	91,2	7,0
1/2	12500	3	0,0	99,0	1,0	0,0	722	6,2	77,6	22,4	4,9	697	6,0	6,0	94,0	4,8
3/8	9500	17	0,1	99,1	0,9	0,1	539	4,6	82,2	17,8	3,7	827	7,1	7,1	92,9	5,7
1/4	6300	13	0,1	99,2	0,8	0,1	485	4,2	86,4	13,6	3,3	904	7,8	7,8	92,2	6,2
6	3350	11	0,1	99,3	0,7	0,1	493	4,2	90,6	9,4	3,4	638	5,5	5,5	94,5	4,4
12	1700	8	0,1	99,4	0,6	0,1	321	2,7	93,3	6,7	2,2	565	4,8	4,8	95,2	3,9
30	600	10	0,1	99,5	0,5	0,1	288	2,5	95,8	4,2	2,0	219	1,9	1,9	98,1	1,5
50	300	7	0,1	99,6	0,4	0,0	127	1,1	96,9	3,1	0,9	81	0,7	0,7	99,3	0,6
70	212	4	0,0	99,6	0,4	0,0	53	0,5	97,4	2,6	0,4	51	0,4	0,4	99,6	0,3
-70	150	48	0,4	100,0	0,0	0,3	308	2,6	100,0	0,0	2,1	295	2,5	2,5	97,5	2,0

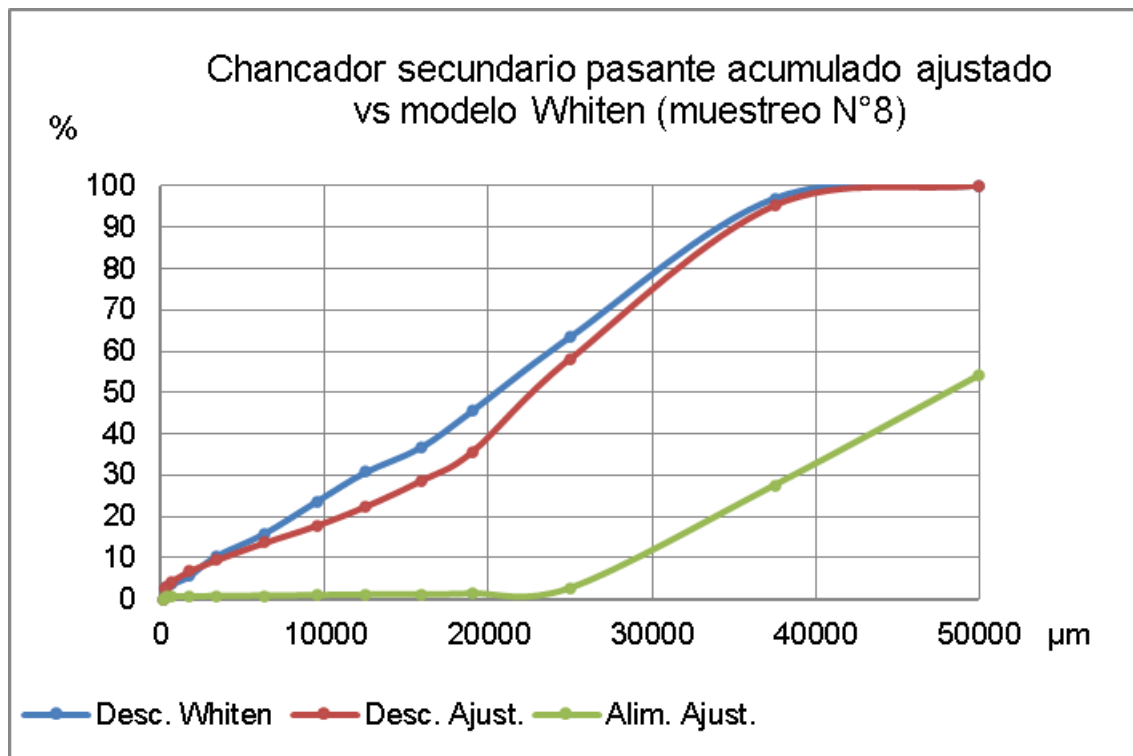


Figura A19: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°8.

Tabla A.68. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°9.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		9														
Flujo	Ton/h	114,67					114,67					114,67				
Peso	grs	16773					16773					16773				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	3964	23,6	23,6	76,4	27,1	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3143	18,7	42,4	57,6	21,5	333	2,0	2,0	98,0	2,3	168	1,0	1,0	99,0	1,1
1	25000	8928	53,2	95,6	4,4	61,0	6474	38,6	40,6	59,4	44,3	6731	40,1	40,1	59,9	46,0
3/4	19000	523	3,1	98,7	1,3	3,6	3814	22,7	63,3	36,7	26,1	3823	22,8	22,8	77,2	26,1
5/8	15875	12	0,1	98,8	1,2	0,1	1413	8,4	71,7	28,3	9,7	1357	8,1	8,1	91,9	9,3
1/2	12500	15	0,1	98,9	1,1	0,1	996	5,9	77,7	22,3	6,8	779	4,6	4,6	95,4	5,3
3/8	9500	12	0,1	99,0	1,0	0,1	813	4,8	82,5	17,5	5,6	885	5,3	5,3	94,7	6,0
1/4	6300	18	0,1	99,1	0,9	0,1	811	4,8	87,4	12,6	5,5	977	5,8	5,8	94,2	6,7
6	3350	18	0,1	99,2	0,8	0,1	689	4,1	91,5	8,5	4,7	692	4,1	4,1	95,9	4,7
12	1700	12	0,1	99,2	0,8	0,1	447	2,7	94,1	5,9	3,1	612	3,6	3,6	96,4	4,2
30	600	20	0,1	99,4	0,6	0,1	364	2,2	96,3	3,7	2,5	245	1,5	1,5	98,5	1,7
50	300	15	0,1	99,4	0,6	0,1	157	0,9	97,2	2,8	1,1	95	0,6	0,6	99,4	0,6
70	212	8	0,0	99,5	0,5	0,1	67	0,4	97,6	2,4	0,5	59	0,4	0,4	99,6	0,4
-70	150	85,2	0,5	100,0	0,0	0,6	395,6	2,4	100,0	0,0	2,7	351	2,1	2,1	97,9	2,4

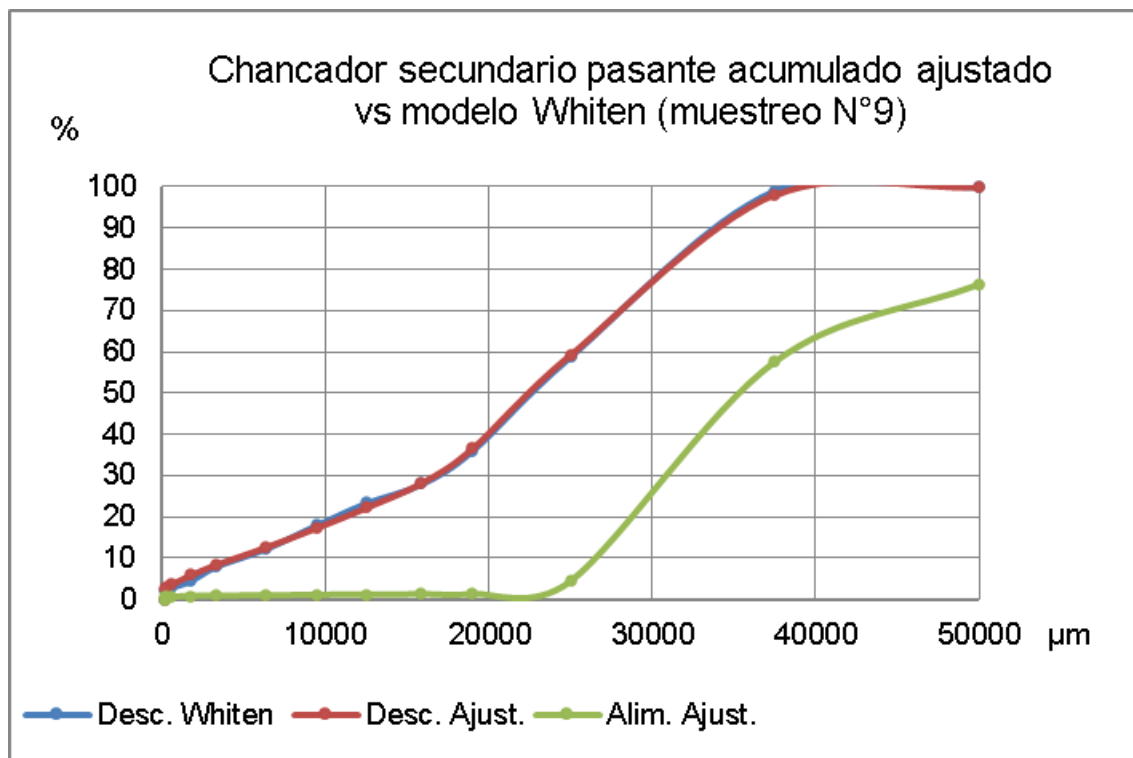


Figura A20: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°9.

Tabla A.69. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°10.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		10														
Flujo	Ton/h	130,35					130,35					130,35				
Peso	grs	19066					19066					19066				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	6584	34,5	34,5	65,5	45,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	5112	26,8	61,3	38,7	34,9	579	3,0	3,0	97,0	4,0	471	2,5	2,5	97,5	3,2
1	25000	7021	36,8	98,2	1,8	48,0	6919	36,3	39,3	60,7	47,3	7192	37,7	37,7	62,3	49,2
3/4	19000	193	1,0	99,2	0,8	1,3	3836	20,1	59,4	40,6	26,2	3583	18,8	18,8	81,2	24,5
5/8	15875	3	0,0	99,2	0,8	0,0	1608	8,4	67,9	32,1	11,0	1566	8,2	8,2	91,8	10,7
1/2	12500	14	0,1	99,3	0,7	0,1	1326	7,0	74,8	25,2	9,1	1038	5,4	5,4	94,6	7,1
3/8	9500	15	0,1	99,3	0,7	0,1	1116	5,9	80,7	19,3	7,6	1203	6,3	6,3	93,7	8,2
1/4	6300	10	0,1	99,4	0,6	0,1	1071	5,6	86,3	13,7	7,3	1316	6,9	6,9	93,1	9,0
6	3350	11	0,1	99,5	0,5	0,1	966	5,1	91,4	8,6	6,6	929	4,9	4,9	95,1	6,4
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,1	564	3,0	94,3	5,7	3,9	826	4,3	4,3	95,7	5,6
30	600	15	0,1	99,6	0,4	0,1	177	0,9	95,2	4,8	1,2	322	1,7	1,7	98,3	2,2
50	300	11	0,1	99,6	0,4	0,1	71	0,4	95,6	4,4	0,5	120	0,6	0,6	99,4	0,8
70	212	6	0,0	99,7	0,3	0,0	447	2,3	98,0	2,0	3,1	268	1,4	1,4	98,6	1,8
-70	150	63	0,3	100,0	0,0	0,4	387	2,0	100,0	0,0	2,6	232	1,2	1,2	98,8	1,6

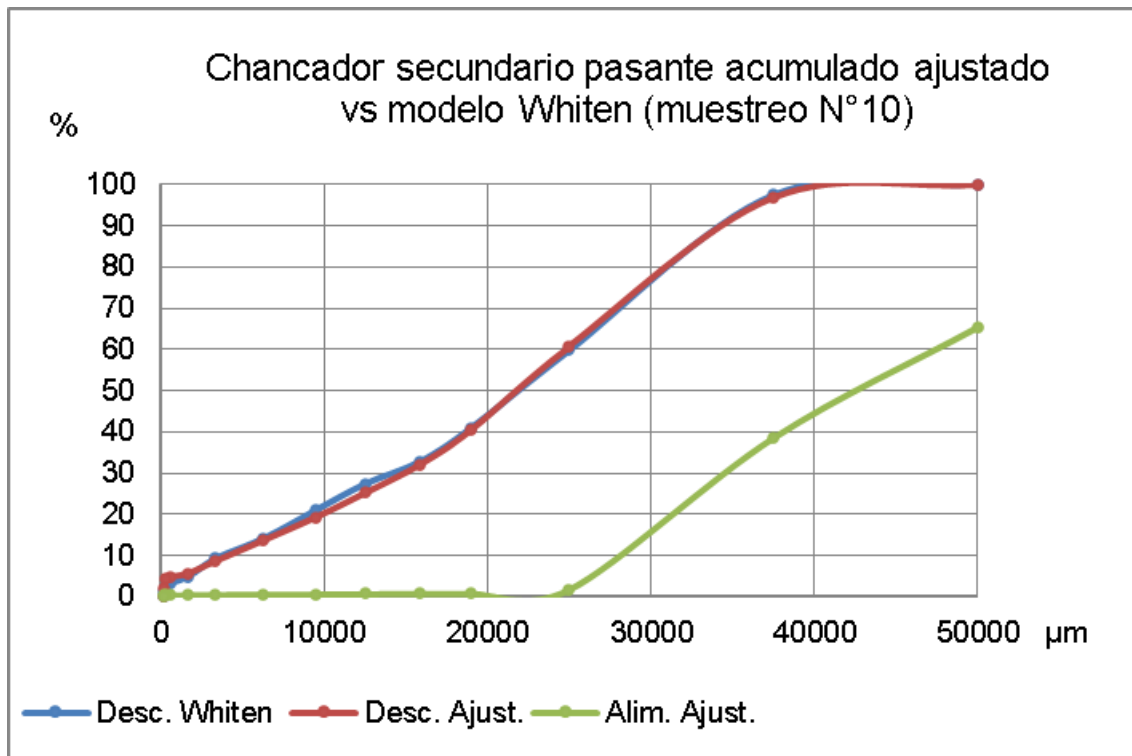


Figura A21: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°10.

Tabla A.70. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°11.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		11														
Flujo	Ton/h	135,02					135,02					135,02				
Peso	grs	19750					19750					19750				
Vel.	m/s	1,899					1,899					1,899				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	3937	19,9	19,9	80,1	26,9	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	3007	15,2	35,2	64,8	20,6	112	0,6	0,6	99,4	0,8	116	0,6	0,6	99,4	0,8
1	25000	12388	62,7	97,9	2,1	84,7	7659	38,8	39,3	60,7	52,4	8295	42,0	42,0	58,0	56,7
3/4	19000	197	1,0	98,9	1,1	1,3	4549	23,0	62,4	37,6	31,1	4492	22,7	22,7	77,3	30,7
5/8	15875	14	0,1	98,9	1,1	0,1	1564	7,9	70,3	29,7	10,7	1624	8,2	8,2	91,8	11,1
1/2	12500	9	0,0	99,0	1,0	0,1	1371	6,9	77,2	22,8	9,4	869	4,4	4,4	95,6	5,9
3/8	9500	6	0,0	99,0	1,0	0,0	1128	5,7	83,0	17,0	7,7	979	5,0	5,0	95,0	6,7
1/4	6300	20	0,1	99,1	0,9	0,1	972	4,9	87,9	12,1	6,6	1090	5,5	5,5	94,5	7,4
6	3350	19	0,1	99,2	0,8	0,1	863	4,4	92,2	7,8	5,9	772	3,9	3,9	96,1	5,3
12	1700	14	0,1	99,3	0,7	0,1	494	2,5	94,7	5,3	3,4	683	3,5	3,5	96,5	4,7
30	600	19	0,1	99,4	0,6	0,1	415	2,1	96,8	3,2	2,8	270	1,4	1,4	98,6	1,8
50	300	16	0,1	99,5	0,5	0,1	172	0,9	97,7	2,3	1,2	105	0,5	0,5	99,5	0,7
70	212	10	0,1	99,5	0,5	0,1	67	0,3	98,0	2,0	0,5	70	0,4	0,4	99,6	0,5
-70	150	96	0,5	100,0	0,0	0,6	385	2,0	100,0	0,0	2,5	386	2,0	2,0	98,0	2,6

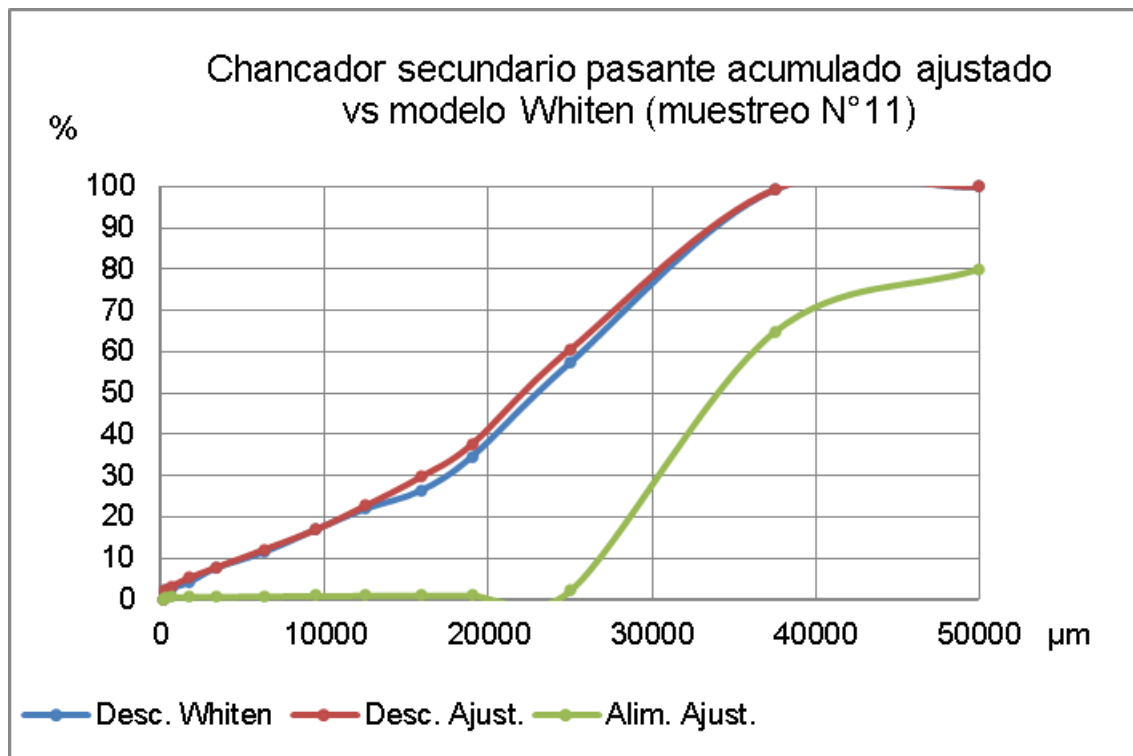


Figura A22: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°11.

