



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

**EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA Y DISEÑO DEL PROCESO DE
FABRICACIÓN A NIVEL INDUSTRIAL DE NUEVOS ADITIVOS APLICADOS A
LA MINERÍA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

IGOR IVÁN BERMEJO OLIVARES

PROFESOR GUÍA:

FRANCISCO GRACIA CAROCA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

FELIPE DÍAZ ALVARADO

PAMELA GARRIDO RUIZ

MARÍA FERNANDA GODOY LEÓN

SANTIAGO DE CHILE

ABRIL 2015

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL QUÍMICO**

POR: Igor Iván Bermejo Olivares

FECHA: 16/04/2015

PROFESOR GUÍA: Francisco Gracia Caroca

**“EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA Y DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN A
NIVEL INDUSTRIAL DE NUEVOS ADITIVOS APLICADOS A LA MINERÍA”**

Anualmente, la gran minería chilena genera millones de toneladas de material de desecho denominado relave, disponiéndolos en tranques acondicionados para este propósito. Se espera un aumento progresivo en el volumen de este residuo, puesto que las leyes de los yacimientos son cada vez más bajas. Esto ha motivado al Centro de Investigación JRI (CI-JRI) a fabricar un modificador reológico capaz de disminuir el área de depósito utilizada por los relaves.

En el marco de este proyecto, se exhibe la presente memoria, la que tiene como objetivo principal diseñar el proceso de fabricación industrial de los nuevos reactivos y realizar una evaluación técnica - económica de la planta.

Se definieron tres casos bases distintos, para abastecer a tres mineras de distintos tamaños. De esta forma se diseñó la planta para tres capacidades diferentes; 1.800 [Ton/año], 10.500 [Ton/año] y 22.800 [Ton/año].

El diseño del sistema productivo contempla una planta ubicada en Calama e instalaciones en faena. Estas últimas tienen el propósito de suministrar dosificadamente el aditivo, incorporándolos al relave durante su espesamiento, transporte o depósito.

En relación al capital necesario para tratar 10.500 [Ton/año], se estimaron los costos de inversión y los costos operacionales, tanto para la producción simultánea de todos los aditivos estudiados (planta multiproducto) como para la fabricación individual de estos. En el caso de la planta multiproducto, se estimó una inversión de 60.630 [M USD] (miles de dólares) y un gasto anual de 20.130 [M USD], mientras que en 5 de los 6 aditivos analizados se obtuvieron inversiones entre los 5.330 y 7.550 [M USD] y costos operacionales entre los 1.770 [M USD] y 4.430 [M USD]. Para el último aditivo, se calculó una inversión aproximada de 31.900 [M USD] y un gasto operacional de 8.100 [M USD].

Se realizó una evaluación económica de los casos mencionados anteriormente, obteniéndose el Valor actual Neto de estos. Para la planta multiproducto se calculó un valor de 49.110 [M USD], mientras que para los aditivos individuales se tuvieron cifras entre los 9.270 [M USD] y 12.800 [M USD]. Sólo para el aditivo con el mayor costo operacional y de inversión se tuvieron pérdidas, ya que su Valor Actual Neto fue de -13.680 [M USD].

El análisis de sensibilidad del proyecto mostró que este depende principalmente del costo de materias primas, equipos y traslado de productos, por lo que se recomienda estudiar más a fondo el emplazamiento final de la planta.

Finalmente, se sugiere realizar una evaluación ambiental del proyecto, descartar los aditivos con bajo rendimiento y llevar a cabo pruebas a escala piloto con el fin de cuantificar la disminución en la superficie de deposición de relaves.

Agradecimientos

Al término de esta etapa en mi vida no me queda más que agradecer a todas las personas que me apoyaron e hicieron esto posible. En este sentido quienes se merecen mi mayor gratitud son mis padres y hermanos, ya que siempre me alentaron, soportaron y mimaron. Pero por sobre todo, porque creyeron en mí más de lo que yo creí en mí mismo.

Agradezco las buenas amistades que hice en la universidad: Carmen, Ceroni, Cristián, Eli, Fabián, Lorenzo, Moreno, Palta, Pancho y Piga. Sus constantes ayudas, risas, conversaciones, almuerzos, partidos, asados y un largo etcétera, sin duda hicieron más llevadera la vida del estudiante estresado (o llorón como les gustaba decirme). A Álvaro, Carmen, Elisa y Fabián les debo agradecer, además, los concejos y recomendaciones respecto al trabajo de título.

A cada uno de los LDV, por ser los mejores amigos que podría desear. Porque son mi segunda familia. Porque nuestras juntas semanales siempre fueron el lugar perfecto para dejar atrás los malos ratos y llenarse de buenas vibras para la semana venidera.

A mis profesores Felipe y Francisco, por estar siempre disponibles ante cualquier duda, y por instruirme durante los últimos años.

A todo el personal del Centro de Investigación JRI por recibirme de la mejor manera. Por la paciencia que tuvieron para enseñarme cada uno de los aspectos concernientes al laboratorio. En particular quiero agradecer a Pamela por brindarme la oportunidad de realizar mi memoria en la empresa y a María Fernanda por sus incontables concejos y revisiones.

A Gina, por su buena disposición para resolver los diversos asuntos burocráticos.

A todos ustedes, muchas gracias.