Tabla A.71. Chancador secundario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°12.

		Alimentación ajustada Lagrange					Descarga ajustada Lagrange					Descarga modelo Whiten				
Muestra		12														
Flujo	Ton/h	114,98					114,98					114,98				
Peso	grs	16819					16819					16819				
Vel.	m/s	1,90					1,90					1,90				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	3214,2	19,1	19,1	80,9	22,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	4760,3	28,3	47,4	52,6	32,5	596,1	3,5	3,5	96,5	4,1	505	3,0	3,0	97,0	3,5
1	25000	8581,5	51,0	98,4	1,6	58,7	7722,4	45,9	49,5	50,5	52,8	8517	50,6	50,6	49,4	58,2
3/4	19000	120,1	0,7	99,2	0,8	0,8	3041,7	18,1	67,5	32,5	20,8	2512	14,9	14,9	85,1	17,2
5/8	15875	15,7	0,1	99,2	0,8	0,1	1163,5	6,9	74,5	25,5	8,0	940	5,6	5,6	94,4	6,4
1/2	12500	4,4	0,0	99,3	0,7	0,0	1082,8	6,4	80,9	19,1	7,4	701	4,2	4,2	95,8	4,8
3/8	9500	10,1	0,1	99,3	0,7	0,1	716,7	4,3	85,2	14,8	4,9	833	5,0	5,0	95,0	5,7
1/4	6300	9,4	0,1	99,4	0,6	0,1	746,5	4,4	89,6	10,4	5,1	916	5,4	5,4	94,6	6,3
6	3350	8,8	0,1	99,4	0,6	0,1	635,7	3,8	93,4	6,6	4,3	646	3,8	3,8	96,2	4,4
12	1700	6,9	0,0	99,5	0,5	0,0	397,8	2,4	95,7	4,3	2,7	574	3,4	3,4	96,6	3,9
30	600	10,7	0,1	99,5	0,5	0,1	313,8	1,9	97,6	2,4	2,1	223	1,3	1,3	98,7	1,5
50	300	8,8	0,1	99,6	0,4	0,1	116,9	0,7	98,3	1,7	0,8	84	0,5	0,5	99,5	0,6
70	212	5,0	0,0	99,6	0,4	0,0	45,1	0,3	98,6	1,4	0,3	58	0,3	0,3	99,7	0,4
-70	150	62,9	0,4	100,0	0,0	0,4	239,9	1,4	100,0	0,0	1,6	309	1,8	1,8	98,2	2,1

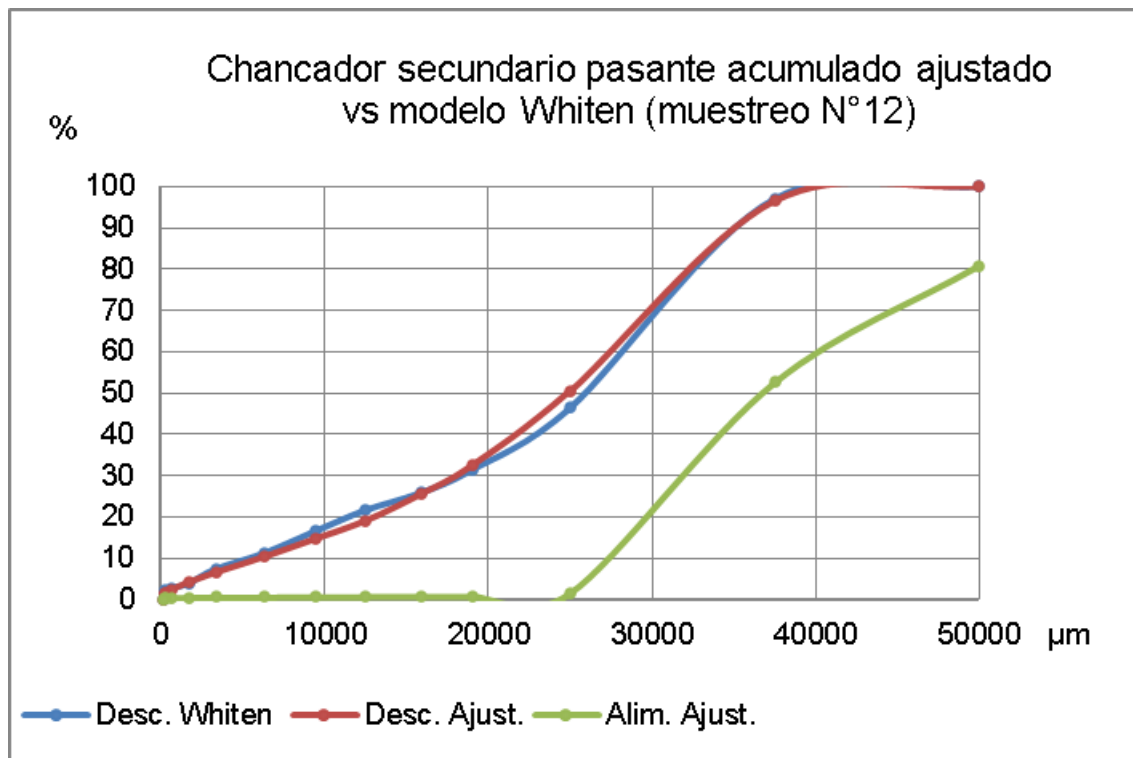


Figura A23: Chancador secundario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°12.

A.4.4. Muestreo chancador terciario ajustadas y modelo Whiten

Tabla A.72. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°1.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten					
Muestra	1																
Flujo	t/h	101,20					101,20						101,20				
Peso	g	17068					17068						17068				
Vel.	m/s	1,65					1,65						1,65				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	
1	25000	3972	23,3	23,3	76,7	23,6	0	0,0	0,0	100,0	0,0	3972	23,3	23,3	76,7	0,0	
3/4	19000	7855	46,0	69,3	30,7	46,6	39	0,2	0,2	99,8	0,2	7855	46,0	69,3	30,7	0,2	
5/8	15875	3417	20,0	89,3	10,7	20,3	125	0,7	1,0	99,0	0,7	3417	20,0	89,3	10,7	1,4	
1/2	12500	1419	8,3	97,6	2,4	8,4	410	2,4	3,4	96,6	2,4	1419	8,3	97,6	2,4	5,0	
3/8	9500	288	1,7	99,3	0,7	1,7	2123	12,4	15,8	84,2	12,6	288	1,7	99,3	0,7	15,4	
1/4	6300	23	0,1	99,4	0,6	0,1	3484	20,4	36,2	63,8	20,7	23	0,1	99,4	0,6	22,5	
6	3350	10	0,1	99,5	0,5	0,1	3526	20,7	56,9	43,1	20,9	10	0,1	99,5	0,5	17,0	
12	1700	5	0,0	99,5	0,5	0,0	2392	14,0	70,9	29,1	14,2	5	0,0	99,5	0,5	16,7	
30	600	6	0,0	99,6	0,4	0,0	2201	12,9	83,8	16,2	13,0	6	0,0	99,6	0,4	7,0	
50	300	6	0,0	99,6	0,4	0,0	884	5,2	89,0	11,0	5,2	6	0,0	99,6	0,4	2,7	
70	212	4	0,0	99,6	0,4	0,0	350	2,1	91,0	9,0	2,1	4	0,0	99,6	0,4	2,5	
-70	150	63,7	0,4	100,0	0,0	0,4	1533,8	9,0	100,0	0,0	9,1	63,7	0,4	100,0	0,0	10,9	

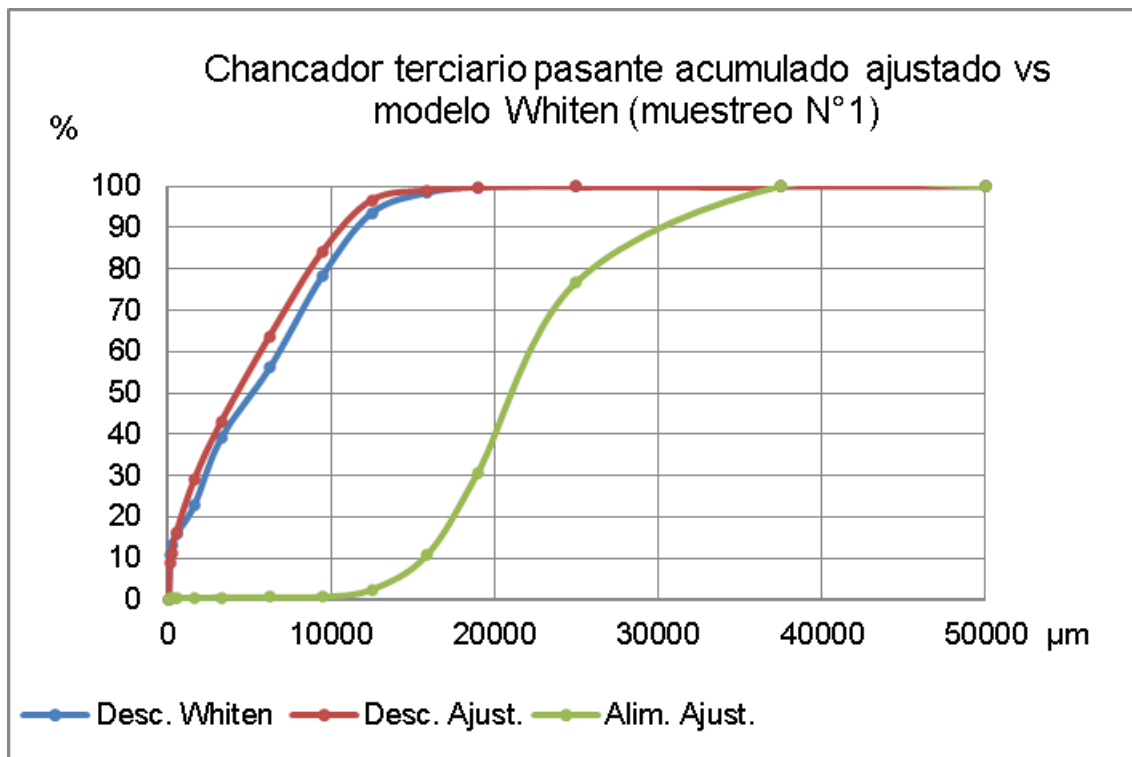


Figura A24: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°1.

Tabla A.73. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°2.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra	2															
Flujo	t/h	75,10					75,10						75,10			
Peso	g	12666					12666						12666			
Vel.	m/s	1,65					1,65						1,65			
Ty	[μ m]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]	[g]	Parc	Acum	Acum	[t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	2951	23,3	23,3	76,7	17,5	0	0,0	0,0	100,0	0,0	2951	23,3	23,3	76,7	0,2
3/4	19000	5581	44,1	67,4	32,6	33,1	779	6,2	6,2	93,8	4,6	5581	44,1	67,4	32,6	2,6
5/8	15875	2398	18,9	86,3	13,7	14,2	1431	11,3	17,4	82,6	8,5	2398	18,9	86,3	13,7	6,3
1/2	12500	1457	11,5	97,8	2,2	8,6	2787	22,0	39,5	60,5	16,5	1457	11,5	97,8	2,2	14,5
3/8	9500	174	1,4	99,2	0,8	1,0	2480	19,6	59,0	41,0	14,7	174	1,4	99,2	0,8	11,6
1/4	6300	30	0,2	99,4	0,6	0,2	1777	14,0	73,1	26,9	10,5	30	0,2	99,4	0,6	12,2
6	3350	11	0,1	99,5	0,5	0,1	1374	10,9	83,9	16,1	8,1	11	0,1	99,5	0,5	8,9
12	1700	5	0,0	99,5	0,5	0,0	796	6,3	90,2	9,8	4,7	5	0,0	99,5	0,5	8,3
30	600	5	0,0	99,6	0,4	0,0	587	4,6	94,8	5,2	3,5	5	0,0	99,6	0,4	3,3
50	300	4	0,0	99,6	0,4	0,0	218	1,7	96,6	3,4	1,3	4	0,0	99,6	0,4	1,2
70	212	3	0,0	99,6	0,4	0,0	81	0,6	97,2	2,8	0,5	3	0,0	99,6	0,4	1,1
-70	150	45	0,4	100,0	0,0	0,3	355	2,8	100,0	0,0	2,1	45	0,4	100,0	0,0	4,8

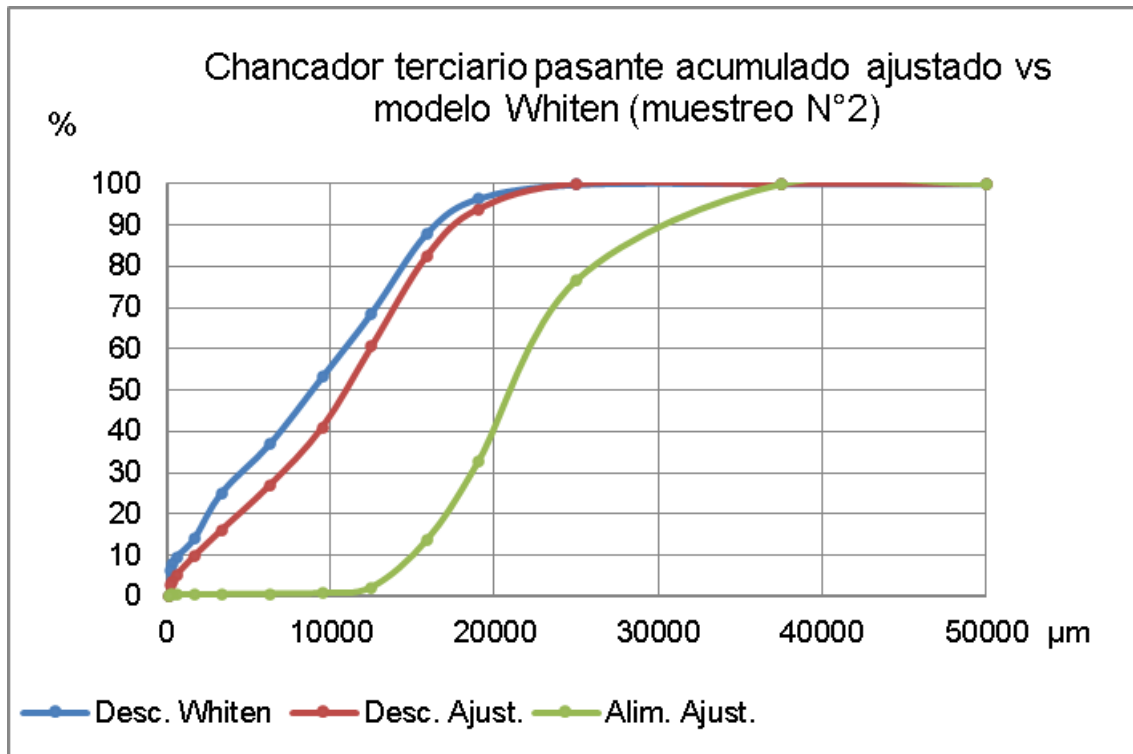


Figura A25: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°2.

Tabla A.74. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°3.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra	3															
Flujo	t/h	111,11					111,11						111,11			
Peso	g	115					115						115			
Vel.	m/s	1,65					1,647						1,647			
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	27	23,3	23,3	76,7	25,9	0	0,1	0,1	99,9	0,2	27	23,3	23,3	76,7	0,2
3/4	19000	51	44,1	67,4	32,6	49,0	4	3,3	3,4	96,6	3,7	51	44,1	67,4	32,6	3,8
5/8	15875	22	18,9	86,3	13,7	21,0	12	10,6	14,1	85,9	11,8	22	18,9	86,3	13,7	9,3
1/2	12500	13	11,5	97,8	2,2	12,8	19	16,8	30,9	69,1	18,7	13	11,5	97,8	2,2	21,5
3/8	9500	2	1,4	99,2	0,8	1,5	25	21,4	52,2	47,8	23,7	2	1,4	99,2	0,8	17,2
1/4	6300	0	0,2	99,4	0,6	0,3	19	16,5	68,7	31,3	18,3	0	0,2	99,4	0,6	18,1
6	3350	0	0,1	99,5	0,5	0,1	16	13,6	82,3	17,7	15,1	0	0,1	99,5	0,5	13,1
12	1700	0	0,0	99,5	0,5	0,0	8	6,8	89,1	10,9	7,6	0	0,0	99,5	0,5	12,3
30	600	0	0,0	99,6	0,4	0,0	6	5,0	94,1	5,9	5,5	0	0,0	99,6	0,4	4,9
50	300	0	0,0	99,6	0,4	0,0	2	1,8	95,9	4,1	2,0	0	0,0	99,6	0,4	1,8
70	212	0	0,0	99,6	0,4	0,0	1	0,7	96,6	3,4	0,8	0	0,0	99,6	0,4	1,5
-70	150	0	0,4	100,0	0,0	0,4	4	3,4	100,0	0,0	3,7	0	0,4	100,0	0,0	7,3

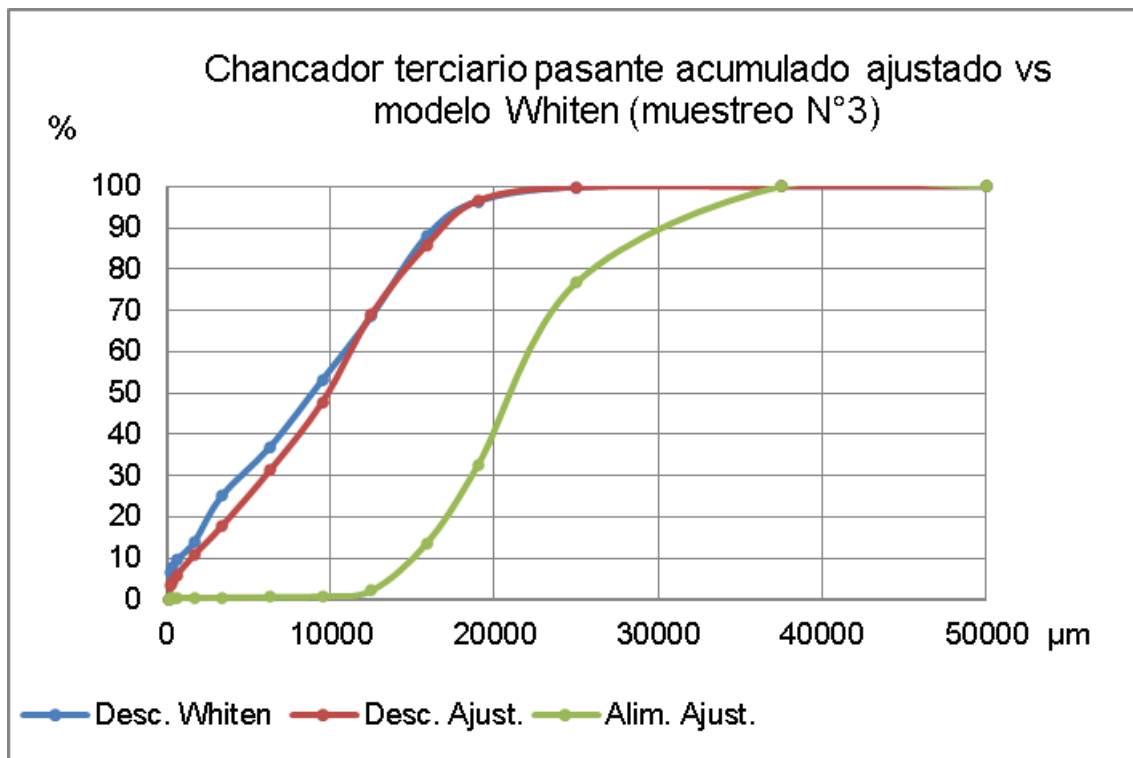


Figura A26: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°3.

Tabla A.75. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°4.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		4														
Flujo	t/h	137,27					137,27					137,27				
Peso	g	23152					23152					23152				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5394	23,3	23,3	76,7	32,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	5394	23,3	23,3	76,7	0,3
3/4	19000	10202	44,1	67,4	32,6	60,5	338	1,5	1,5	98,5	2,0	10202	44,1	67,4	32,6	4,7
5/8	15875	4384	18,9	86,3	13,7	26,0	1628	7,0	8,5	91,5	9,7	4384	18,9	86,3	13,7	11,5
1/2	12500	2663	11,5	97,8	2,2	15,8	4570	19,7	28,2	71,8	27,1	2663	11,5	97,8	2,2	26,6
3/8	9500	319	1,4	99,2	0,8	1,9	4287	18,5	46,7	53,3	25,4	319	1,4	99,2	0,8	21,3
1/4	6300	55	0,2	99,4	0,6	0,3	2732	11,8	58,5	41,5	16,2	55	0,2	99,4	0,6	22,3
6	3350	21	0,1	99,5	0,5	0,1	3238	14,0	72,5	27,5	19,2	21	0,1	99,5	0,5	16,2
12	1700	9	0,0	99,5	0,5	0,1	2193	9,5	82,0	18,0	13,0	9	0,0	99,5	0,5	15,2
30	600	10	0,0	99,6	0,4	0,1	1855	8,0	90,0	10,0	11,0	10	0,0	99,6	0,4	6,1
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	700	3,0	93,0	7,0	4,2	7	0,0	99,6	0,4	2,3
70	212	6	0,0	99,6	0,4	0,0	278	1,2	94,2	5,8	1,7	6	0,0	99,6	0,4	1,9
-70	150	83	0,4	100,0	0,0	0,5	1332	5,8	100,0	0,0	7,9	83	0,4	100,0	0,0	9,0

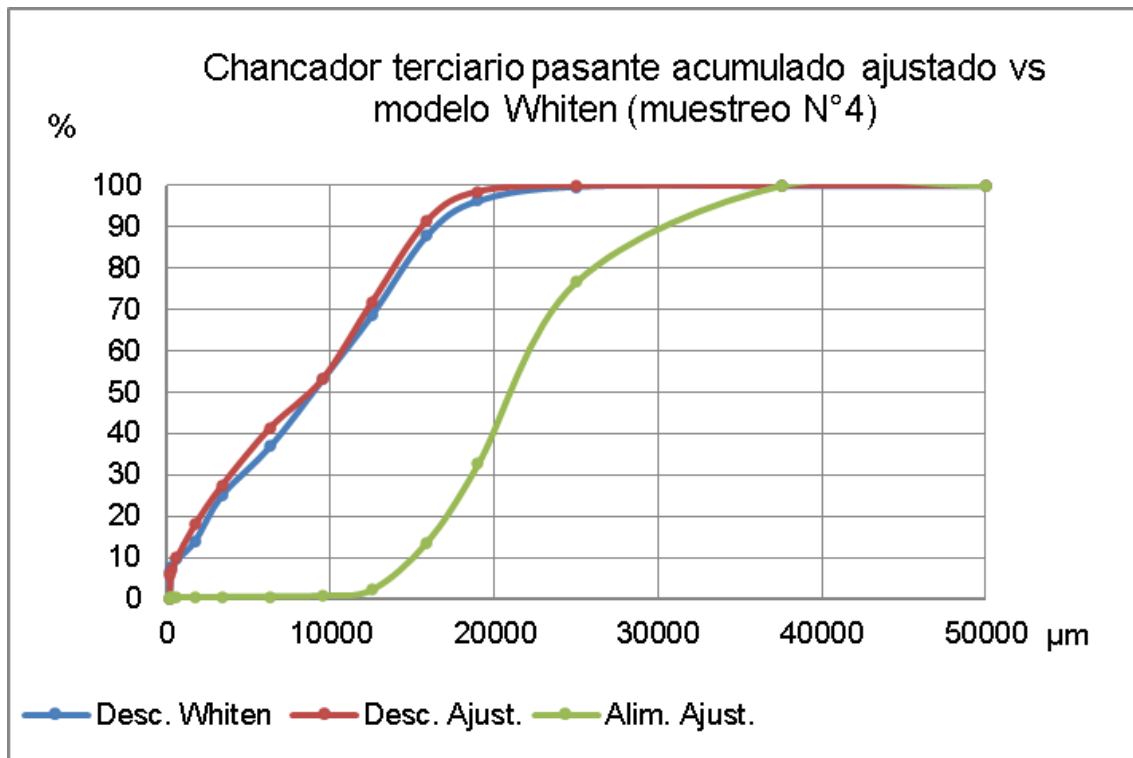


Figura A27: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°4.

Tabla A.76. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°5.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		5														
Flujo	t/h	162,98					162,98					162,98				
Peso	g	27487					27487					27487				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	6404	23,3	23,3	76,7	38,0	460	1,7	1,7	98,3	2,7	6404	23,3	23,3	76,7	0,3
3/4	19000	12112	44,1	67,4	32,6	71,8	1428	5,2	6,9	93,1	8,5	12112	44,1	67,4	32,6	5,6
5/8	15875	5205	18,9	86,3	13,7	30,9	4254	15,5	22,3	77,7	25,2	5205	18,9	86,3	13,7	13,6
1/2	12500	3161	11,5	97,8	2,2	18,7	4353	15,8	38,2	61,8	25,8	3161	11,5	97,8	2,2	31,6
3/8	9500	379	1,4	99,2	0,8	2,2	3156	11,5	49,7	50,3	18,7	379	1,4	99,2	0,8	25,2
1/4	6300	65	0,2	99,4	0,6	0,4	3767	13,7	63,4	36,6	22,3	65	0,2	99,4	0,6	26,5
6	3350	24	0,1	99,5	0,5	0,1	3939	14,3	77,7	22,3	23,4	24	0,1	99,5	0,5	19,3
12	1700	11	0,0	99,5	0,5	0,1	2362	8,6	86,3	13,7	14,0	11	0,0	99,5	0,5	18,0
30	600	12	0,0	99,6	0,4	0,1	1721	6,3	92,6	7,4	10,2	12	0,0	99,6	0,4	7,3
50	300	9	0,0	99,6	0,4	0,1	631	2,3	94,9	5,1	3,7	9	0,0	99,6	0,4	2,7
70	212	7	0,0	99,6	0,4	0,0	239	0,9	95,7	4,3	1,4	7	0,0	99,6	0,4	2,2
-70	150	99	0,4	100,0	0,0	0,6	1176	4,3	100,0	0,0	7,0	99	0,4	100,0	0,0	10,7

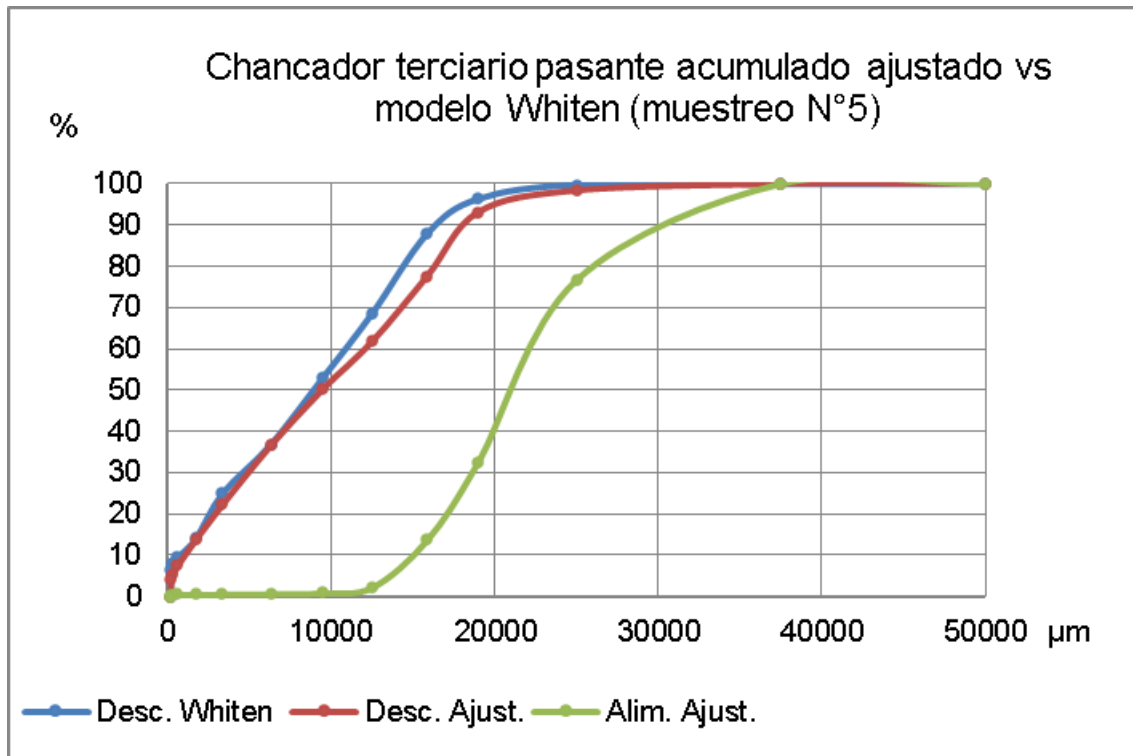


Figura A28: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°5.

Tabla A.77. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°6.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		6														
Flujo	t/h	63,31					63,31					63,31				
Peso	g	10677					10677					10677				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	2488	23,3	23,3	76,7	14,7	66	0,6	0,6	99,4	0,4	2488	23,3	23,3	76,7	0,1
3/4	19000	4705	44,1	67,4	32,6	27,9	889	8,3	8,9	91,1	5,3	4705	44,1	67,4	32,6	2,2
5/8	15875	2022	18,9	86,3	13,7	12,0	1625	15,2	24,2	75,8	9,6	2022	18,9	86,3	13,7	5,3
1/2	12500	1228	11,5	97,8	2,2	7,3	2467	23,1	47,3	52,7	14,6	1228	11,5	97,8	2,2	12,3
3/8	9500	147	1,4	99,2	0,8	0,9	1725	16,2	63,4	36,6	10,2	147	1,4	99,2	0,8	9,8
1/4	6300	25	0,2	99,4	0,6	0,1	1235	11,6	75,0	25,0	7,3	25	0,2	99,4	0,6	10,3
6	3350	10	0,1	99,5	0,5	0,1	832	7,8	82,8	17,2	4,9	10	0,1	99,5	0,5	7,5
12	1700	4	0,0	99,5	0,5	0,0	504	4,7	87,5	12,5	3,0	4	0,0	99,5	0,5	7,0
30	600	5	0,0	99,6	0,4	0,0	461	4,3	91,8	8,2	2,7	5	0,0	99,6	0,4	2,8
50	300	3	0,0	99,6	0,4	0,0	224	2,1	93,9	6,1	1,3	3	0,0	99,6	0,4	1,1
70	212	3	0,0	99,6	0,4	0,0	101	0,9	94,9	5,1	0,6	3	0,0	99,6	0,4	0,8
-70	150	38	0,4	100,0	0,0	0,2	547	5,1	100,0	0,0	3,2	38	0,4	100,0	0,0	4,2

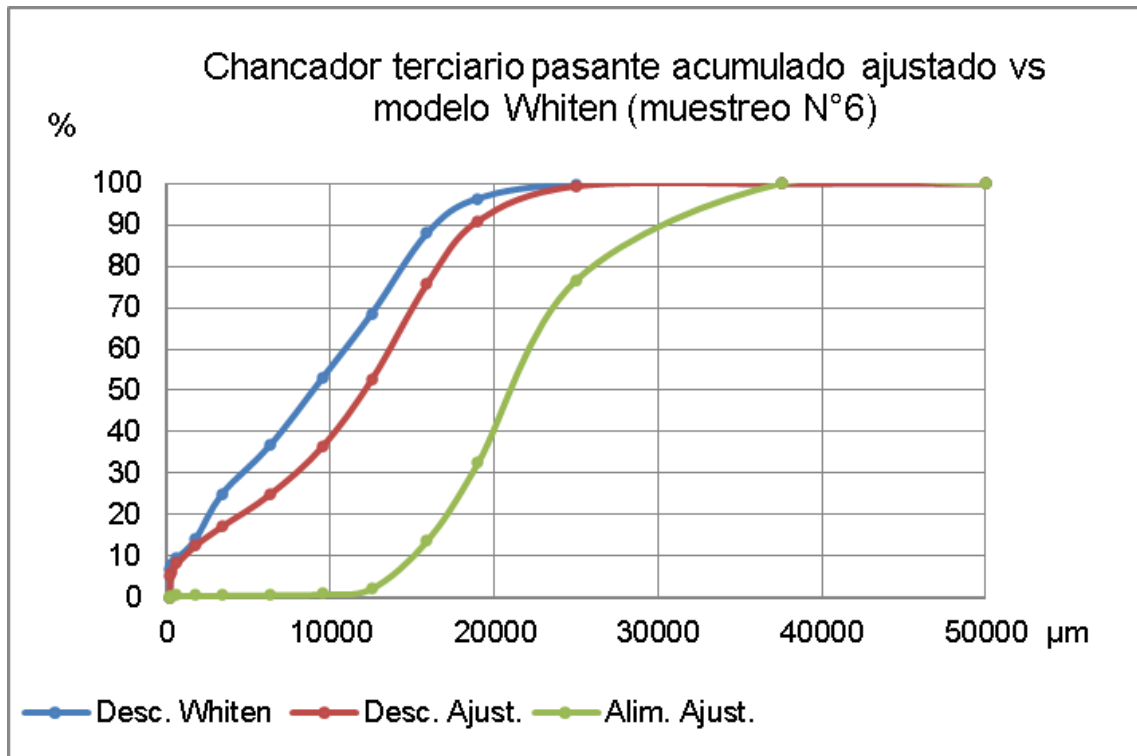


Figura A29: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°6.

Tabla A.78. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°7.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		7														
Flujo	t/h	83,77					83,77					83,77				
Peso	g	14129					14129					14129				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	3292	23,3	23,3	76,7	19,5	426	3,0	3,0	97,0	2,5	3292	23,3	23,3	76,7	1,3
3/4	19000	6226	44,1	67,4	32,6	36,9	4208	29,8	32,8	67,2	25,0	6226	44,1	67,4	32,6	13,9
5/8	15875	2675	18,9	86,3	13,7	15,9	4384	31,0	63,8	36,2	26,0	2675	18,9	86,3	13,7	20,7
1/2	12500	1625	11,5	97,8	2,2	9,6	3219	22,8	86,6	13,4	19,1	1625	11,5	97,8	2,2	16,6
3/8	9500	195	1,4	99,2	0,8	1,2	1165	8,2	94,9	5,1	6,9	195	1,4	99,2	0,8	9,0
1/4	6300	33	0,2	99,4	0,6	0,2	235	1,7	96,5	3,5	1,4	33	0,2	99,4	0,6	8,2
6	3350	13	0,1	99,5	0,5	0,1	128	0,9	97,4	2,6	0,8	13	0,1	99,5	0,5	5,3
12	1700	6	0,0	99,5	0,5	0,0	75	0,5	98,0	2,0	0,4	6	0,0	99,5	0,5	4,3
30	600	6	0,0	99,6	0,4	0,0	71	0,5	98,5	1,5	0,4	6	0,0	99,6	0,4	1,5
50	300	5	0,0	99,6	0,4	0,0	38	0,3	98,7	1,3	0,2	5	0,0	99,6	0,4	0,5
70	212	3	0,0	99,6	0,4	0,0	18	0,1	98,9	1,1	0,1	3	0,0	99,6	0,4	0,2
-70	150	50,7	0,4	100,0	0,0	0,3	162,0	1,1	100,0	0,0	1,0	50,7	0,4	100,0	0,0	2,2

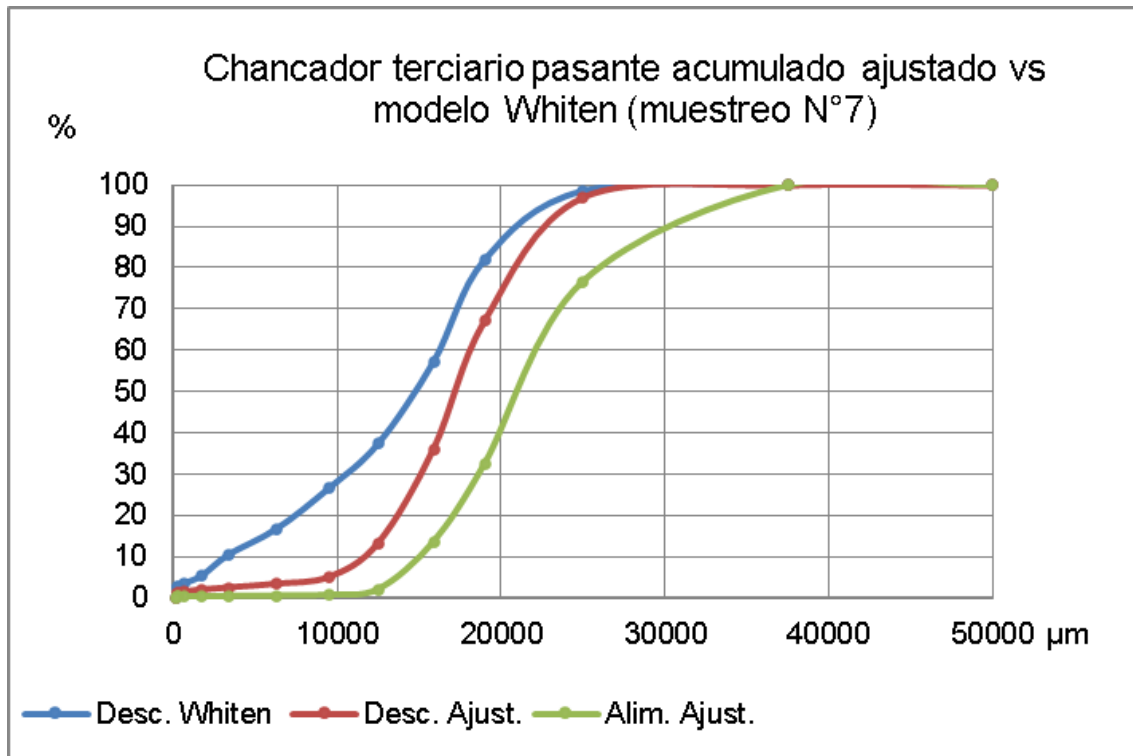


Figura A30: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°7.

Tabla A.79. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°8.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		8														
Flujo	t/h	110,06					110,06					110,06				
Peso	g	18563					18563					18563				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	5380	29,0	29,0	71,0	31,9	196	1,1	1,1	98,9	1,2	5380	29,0	29,0	71,0	2,1
3/4	19000	8383	45,2	74,1	25,9	49,7	2328	12,5	13,6	86,4	13,8	8383	45,2	74,1	25,9	19,0
5/8	15875	2772	14,9	89,1	10,9	16,4	3644	19,6	33,2	66,8	21,6	2772	14,9	89,1	10,9	24,2
1/2	12500	1684	9,1	98,1	1,9	10,0	3600	19,4	52,6	47,4	21,3	1684	9,1	98,1	1,9	20,0
3/8	9500	207	1,1	99,3	0,7	1,2	3079	16,6	69,2	30,8	18,3	207	1,1	99,3	0,7	12,6
1/4	6300	33	0,2	99,4	0,6	0,2	1923	10,4	79,6	20,4	11,4	33	0,2	99,4	0,6	11,8
6	3350	11	0,1	99,5	0,5	0,1	1598	8,6	88,2	11,8	9,5	11	0,1	99,5	0,5	7,6
12	1700	6	0,0	99,5	0,5	0,0	823	4,4	92,6	7,4	4,9	6	0,0	99,5	0,5	6,2
30	600	7	0,0	99,6	0,4	0,0	578	3,1	95,7	4,3	3,4	7	0,0	99,6	0,4	2,2
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	225	1,2	96,9	3,1	1,3	7	0,0	99,6	0,4	0,8
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	88	0,5	97,4	2,6	0,5	5	0,0	99,6	0,4	0,5
-70	150	68	0,4	100,0	0,0	0,4	482	2,6	100,0	0,0	2,9	68	0,4	100,0	0,0	2,9

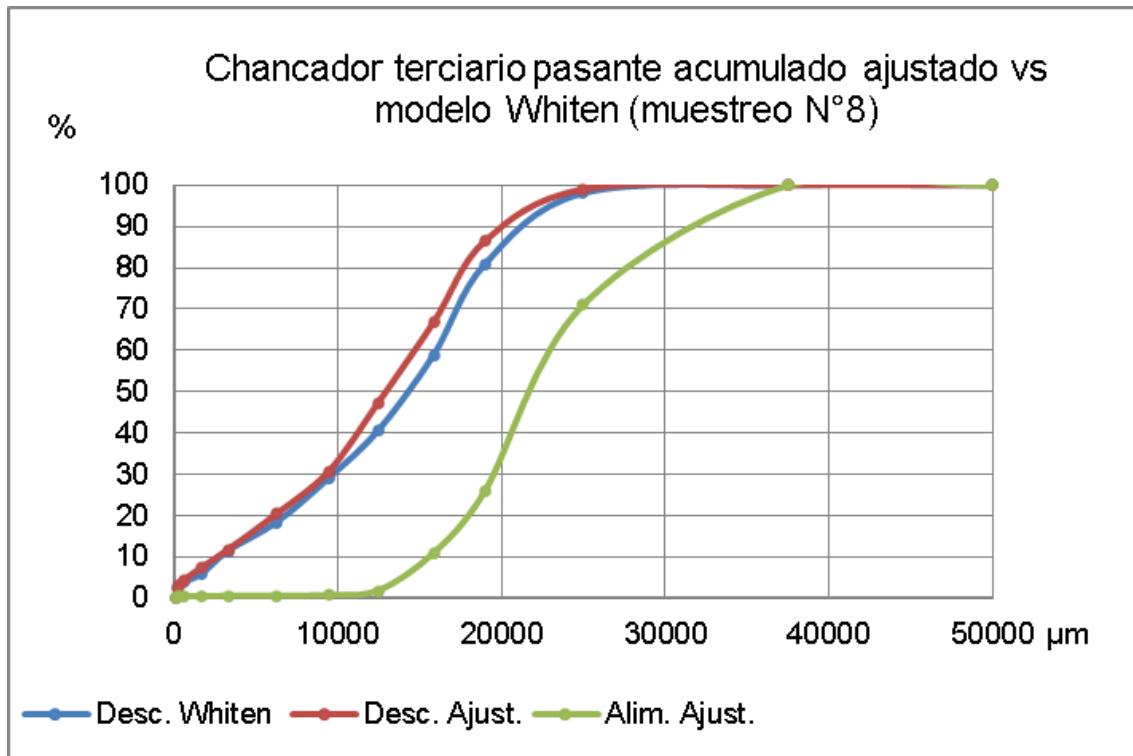


Figura A31: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°8.

Tabla A.80. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°9.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		9														
Flujo	t/h	152,93					152,93					152,93				
Peso	g	25792					25792					25792				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	7475	29,0	29,0	71,0	44,3	149	0,6	0,6	99,4	0,9	7475	29,0	29,0	71,0	3,0
3/4	19000	11648	45,2	74,1	25,9	69,1	3025	11,7	12,3	87,7	17,9	11648	45,2	74,1	25,9	26,3
5/8	15875	3852	14,9	89,1	10,9	22,8	4620	17,9	30,2	69,8	27,4	3852	14,9	89,1	10,9	33,6
1/2	12500	2340	9,1	98,1	1,9	13,9	4945	19,2	49,4	50,6	29,3	2340	9,1	98,1	1,9	27,8
3/8	9500	288	1,1	99,3	0,7	1,7	4082	15,8	65,2	34,8	24,2	288	1,1	99,3	0,7	17,6
1/4	6300	45	0,2	99,4	0,6	0,3	3152	12,2	77,4	22,6	18,7	45	0,2	99,4	0,6	16,5
6	3350	15	0,1	99,5	0,5	0,1	2673	10,4	87,8	12,2	15,8	15	0,1	99,5	0,5	10,6
12	1700	8	0,0	99,5	0,5	0,1	1265	4,9	92,7	7,3	7,5	8	0,0	99,5	0,5	8,6
30	600	10	0,0	99,6	0,4	0,1	847	3,3	96,0	4,0	5,0	10	0,0	99,6	0,4	3,1
50	300	9	0,0	99,6	0,4	0,1	299	1,2	97,1	2,9	1,8	9	0,0	99,6	0,4	1,1
70	212	7	0,0	99,6	0,4	0,0	112	0,4	97,6	2,4	0,7	7	0,0	99,6	0,4	0,7
-70	150	94	0,4	100,0	0,0	0,6	623	2,4	100,0	0,0	3,7	94	0,4	100,0	0,0	4,1

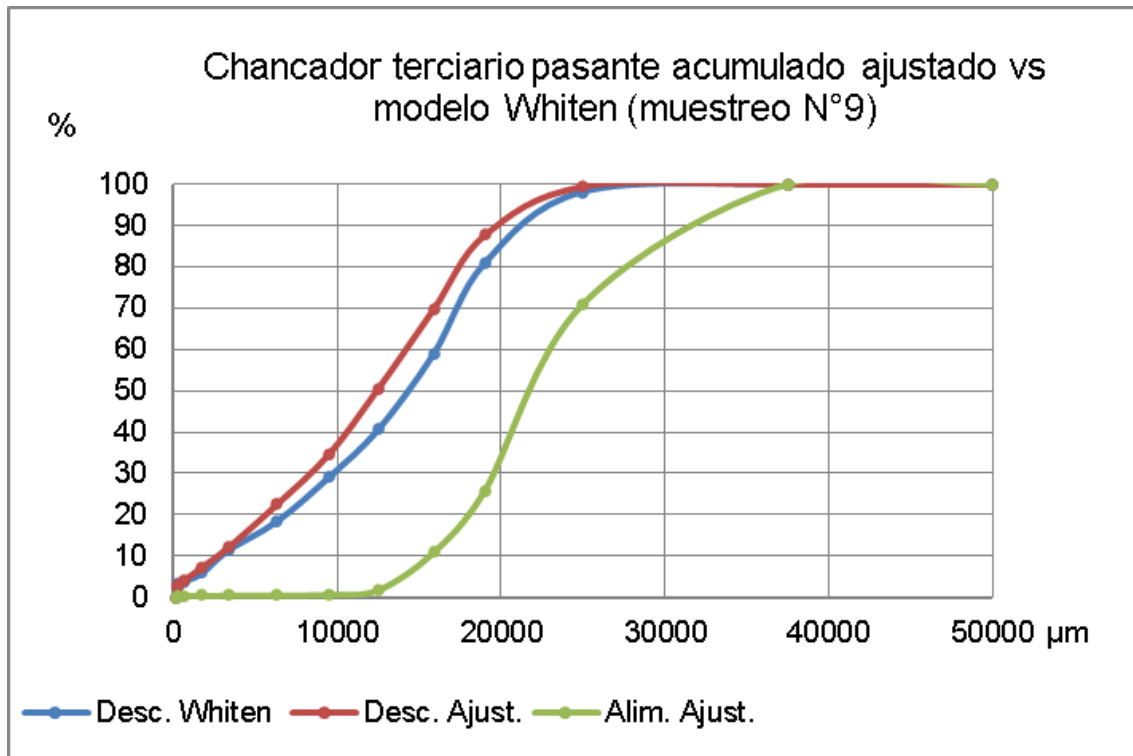


Figura A32: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°9.

Tabla A.81. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°10.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		10														
Flujo	t/h	140,98					140,98					140,98				
Peso	g	23777					23777					23777				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	6891	29,0	29,0	71,0	40,9	91	0,4	0,4	99,6	0,5	6891	29,0	29,0	71,0	2,8
3/4	19000	10738	45,2	74,1	25,9	63,7	2391	10,1	10,4	89,6	14,2	10738	45,2	74,1	25,9	24,3
5/8	15875	3551	14,9	89,1	10,9	21,1	5425	22,8	33,3	66,7	32,2	3551	14,9	89,1	10,9	31,0
1/2	12500	2157	9,1	98,1	1,9	12,8	4053	17,0	50,3	49,7	24,0	2157	9,1	98,1	1,9	25,7
3/8	9500	266	1,1	99,3	0,7	1,6	3695	15,5	65,8	34,2	21,9	266	1,1	99,3	0,7	16,2
1/4	6300	42	0,2	99,4	0,6	0,2	2662	11,2	77,0	23,0	15,8	42	0,2	99,4	0,6	15,2
6	3350	14	0,1	99,5	0,5	0,1	2346	9,9	86,9	13,1	13,9	14	0,1	99,5	0,5	9,7
12	1700	8	0,0	99,5	0,5	0,0	1205	5,1	92,0	8,0	7,1	8	0,0	99,5	0,5	7,9
30	600	9	0,0	99,6	0,4	0,1	835	3,5	95,5	4,5	4,9	9	0,0	99,6	0,4	2,8
50	300	8	0,0	99,6	0,4	0,0	300	1,3	96,7	3,3	1,8	8	0,0	99,6	0,4	1,0
70	212	6	0,0	99,6	0,4	0,0	120	0,5	97,2	2,8	0,7	6	0,0	99,6	0,4	0,7
-70	150	87	0,4	100,0	0,0	0,5	655	2,8	100,0	0,0	3,9	87	0,4	100,0	0,0	3,8

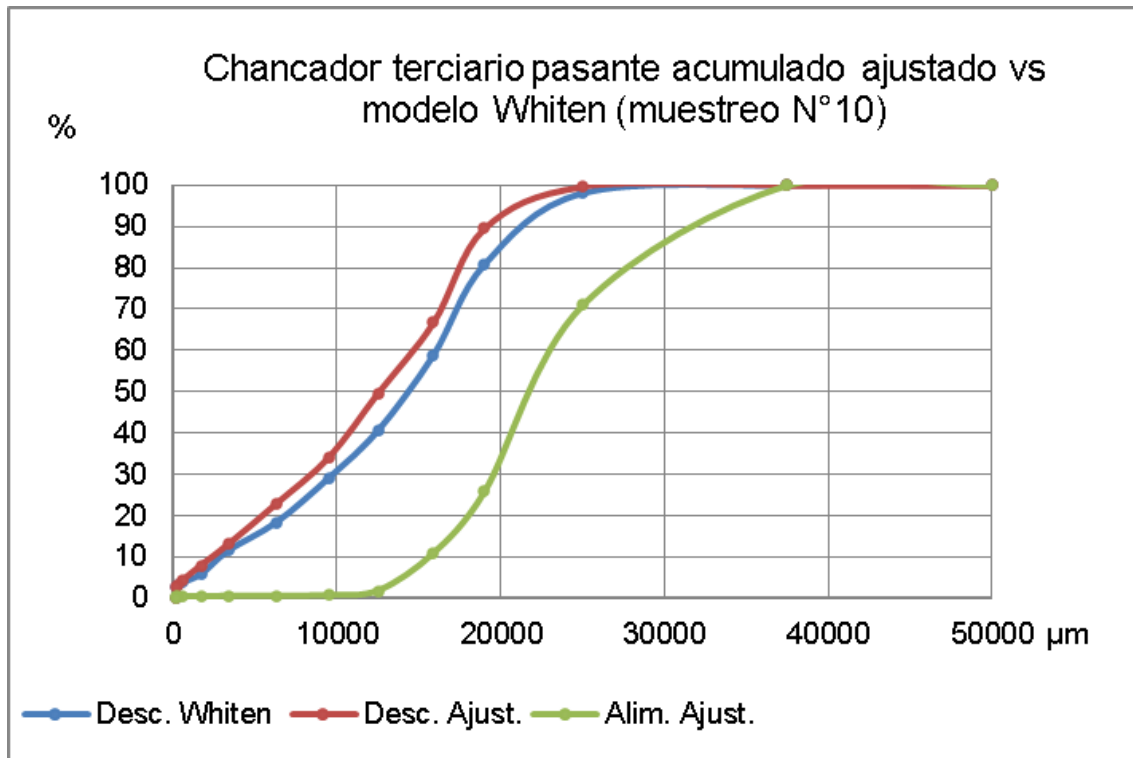


Figura A33: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°10.

Tabla A.82. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°11.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra		11														
Flujo	t/h	56,46					56,46					56,46				
Peso	g	9523					9523					9523				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	2760	29,0	29,0	71,0	16,4	469	4,9	4,9	95,1	2,8	2760	29,0	29,0	71,0	1,1
3/4	19000	4301	45,2	74,1	25,9	25,5	3129	32,9	37,8	62,2	18,6	4301	45,2	74,1	25,9	9,7
5/8	15875	1422	14,9	89,1	10,9	8,4	2762	29,0	66,8	33,2	16,4	1422	14,9	89,1	10,9	12,4
1/2	12500	864	9,1	98,1	1,9	5,1	1463	15,4	82,1	17,9	8,7	864	9,1	98,1	1,9	10,3
3/8	9500	106	1,1	99,3	0,7	0,6	469	4,9	87,1	12,9	2,8	106	1,1	99,3	0,7	6,5
1/4	6300	17	0,2	99,4	0,6	0,1	269	2,8	89,9	10,1	1,6	17	0,2	99,4	0,6	6,1
6	3350	6	0,1	99,5	0,5	0,0	208	2,2	92,1	7,9	1,2	6	0,1	99,5	0,5	3,9
12	1700	3	0,0	99,5	0,5	0,0	160	1,7	93,8	6,2	0,9	3	0,0	99,5	0,5	3,2
30	600	4	0,0	99,6	0,4	0,0	175	1,8	95,6	4,4	1,0	4	0,0	99,6	0,4	1,1
50	300	3	0,0	99,6	0,4	0,0	89	0,9	96,5	3,5	0,5	3	0,0	99,6	0,4	0,4
70	212	3	0,0	99,6	0,4	0,0	43	0,5	97,0	3,0	0,3	3	0,0	99,6	0,4	0,2
-70	150	35	0,4	100,0	0,0	0,2	288	3,0	100,0	0,0	1,7	35	0,4	100,0	0,0	1,6

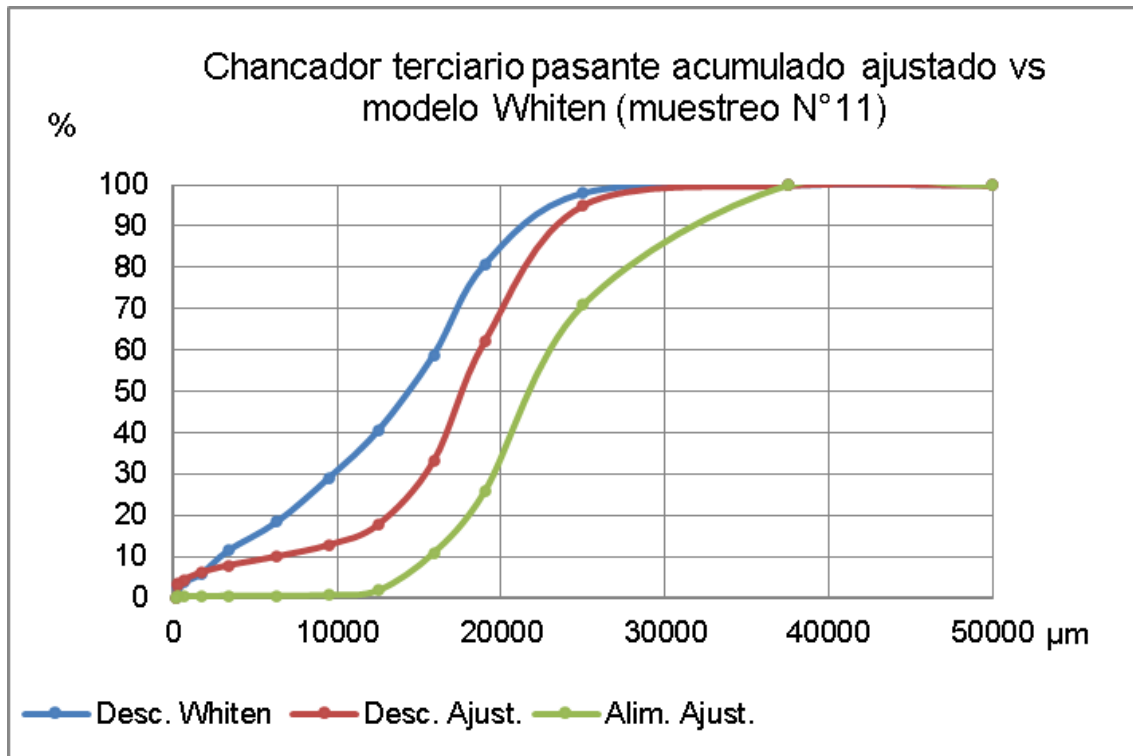


Figura A34: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°11.

Tabla A.83. Chancador terciario ajuste Lagrange y modelo Whiten muestreo N°12.

		Alimentación ajustada					Descarga ajustada					Descarga modelo Whiten				
Muestra	12															
Flujo	t/h	121,74					121,74					121,74				
Peso	g	20533					20533					20533				
Vel.	m/s	1,647					1,647					1,647				
Malla Ty	Abert. [um]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]	Peso [g]	Ret. Parc	Ret. Acum	Pas. Acum	Flujo [t/h]
2	50000	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1 1/2	37500	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0	0	0,0	0,0	100,0	0,0
1	25000	4778	23,3	23,3	76,7	28,3	1510	7,4	7,4	92,6	9,0	4778	23,3	23,3	76,7	6,1
3/4	19000	9449	46,0	69,3	30,7	56,0	9916	48,3	55,6	44,4	58,8	9449	46,0	69,3	30,7	50,0
5/8	15875	4110	20,0	89,3	10,7	24,4	5512	26,8	82,5	17,5	32,7	4110	20,0	89,3	10,7	30,5
1/2	12500	1707	8,3	97,6	2,4	10,1	2348	11,4	93,9	6,1	13,9	1707	8,3	97,6	2,4	15,5
3/8	9500	347	1,7	99,3	0,7	2,1	625	3,0	97,0	3,0	3,7	347	1,7	99,3	0,7	7,7
1/4	6300	27	0,1	99,4	0,6	0,2	237	1,2	98,1	1,9	1,4	27	0,1	99,4	0,6	5,3
6	3350	12	0,1	99,5	0,5	0,1	130	0,6	98,8	1,2	0,8	12	0,1	99,5	0,5	2,9
12	1700	6	0,0	99,5	0,5	0,0	55	0,3	99,0	1,0	0,3	6	0,0	99,5	0,5	1,9
30	600	8	0,0	99,6	0,4	0,0	39	0,2	99,2	0,8	0,2	8	0,0	99,6	0,4	0,6
50	300	7	0,0	99,6	0,4	0,0	21	0,1	99,3	0,7	0,1	7	0,0	99,6	0,4	0,2
70	212	5	0,0	99,6	0,4	0,0	12	0,1	99,4	0,6	0,1	5	0,0	99,6	0,4	0,1
-70	150	77	0,4	100,0	0,0	0,5	128	0,6	100,0	0,0	0,8	77	0,4	100,0	0,0	0,9

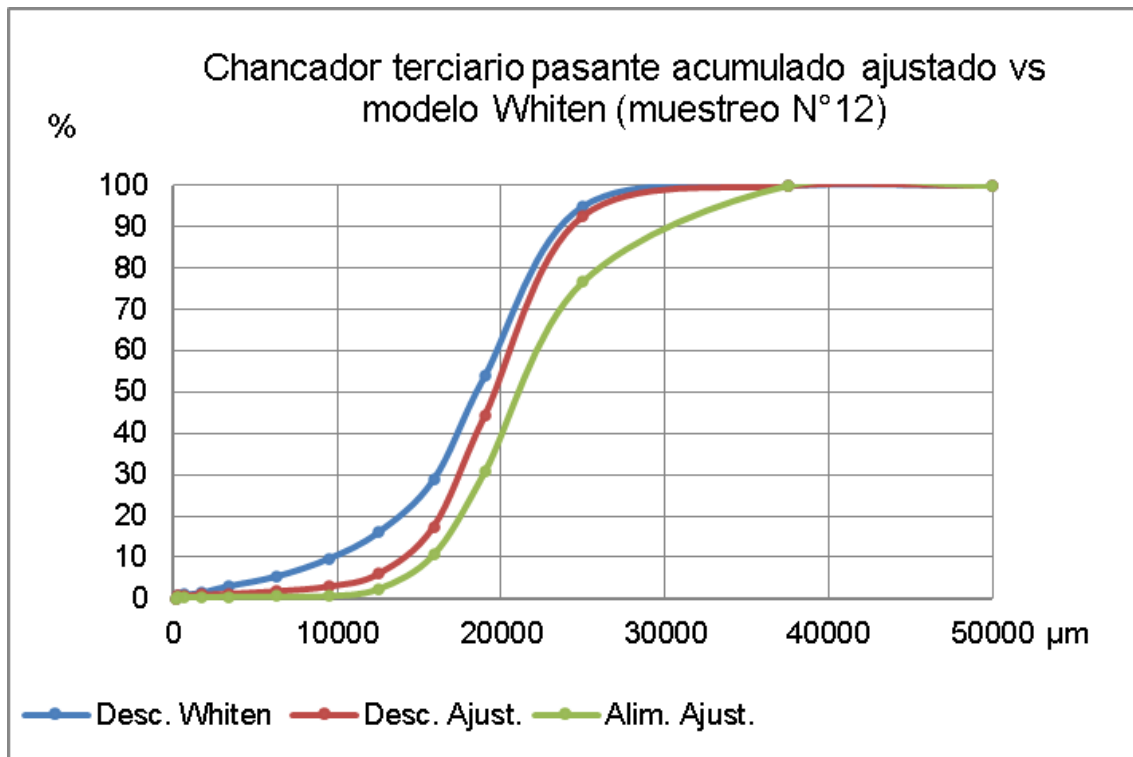


Figura A35: Chancador terciario granulometrías ajustadas vs modelo de Whiten muestreo N°12.

ANEXO B

Ecuación de restricción de capacidad para los chancadores y harneros

B. ECUACIONES DE RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD DE LOS CHANCADORES Y HARNEROS

Si bien el objetivo principal de esta tesis es construir un simulador para el circuito de chancado secundario y terciario utilizado los modelos de Whiten para chancadores de cono y harneros vibratorios, se plantea como objetivo secundario la necesidad de incluir restricciones de capacidad de estos equipos.

Para los chancadores se utilizan las curvas de capacidad para distintos C_{ss} y modelos, curvas utilizadas en los equipos Sandvik. Para el caso de los harneros se plantean restricciones a partir del análisis realizado por la empresa Metso.

B.1. Ecuaciones de restricción de capacidad para chancador CH 440

En la Figura B.1, se puede observar la ficha técnica operacional del chancador CH de cono de Sandvik, que contiene la capacidad nominal para distintos modelos, C_{ss} y Ecc. En la Tabla B.1 se resume la información para el modelo CH-440, las cuales se graficarán para obtener sus ecuaciones, utilizando la aplicación “Opciones de líneas de tendencia” de Excel, aplicando gráficos por tramos.

Tabla B.1 Capacidad nominal MTPH chancador de cono CH 440 Sandvik.

Chancador de cono CH 440 Sandvik Capacidad nominal MTPH												
	Cámara EC		Cámara C		Cámara MC		Cámara M		Cámara MF		Cámara F	
CSS	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor
mm	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h
8											50	137
10							71	89	59	133	53	182
13			88	131	85	185	77	202	64	221	57	197
16	92	207	94	260	92	274	83	267	69	238	62	213
19	99	271	101	282	98	294	90	287	74	256	66	228
22	105	290	108	298	105	314	96	306	79	273	71	244
25	112	308	115	317	112	334	112	326	94	290	76	260
29	121	333	124	342	121	361	128	288	114	257	102	229
32	128	351	131	361	139	312	135	255	120	230	108	200
35	134	370	138	311	146	275	142	213	127	190	113	170
38	141	388	145	270	153	230	149	186	133	166	119	149
41	148	353	152	228	161	201						
44	155	309	159	199								
48	164	245										

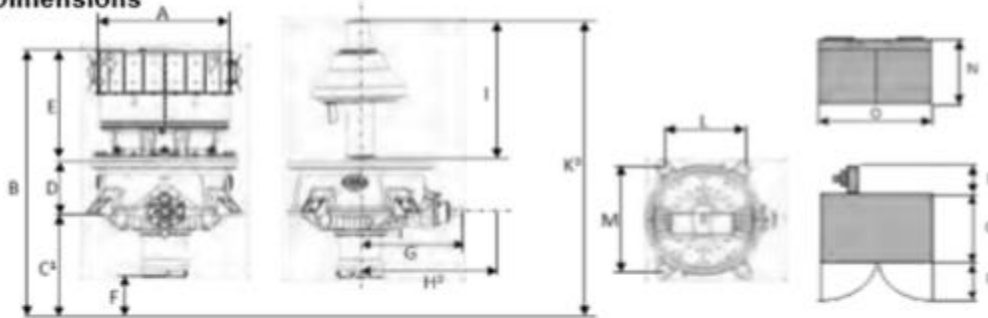
Cone Crushers CH series

Specification and Application range

2012-12-01

CH440

Dimensions



[mm]	A	B	C'	D	E	F	G	H'	I	K'	L	M	N	O	P	Q	R
CH440	1540	3410	1300	750	1370	450	1260	1900	1990	4000	1600	1350	993	1580	861	1210	850

Weights

(kg)	Feed hopper	Spider cap	Topshell, complete	Mainshaft assembly complete	Eccentric, complete	Bottomshell assembly complete	Pinionshaft housing complete	Hydroset cylinder complete	Total Weight (approx.)	Oil tank unit
CH440	450	160	4700	3500	700	5900	375	560	14300	520

Performance

Nominal capacities MTPH for cone crusher CH440								
	Chamber	EC	C	MC	M	MF	F	EF
Max feed size (mm)	CSS	110-130	95-110					
	SH	185	155	125-145	100-120	75-90	65-80	
	TS	215	175	140-160	110-130	85-100	70-85	
Max motor power (kW)		220	220	220	220	220	220	
Ecc. Throw (mm)		16-44	16-44	16-44	16-44	16-44	16-44	
CSS (mm)	8						50-137	
	10				71-89	59-133	53-162	
	13	85	88-131	85-185	77-202	64-221	57-197	
	16	92-207	94-260	92-274	83-267	69-238	62-213	
	19	99-271	101-279	98-294	90-287	74-256	66-228	
	22	105-290	108-298	105-314	96-306	79-273	71-244	
	25	112-308	115-317	112-334	102-326	84-290	76-260	
	29	121-333	124-342	121-361	128-288	114-257	102-229	
	32	128-351	131-361	139-312	135-270	120-241	108-215	
	35	134-370	138-311	146-292	142-213	127-190	113-170	
	38	141-388	145-290	153-230	149-186	133-166	119-149	
41	148-333	152-228	161-201					
44	155-309	159-199						
48	164-245							
Standard Mantles		A/B/FF	A/B/FF	A/B/HC/FF	A/B/HC	A/B/HC	A/B/HC	EF



Figura B.1 Ficha operacional del chancador de cono CH de Sandvik.

B.1.1 Modelación de curvas Cámara EC/ C/ MC/M/MF/F Chancador CH440

En las Figuras B.1; B.2; B.3; B.4; B.5 y B.6, se observan las curvas con los flujos máximos y mínimos del Chancador CH440 con cámaras EC/ C/ MC/ M/ MF/ F C.

Para Obtener las ecuaciones de estas curvas con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicaron regresiones lineales o polinómicas, en intervalos de manera que las regresiones se aproximen lo más posible las curvas originales.

Del Gráfico B.1 se observan las ecuaciones (B.1), (B.2) para el límite máximo de capacidad y (B.3) para el límite mínimo de capacidad, para la cámara tipo EC.

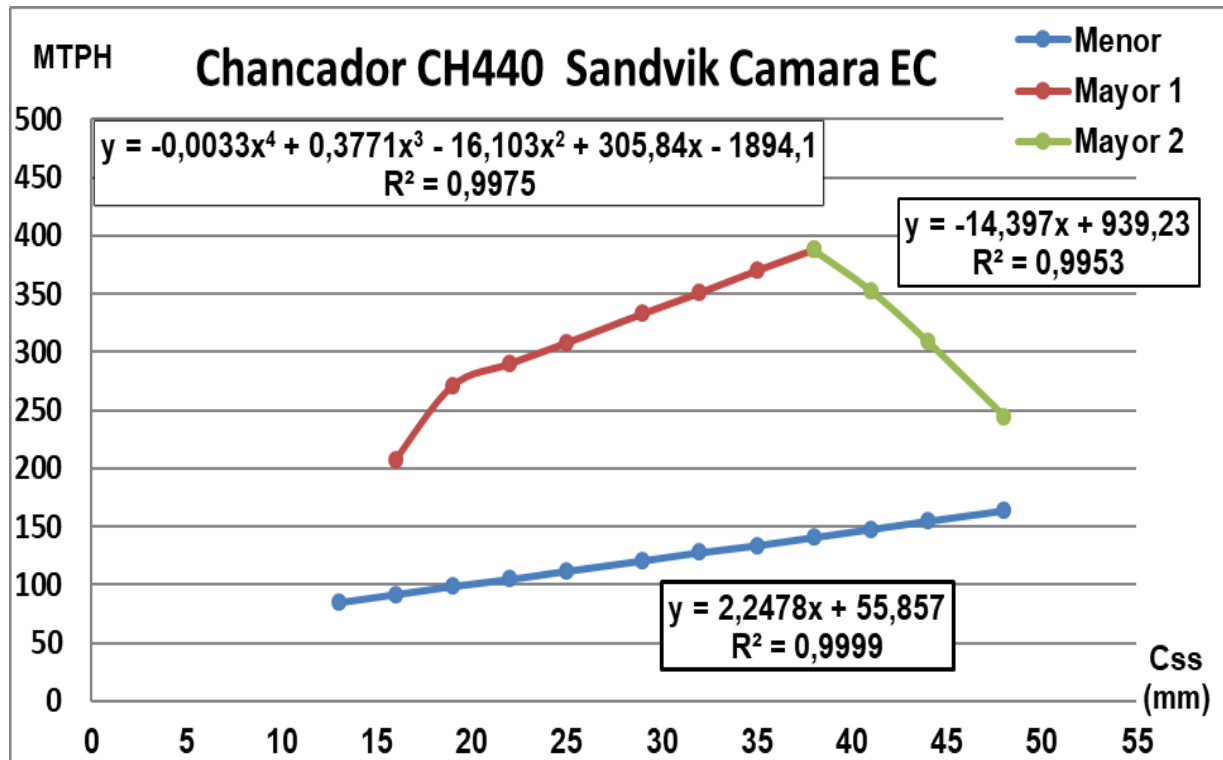


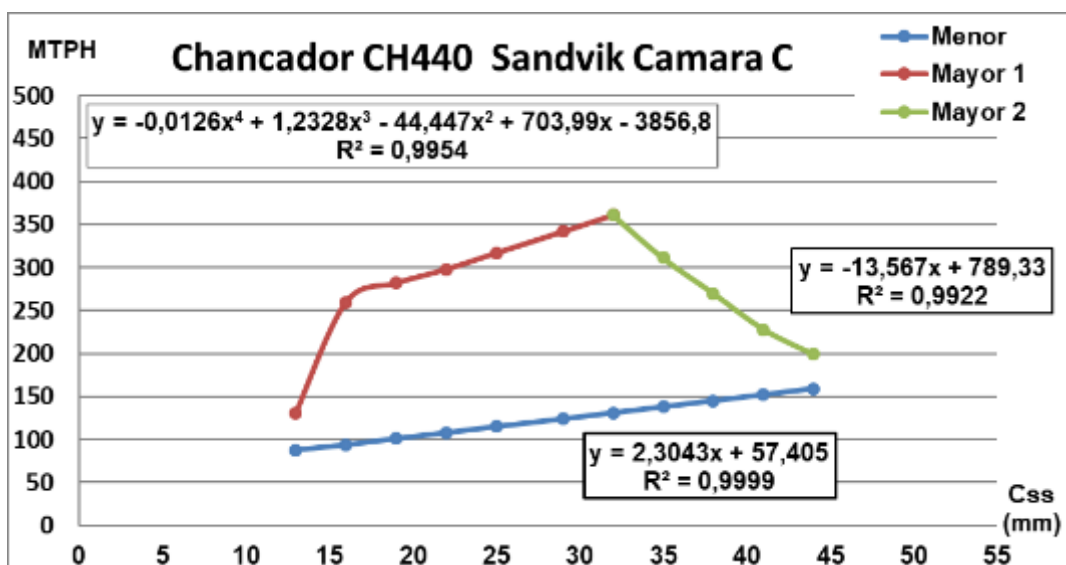
Figura B.2: Curvas de capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara EC.

$$F_{mayor} = 0,0033C_{ss}^4 + 0,3771C_{ss}^3 - 16,103C_{ss}^2 + 305,84C_{ss} - 1894,1 \quad C_{ss} > 38 \quad (B.4)$$

$$F_{mayor} = -14,397C_{ss} + 939,23 \quad C_{ss} \leq 38 \quad (B.5)$$

$$F_{menor} = 2,2478C_{ss} + 55,857 \quad 16 \leq C_{ss} \leq 48 \quad (B.6)$$

Del Gráfico B.2 se observan las ecuaciones (B.4), (B.5) para el límite máximo de capacidad y (B.6) para el límite mínimo de capacidad, para la cámara tipo C.



FiguraB.3: Curvas de capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara C.

$$F_{mayor} = -0,0126C_{ss}^4 + 1,2328C_{ss}^3 - 44,447C_{ss}^2 + 703,99C_{ss} - 3856,8 \quad C_{ss} > 32 \quad (B.4)$$

$$F_{mayor} = -13,567C_{ss} + 789,33 \quad C_{ss} \leq 32 \quad (B.5)$$

$$F_{menor} = 2,3043C_{ss} + 57,405 \quad 13 \leq C_{ss} \leq 44 \quad (B.6)$$

Del Gráfico B.3 se observan las ecuaciones (B.7), (B.8) para el límite máximo de capacidad y (B.9) para el límite mínimo de capacidad, para la cámara tipo MC.

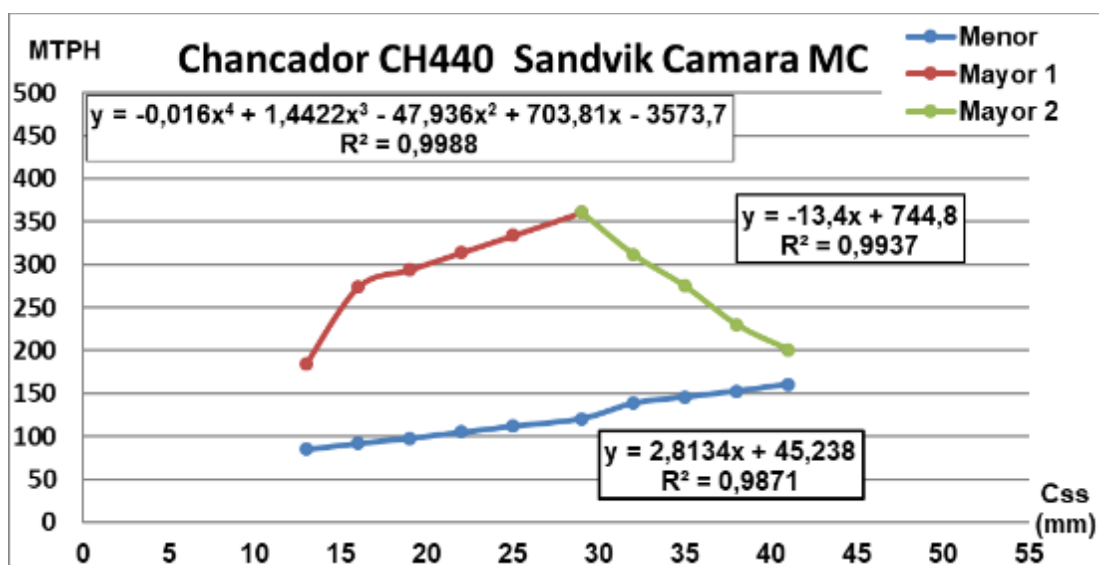


Figura B.4: Curvas de Chancador Sandvik CH440 cámara MC.

$$F_{mayor} = -0,016C_{ss}^4 + 1,422C_{ss}^3 - 47,936C_{ss}^2 + 703,81C_{ss} - 3573,7 \quad C_{ss} > 29 \quad (B.7)$$

$$F_{mayor} = -13,4C_{ss} + 744,8 \quad C_{ss} \leq 29 \quad (B.8)$$

$$F_{menor} = 2,8134C_{ss} + 45,238 \quad 13 \leq C_{ss} \leq 41 \quad (B.9)$$

Del Grafico B.4 se observa las ecuaciones (B.10), (B.11) para el límite máximo de capacidad y (B.12) para el límite mínimo de capacidad, para la cámara tipo M.

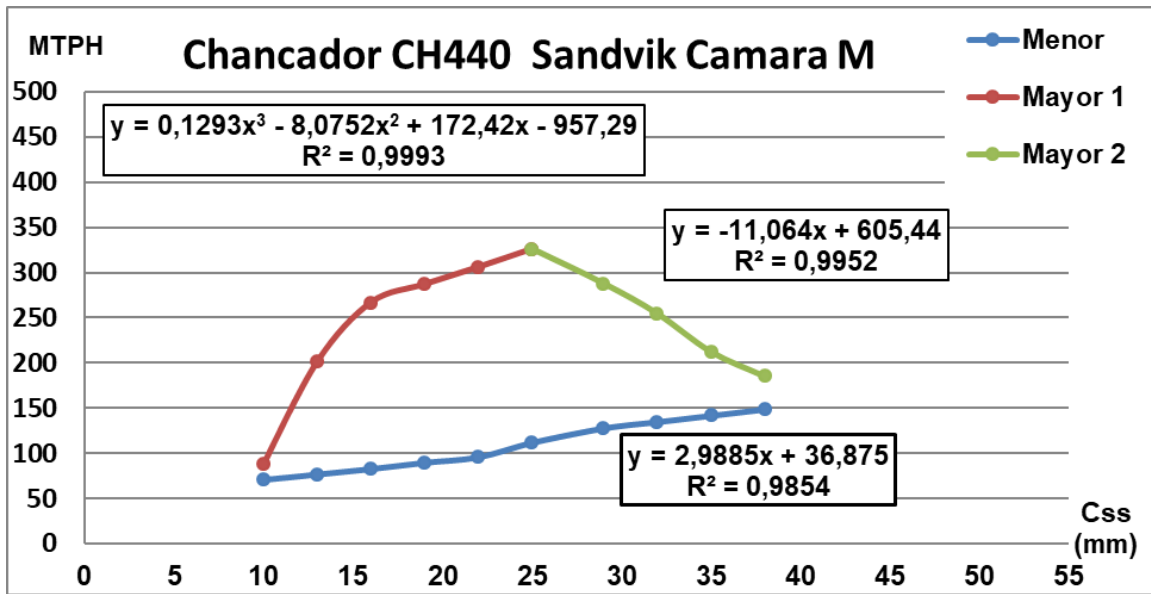


Figura B.5: Curvas capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara M.

$$F_{mayor} = 0,1293C_{ss}^3 - 8,0752C_{ss}^2 + 172,42C_{ss} - 927,29 \quad C_{ss} > 25 \quad (B.10)$$

$$F_{mayor} = -11,064C_{ss} + 605,44 \quad C_{ss} \leq 25 \quad (B.11)$$

$$F_{menor} = 2,9885C_{ss} + 36,875 \quad 10 \leq C_{ss} \leq 38 \quad (B.12)$$

Del Grafico B.5 se observan las ecuaciones (B.13), (B.14) para el límite máximo de capacidad y (B.15) para el límite mínimo de capacidad, para la cámara tipo MF.

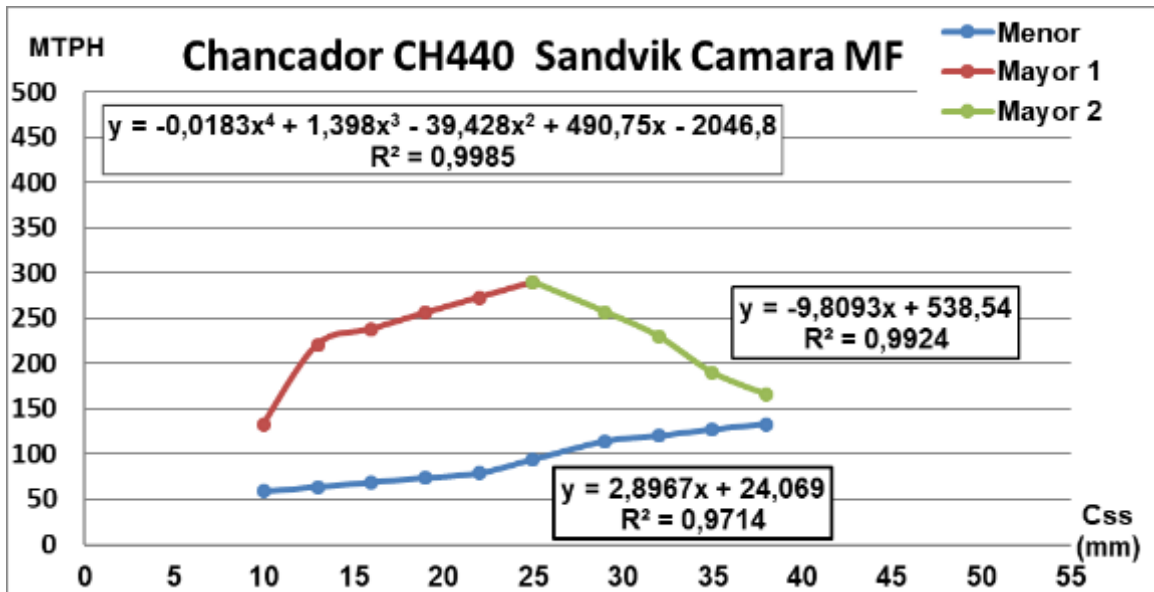


Figura B.6: Curvas de Chancador Sandvik CH440 cámara MF.

$$F_{Mayor} = -0,0183C_{ss}^4 + 1,398C_{ss}^3 - 39,428C_{ss}^2 + 490,75C_{ss} - 2046,8 \quad C_{ss} > 25 \quad (B.13)$$

$$F_{Mayor} = -9,8093C_{ss} + 538,54 \quad C_{ss} \leq 25 \quad (B.14)$$

$$F_{Menor} = 2,8967C_{ss} + 24,069 \quad 10 \leq C_{ss} \leq 38 \quad (B.15)$$

Del Gráfico B.6 se observan ecuaciones (B.16), (B.17) para el límite máximo de capacidad y (B.18) para el límite mínimo de capacidad, para la cámara tipo F.

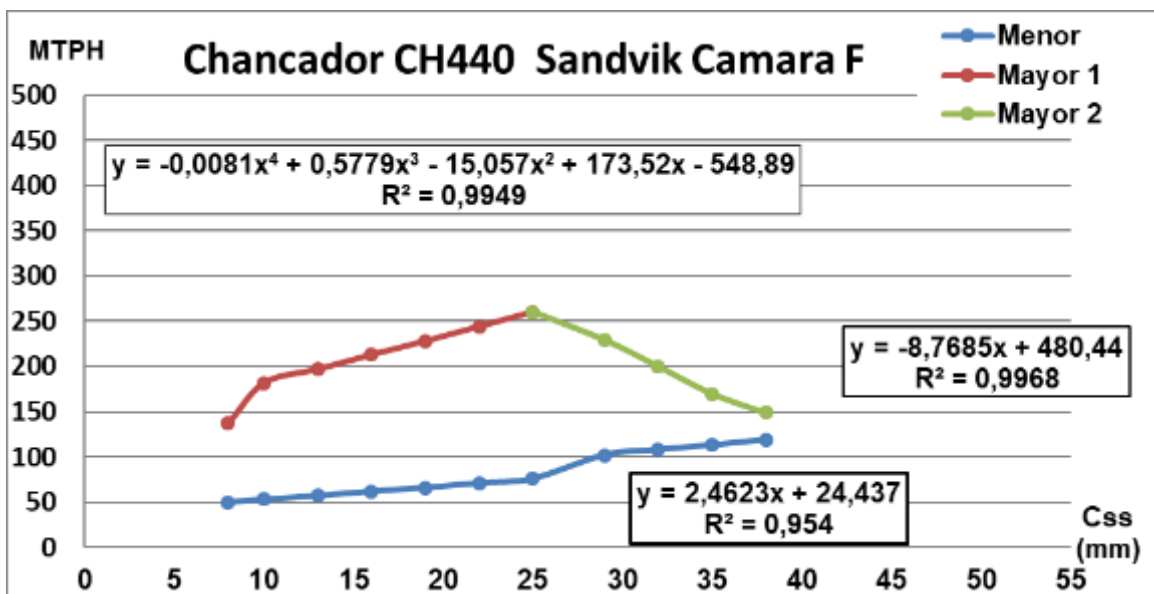


Figura B.7: Curvas de capacidad Chancador Sandvik CH440 cámara F.

$$F_{Mayor} = -0,0081C_{ss}^4 + 0,5779C_{ss}^3 - 15057C_{ss}^2 + 173,52C_{ss} - 548,89 \quad C_{ss} > 25 \quad (B.16)$$

$$F_{Mayor} = -8,7685C_{ss} + 480,44 \quad C_{ss} \leq 25 \quad (B.17)$$

$$F_{Menor} = 2,4623C_{ss} + 24,437 \quad 8 \leq C_{ss} \leq 38 \quad (B.18)$$

El programa o simulador, incluye las fórmulas de los otros modelos, para sugerir una alternativa de chancador en caso de superarse la capacidad del equipo.

B.2 Ecuaciones de restricción, de capacidad para Harneros

A partir del análisis realizado por la empresa Metso para dimensionar los harneros en función de su área, ancho, espesor de la cama de mineral y otros, se determinaron los parámetros de restricción, considerando tres efectos:

- Flujo de alimentación máximo.
- Efecto de la carga en la eficiencia.
- Efecto espesor recomendado en el primer deck.

B.2.1 Flujo de alimentación máximo.

Tomando las curvas del modelo Metso y utilizando las herramientas de regresión del programa Excel, se buscaron las ecuaciones de restricción del modelo para el flujo máximo de alimentación. En el modelo Metso se tiene que:

$$Q_{max} = \frac{A * C * M * K * Q_n}{P} \quad con \quad (B.19)$$

$$Q_n = Q_1 * Q_2 * Q_3 * Q_4 * Q_5 * Q_6 * Q_7 \quad (B.20)$$

Dónde:

- A = área necesaria de la superficie del harnero en m².
- Q máx. = Alimentación en m³/h.
- γ = Densidad aparente del material en ton / m³
- C = Capacidad básica para separación deseada en m³ por hora por 1 metro cuadrado de área del harnero (Gráfico 4.7).
- M = Factor dependiente del porcentaje de material retenido (Gráfico 4.8)
- K = Factor relativo al porcentaje de material de la alimentación inferior, a la mitad de tamaño de la separación deseada. (Gráfico N° 1.1)

- Q_n = Factor de corrección: $Q_1 * Q_2 * Q_3 * Q_4 * Q_5 * Q_6$.
- P = Factor que puede tener valores entre 1 y 1,4; dependiendo del conocimiento y de la seguridad que se tiene de los datos del material al ser clasificado. En instalaciones donde los datos del mineral, abertura, superficie del harnero y capacidad son bastante conocidos y confiables, podrá ser adoptado el factor 1.

B.2.1.1 Parámetro A

Área necesaria para la superficie del harnero en m^2 . Según lo indicado en los catálogos de los harneros instalados en la POX, las áreas actuales son:

Área Harnero LF-2160-D = 12,6 m^2 .

Área Harnero LF-1848-S = 9 m^2 .

Esta variable puede ser ingresada como dato de entrada al programa.

B.2.1.2 Factor C

Capacidad de separación deseada en $m^3/hora$ por m^2 de área del harnero, modelo representado por el Gráfico B.7, levantado como grafico Excel del documento “diseño HARNEROS (METSO)”, pagina 2.

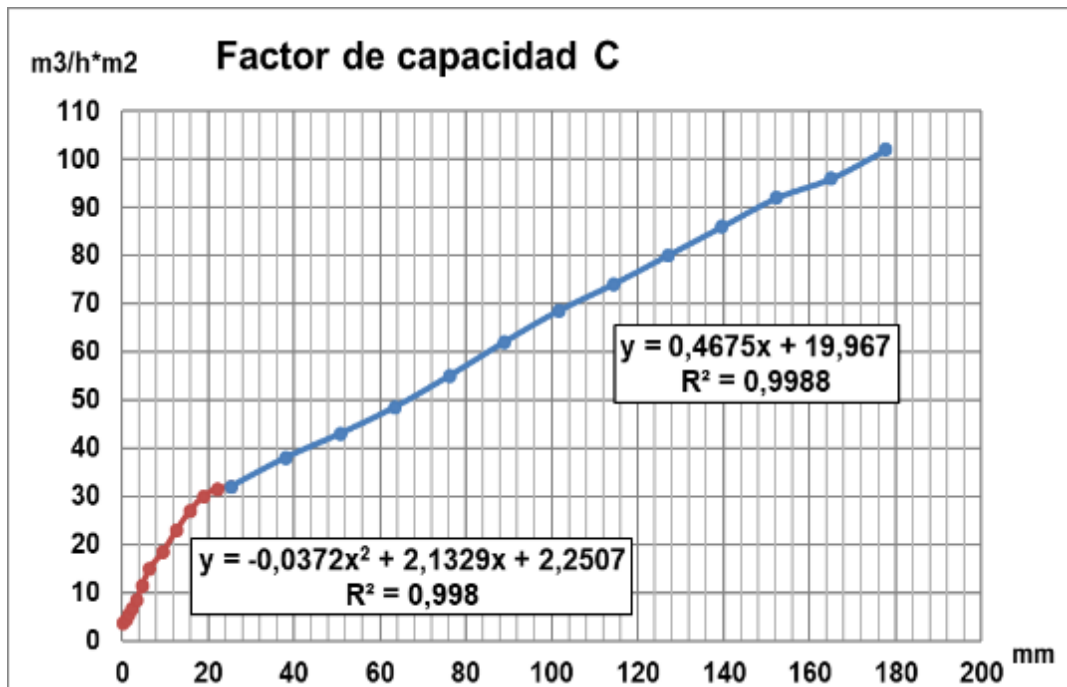


Figura B.8: Factor de capacidad C, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.7, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicarán regresiones lineales o polinómicas según corresponda. Con M_c apertura malla.

$$C = -0,0372M_c^2 + 2,1329M_c + 2,2507 \quad M_c < 25 \quad (B.21)$$

$$C = 0,4675M_c + 10,967 \quad M_c \geq 25 \quad (B.22)$$

Estos valores son parte de los calculados del programa o simulador, para cada harnero, dependiendo de la granulometría de alimentación del circuito.

B.2.1.3 Factor M

Factor dependiente del porcentaje de material retenido, modelo representado por el Gráfico B.8, levantado como grafico Excel del documento “diseño HARNEROS (METSO)”, pagina 3.

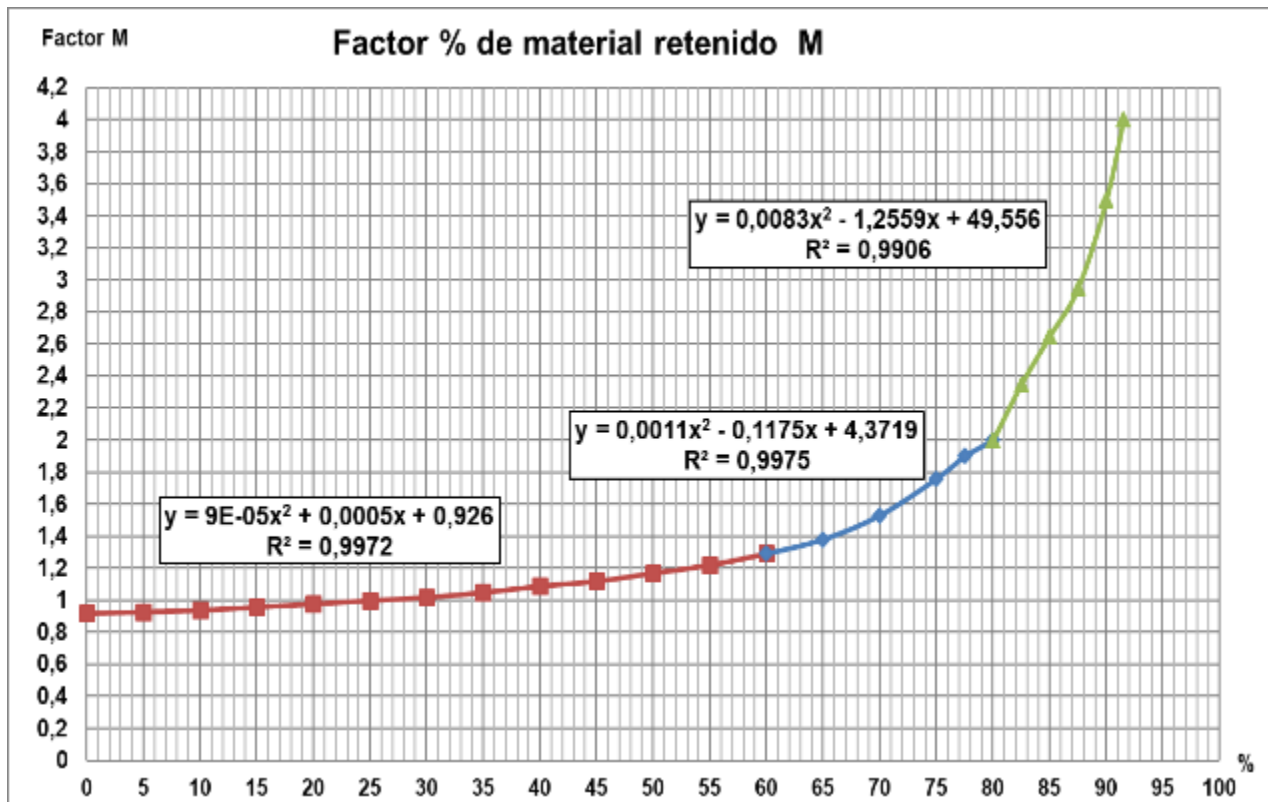


Figura B.9: Factor M, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.8, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicaron regresiones lineales o polinómicas. Con Pr, % material retenido.

$$M = 0,00009Pr^2 + 0,0005Pr + 0,926 \quad Mc < 60 \quad (B.23)$$

$$M = 0,0011Pr^2 - 0,1175Pr + 4,3719 \quad 60 \leq Mc < 80 \quad (B.24)$$

$$M = 0,0083Pr^2 - 0,2559Pr + 49,556 \quad Mc \geq 80 \quad (B.25)$$

Estos valores son parte de los calculados del programa o simulador, para cada harnero, dependiendo de la granulometría de alimentación del circuito.

B.2.1.4 Factor K

Factor relativo al porcentaje de material de la alimentación inferior a la mitad de tamaño de la separación de la malla. Modelo representado por el Gráfico B.9, levantado como grafico Excel del documento “diseño HARNEROS (METSO)”, pagina 3.

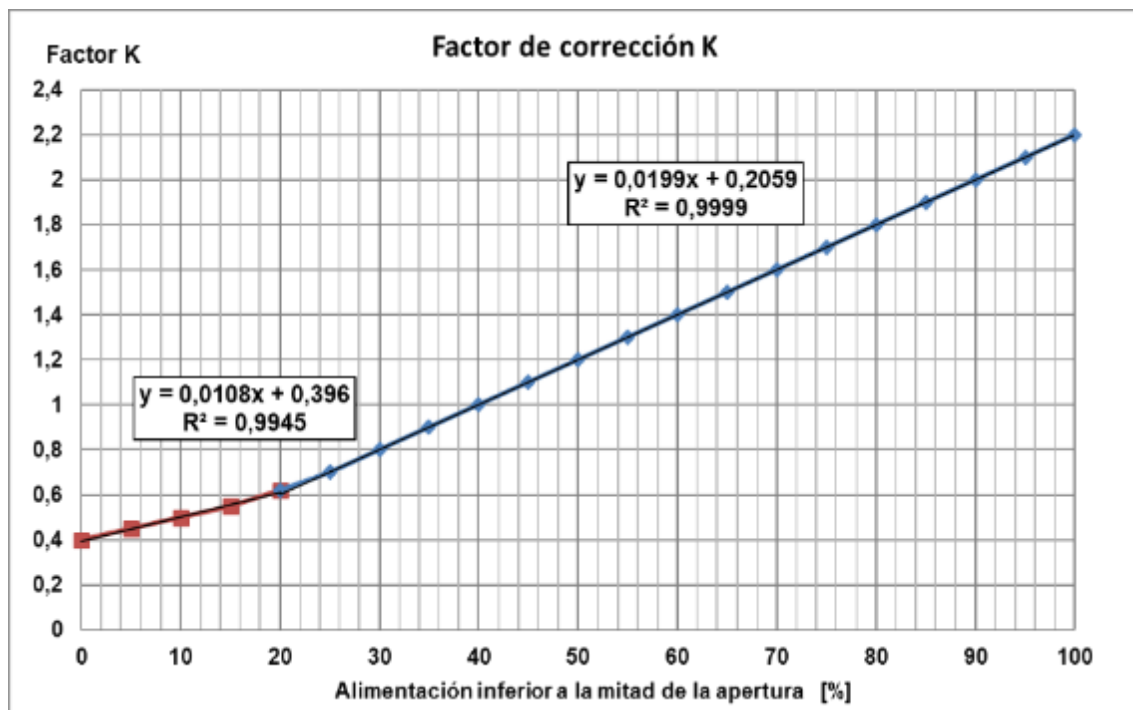


Figura B.10 Factor K, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.9, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicarán regresiones lineales o polinómica según corresponda. Con $Mc^{1/2}$, porcentaje de material de la alimentación inferior a la mitad de tamaño deseado como producto.

$$K = 0,0108Mc^{1/2} + 0,396 \quad Mc^{1/2} < 25 \quad (B.26)$$

$$K = 0,0199Mc^{1/2} + 0,2059 \quad Mc^{1/2} \geq 25 \quad (B.27)$$

Estos valores serán calculados por el programa o simulador, para cada harnero, dependiendo de la granulometría de alimentación del circuito.

B.2.1.5 Factor P

El factor "P" puede tener un valor entre 1 y 1,4; dependiendo del conocimiento y de la seguridad que se tiene de los datos del material a ser clasificado.

Esta variable puede ser ingresado como dato de entrada al programa o simulador.

B.2.1.6 Factor Q

Factor de corrección: $Q1 \times Q2 \times Q3 \times Q4 \times Q5 \times Q6$, con:

- **Factor Q1**

Factor que depende de la cantidad de deck que contiene el harnero, pudiendo tomar valores que se indican en la Tabla B.2.

Tabla B.2 factor Q1, análisis Metso para Harnero.

Cantidad de Deck	1	2	3	4
Q1	1	0,9	0,8	0,7

Esta variable puede ser ingresada como dato de entrada al programa o simulador, ingresando el número de deck. Para nuestro caso se conoce la cantidad de Deck por harnero.

Área Harnero LF-2160-S; 1 deck; Q1= 1

Área Harnero LF-1848-S; 1 deck; Q1 = 1

- **Factor Q2**

Factor que depende de la forma de la partícula, pudiendo tomar valores que se indica en la Tabla B.3.

Tabla B.3 factor Q2, análisis Metso para Harnero.

Forma partícula	Redondeada	Cubica	Laminar
Q2	1,2	1	0,9

Esta variable puede ser ingresada como dato de entrada al programa o simulador. Para nuestro caso utilizaremos Laminar con Q2 = 0,9

- **Factor Q3**

Factor aplicado para harneros con vía húmeda, pudiendo tomar valores que se indica en la Tabla B.4, con.

Tabla B.4 factor Q3.

Apertura malla mm	1-6	6-12	12-25	26-40	41-50	51-75	75 +
Q3	1,4	1,3	1,25	1,2	1,1	1,15	1

Esta variable puede ser ingresada como dato de entrada al programa o simulador, ingresando la apertura de la malla. Para nuestro caso utilizaremos

Área Harnero LF-2160-D; harneado seco; Q3= 1,2

Área Harnero LF-1848-S; harneado seco; Q3 = 1,25

- **Factor Q4**

Factor que depende de la humedad de la alimentación, pudiendo tomar valores que se indican en la Tabla B.5, con.

Tabla B.5 factor Q4, análisis Metso para Harnero.

% humedad	< 3 %	3 % < humed. < 5 %	6 % < humed. < 8 %
Q4	1	0,85	0,7

Esta variable puede ser ingresada como dato de entrada al programa o simulador, ingresando la humedad del mineral. Para nuestro caso la humedad se maneja ente 3 y un 5 %, con Q4= 0,85

- **Factor Q5**

Factor que depende del % de área abierta de la malla. Este factor se aplica tanto para mallas de alambre de acero, goma y poliuretano.

Para calcular el área abierta de los harneros, se calculará el área de un módulo menos al área de las perforaciones

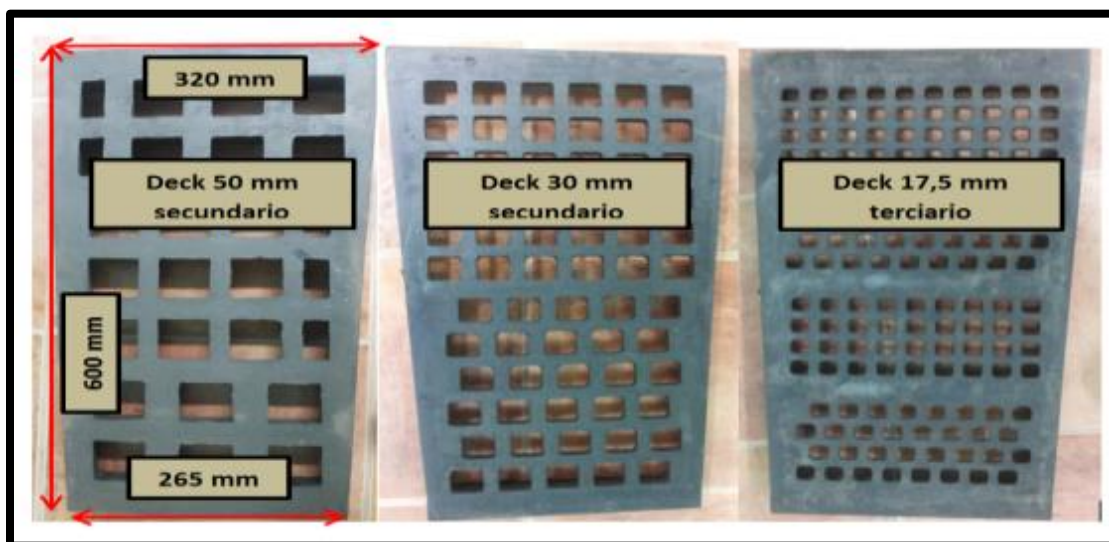
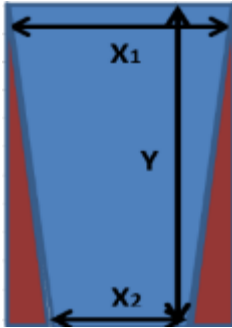


Figura B.11 Mallas deck harneros.

Como todos los módulos de las mallas tienen la misma figura trapezoidal, se calcula el área para un módulo y se multiplica por la cantidad de estos.

- X_1 = Ancho mayor trapecio, modulo malla.
- X_2 = Ancho menor trapecio, modulo malla.
- Y = Largo Trapecio, modulo malla.
- N_{Perf} = Numero perforaciones modulo malla.
- h = Apertura malla.
- A_{Mod} = Área modulo.
- A_{Apert} = Área apertura modulo.
- $A_{\%}$ = Porcentaje área abierta deck.



$$A_{Mod} = X_1 * Y - (X_1 - X_2) * Y \quad (B.28)$$

$$A_{Apert} = h * h * N_{Perf} \quad (B.29)$$

$$A_{\%} = \frac{A_{Apert}}{A_{Mod}} \quad (B.30)$$

Para los casos de las mallas utilizadas en la planta se tiene que

Área apertura y % malla 45 mm =29,9%

Área apertura y % malla 30 mm = 37,4%

Área apertura y % malla 17,5 mm = 27,7%

Las variables X_1 ; X_2 Y ; N_{Perf} y h puede ser ingresada como dato de entrada al programa o simulador.

Estos % pueden ser ingresados en la Tabla B.6 o con más precisión al Grafico B.10, obtenido de la tabla. Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.10, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, para esto se aplicarán regresiones lineales o polinómicas según corresponda. Con $A_{\%}$, de área abierta de la malla.

Tabla B.6 factor Q5, análisis Metso para Harnero.

% Apertura malla	10	15	25	30	40	50	60	70
Q5	0,78	0,83	0,9	0,93	0,97	1	1,03	1,05

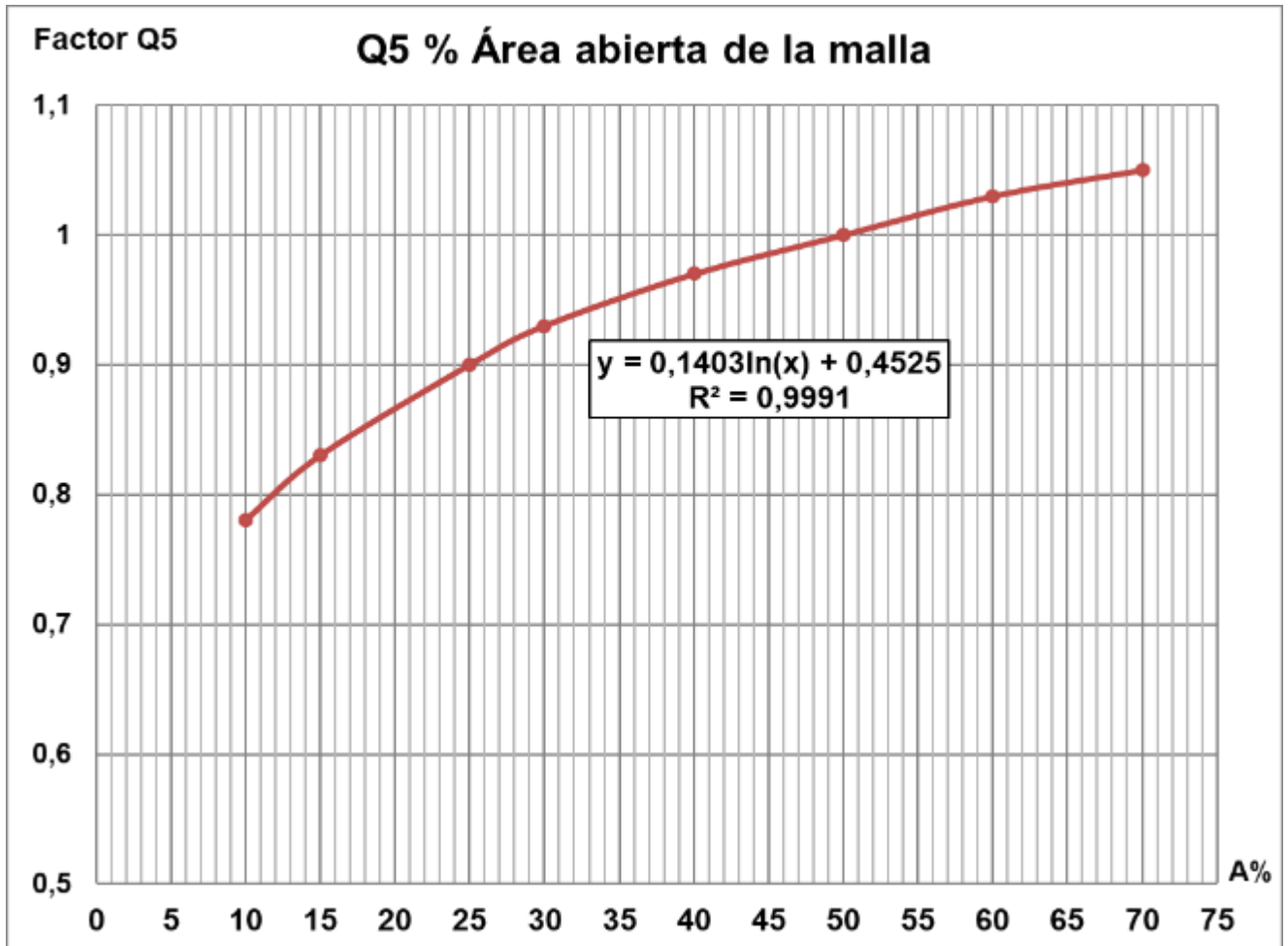


Figura B.12 Factor Q5, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.10, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicarán regresiones lineales o polinómicas según corresponda. Con $A_{\%}$, de área abierta de la malla.

$$Q_5 = 0,1403\ln(A_{\%}) + 0,4525 \quad 10 \leq Mc_{1/2} \leq 70 \quad (B.31)$$

Estos valores pueden ser calculados por el programa o simulador, para cada harnero tipo de malla.

Para el caso particular de los harneros estudiados se tiene:

- Área Harnero LF-2160-D; 29,9% malla 45 mm; Q5 = 0,93
- Área Harnero LF-2160-D; 37,4% malla 30 mm; Q5 = 0,96
- Área Harnero LF-1848-S; 27,7% malla 17,5 mm; Q5 = 0,92

B.2.1.7 Factor Q6

Factor que depende Tipo de harnero, pudiendo tomar valor se indica en la Tabla B.7, con.

Tabla B.7 factor Q6, análisis Metso para Harnero.

	Horizontal		Inclinado		Múltiple pendiente			
Deck	Derecho	Derecho	Derecho	Derecho	Múltiple pendiente	Triple pendiente	Doble pendiente	Doble pendiente
Vibración	Linear	Contante eliptica	Circular	Variable eliptica	Linear	Variable eliptica	Linear	Variable eliptica
Q6	0,9	1,1	1	1,1	1	0,98	0,95	0,9

Esta variable puede ser ingresado como dato de entrada al programa o simulador. Para nuestro caso el harnero es Inclinado vibratorio elíptico y toma el valor Q6= 1,1.

Factor Q7

Modelo representado por el Gráfico B.7, Factor que depende de la eficiencia del harnero. En el cual se puede apreciar que a mayor eficiencia este valor disminuye. Al relacionarlo la ecuación (b.19), si sacrificados eficiencia podemos aumentar el flujo de alimentación del harnero.

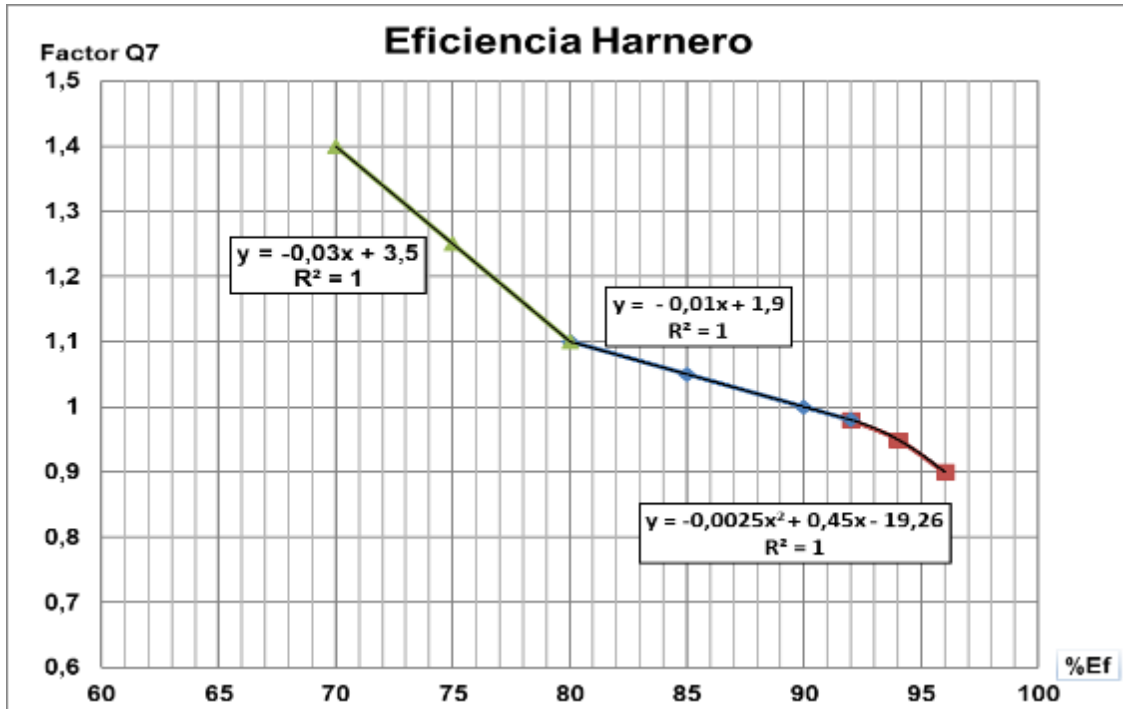


Figura B.13 Factor Q7, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.10, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicarán regresiones lineales o polinómicas según corresponda. Con $Ef_{\%}$, Eficiencia esperada del harnero

$$Q_7 = -0,03Ef_{\%} + 3,5 \quad 70 \leq Mc < 82 \quad (B.32)$$

$$Q_7 = -0,01Ef_{\%} + 1,9 \quad 80 \leq Mc \leq 92 \quad (B.33)$$

$$Q_7 = -0,0025Ef_{\%}^2 + 0,45Ef_{\%} - 19,26 \quad 92 < Mc \leq 95 \quad (B.34)$$

Estos valores serán calculados por el programa o simulador, para cada harnero, dependiendo de la eficiencia que ingresemos.

B.2.2 Efecto de la carga en la eficiencia.

En el Grafico B.12 se puede observar que la eficiencia disminuye cuando se opera con flujos excesivamente grandes con relación a la capacidad nominal, pues el material tiende a "saltar" sobre la malla. En el caso contrario las partículas finas son desplazadas por las partículas gruesas y no ocurre completamente la estratificación.

Para obtener eficiencia de 95% hay que operar el harnero con un 80% de la capacidad calculada, a menor o mayor alimentación el harnero perderá eficiencia.

Estas curvas son levantadas como grafico Excel del documento “diseño HARNEROS (METSO)”, pagina 5.

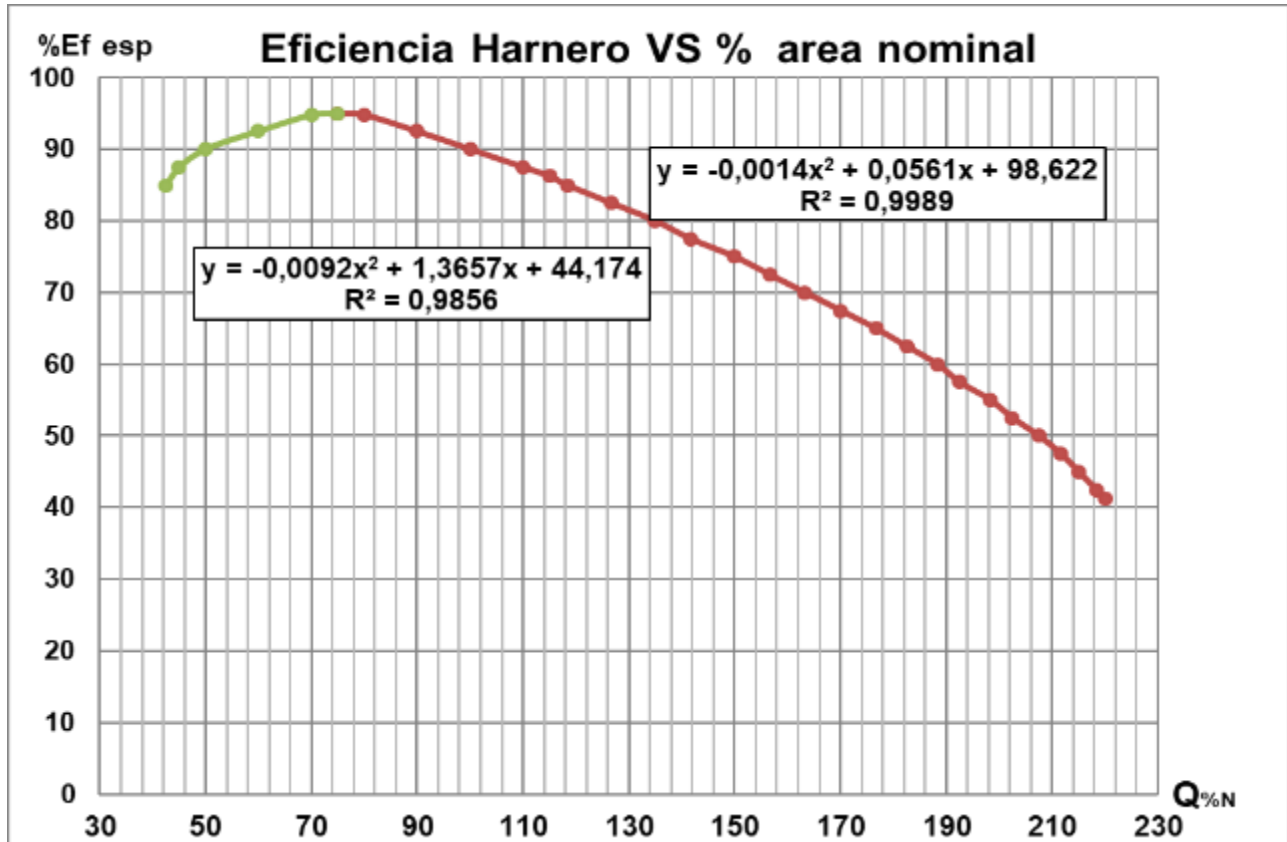


Figura B.14 Eficiencia harnero V/S flujo nominal, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.12, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicarán regresiones lineales o polinómicas según corresponda. Con $Q_{\%N}$, % flujo nominal en la alimentación del harnero.

$$Ef_{est} = -0,0092Q_{\%N}^2 + 1,3657Q_{\%N} + 44,14 \quad 70 > Q_{\%N} \quad (B.35)$$

$$Ef_{est} = -0,0014Q_{\%N}^2 + 0,0561Q_{\%N} + 98,62 \quad 70 \leq Q_{\%N} \quad (B.36)$$

Estos valores serán calculados por el programa o simulador, para cada harnero, dependiendo de la alimentación del harnero.

B.2.3 Efecto espesor recomendado en el primer deck.

Para garantizar la eficiencia de separación del lecho de material en la descarga, el espesor de material en el deck principal debe encontrarse dentro de los límites superior e inferior indicados por el grafico B.13.

Si la altura del lecho es menor al espesor recomendado, se debe reduce el área del harnero, en cambio si el valor del lecho es mayor al espesor máximo, el área del harnero debe ser aumentada.

Estas curvas son levantadas como grafico Excel del documento “diseño HARNEROS (METSO)”, pagina 6.

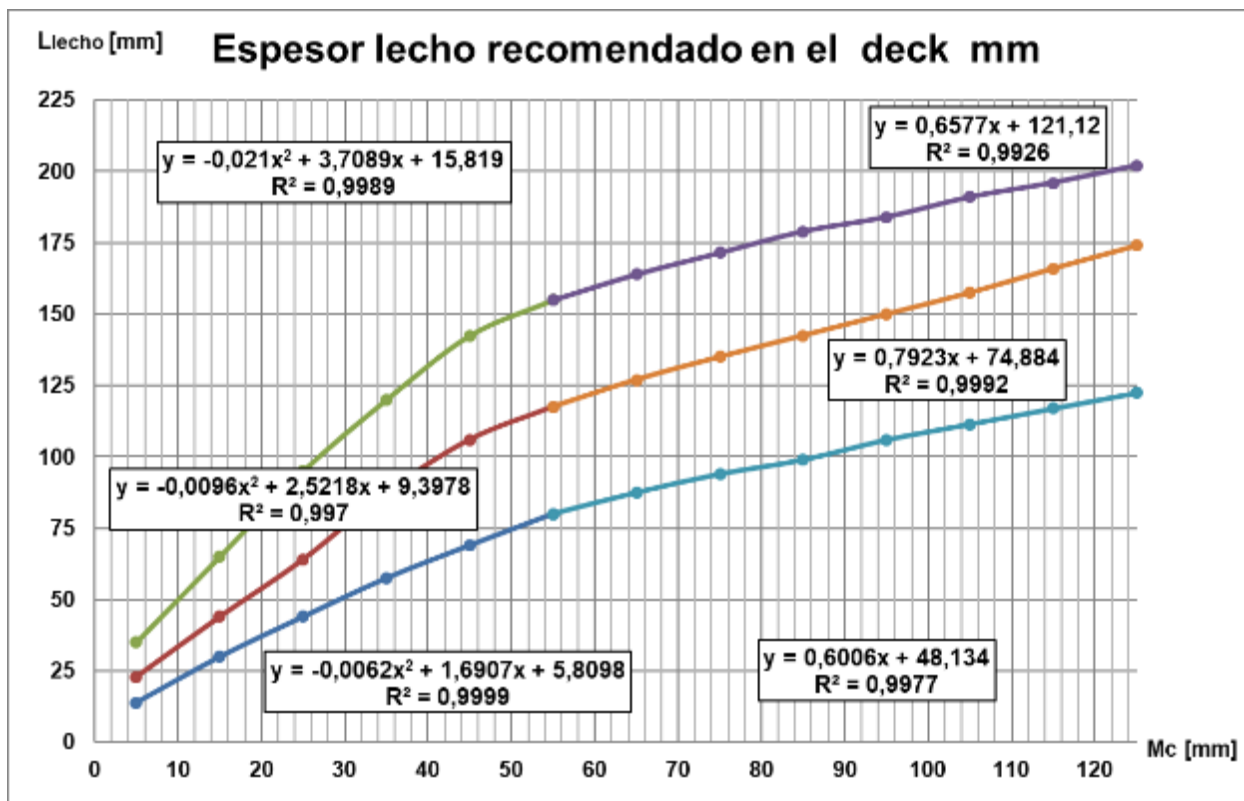


Figura B.15 Espesor cama primer deck, análisis Metso para Harnero.

Mediante regresión se pudo obtener las ecuaciones del Gráfico B.12, con un coeficiente de determinación lineal $R^2 \geq 0,95$, se aplicarán regresiones lineales o polinómicas según corresponda. Con M_c , apertura malla.

Curva Cama máxima

$$L_{lecho} = -0,021M_c^2 + 3,7089M_c + 15,819 \quad 55 > M_c \quad (\text{B.37})$$

$$L_{lecho} = 0,6577M_c + 121,12 \quad 55 \leq M_c \quad (\text{B.38})$$

Curva Cama nominal

$$L_{lecho} = -0,0096M_c^2 + 2,521M_c + 9,3978 \quad 55 > M_c \quad (\text{B.39})$$

$$L_{lecho} = 0,7923M_c + 74,884 \quad 55 \leq M_c \quad (\text{B.40})$$

Curva Cama mínima

$$L_{lecho} = -0,0062M_c^2 + 1,6907M_c + 5,8098 \quad 55 > M_c \quad (\text{B.41})$$

$$L_{lecho} = 0,6006M_c + 48,134 \quad 55 \leq M_c \quad (\text{B.42})$$