Tabla de Contenido

1. Introducción	11
1.1. Marco Teórico	13
1.1.1. Ensayos reológicos	15
1.2. Relativo al Centro de Investigación JRI.....	17
1.3. Antecedentes para evaluación económica	18
1.3.1. Competencia.....	18
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
2. Respecto a los aditivos	20
2.1. Caracterización de materias primas.....	20
2.2. Metodología experimental.....	20
3. Procedimiento experimental	22
3.1. Pruebas para MC3	22
3.1.1. Materiales utilizados	22
3.1.2. Metodología	23
3.1.3. Resultados	25
3.1.4. Discusión parcial	25
3.2. Pruebas para MMC2.....	26
3.2.1. Materiales utilizados	26
3.2.2. Metodología	26
3.2.3. Resultados	27
3.2.4. Conclusiones	27
3.3. Pruebas de envejecimiento	27
3.3.1. Materiales utilizados	27
3.3.2. Metodología	28
3.3.3. Resultados	29
3.3.4. Discusión y conclusiones parciales del análisis experimental	30
4. Ingeniería conceptual	32
4.1. Esquema del proceso.....	32
4.2. Esquema propuesto después de las pruebas en laboratorio	33
4.3. Equipos escogidos	34

4.3.1.	Planta multiproducto	34
4.3.2.	Instalaciones en faena.....	35
4.4.	Diagrama de flujos	36
4.5.	Layout de la planta	38
4.6.	Límite de batería.....	39
4.7.	Dimensionamiento de la planta multiproducto	40
4.7.1.	Mezcladores y tanque pulmón.....	40
4.8.	Dimensionamiento de equipos en faena.....	42
4.8.1.	Tanques suministradores y de almacenamiento	42
4.8.2.	Área de instalaciones en faena	44
4.9.	Balance de energía	44
4.9.1.	Mezclador de MEL:MH en planta multiproducto	44
4.9.2.	Tanques agitados en faena.....	44
5.	Evaluación económica.....	46
5.1.	Ingresos	46
5.2.	Costos de inversión (Capex)	47
5.3.	Costos de operación (Opex)	48
5.4.	Valor Actual Neto (VAN).....	49
5.5.	Análisis de sensibilidad.....	50
6.	Discusión	53
6.1.	Pruebas en laboratorio.....	53
6.2.	Dimensionamiento	54
6.3.	Evaluación económica y análisis de sensibilidad.....	54
7.	Conclusiones y recomendaciones	57
	Bibliografía	59
	Anexos	64
A.	Nomenclatura	64
B.	Balance de Masa.....	66
C.	Dimensionamiento de equipos	69
a.	Mezcladores de planta multiproducto	69
b.	Tanque de almacenamiento en planta multiproducto.....	69
c.	Tornillos sin fin	70
d.	Tanques suministradores y de almacenamiento	72

e.	Área de instalaciones en faena	73
f.	Balance de energía	80
1.	Balance de energía para mezclador batch de MEL:MH.....	80
2.	Balance de energía para mezcladores en faena	81
D.	Evaluación económica.....	82
a.	Costos de inversión (CAPEX).....	82
1.	Costos de equipos.....	82
2.	Costos de terreno.....	84
3.	Acondicionamiento del terreno	84
4.	Costos de edificaciones	85
5.	Costos indirectos	85
6.	Otros costos	85
b.	Costos de operación (OPEX)	86
1.	Sueldos personal contratado.....	86
2.	Costo de insumos de producción y materias primas	88
3.	Costos de servicios.....	89
4.	Costos de transporte	90
c.	Flujo de caja y análisis de sensibilidad	91

Índice de Figuras

Figura 1. Producción de relaves y pastas..	11
Figura 2. Esquema resumen de las etapas en la generación de relaves.....	12
Figura 3. Efectos dependencia de la reología de los relaves en las etapas de espesamiento, transporte y depósito.	12
Figura 4. Esfuerzo de compresión, de tracción y de corte.	13
Figura 5. Esquemas de reogramas.....	14
Figura 6. Efecto del tiempo (a) y de la velocidad de cizalle (b).....	15
Figura 7. Ejemplos de sensores para reómetro.....	16
Figura 8. Ejemplo de un dispositivo Vane y técnica para medir la tensión de fluencia.....	16
Figura 9. Curva de respuesta típica torque v/s tiempo observadas con el método Vane.	16
Figura 10. Medidor de pH utilizado.	22
Figura 11. (Izquierda) Agitador mecánico. (Derecha) Estufa para muestras.	23
Figura 12. Reómetro utilizado en las pruebas de laboratorio.....	23
Figura 13. Secuencia de preparación de MC3.....	24
Figura 14. Resultados para prueba de MC3. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.	25
Figura 15. Secuencia de separación de MMC2.....	26
Figura 16. Resultados para prueba de MMC2. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.	27
Figura 17. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 1. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.	29
Figura 18. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 3. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.	29
Figura 19. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 4. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.	30
Figura 20. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 6. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.	30
Figura 21. Esquema preliminar para planta multiproducto.	32
Figura 22. Esquema posterior a pruebas en laboratorio de planta multiproducto.	33
Figura 23. (A) Transportador de tornillo. (B) Mezclador de doble cono.....	34
Figura 24. (Izquierda) Ejemplo de ensacadora de maxisacos. (Derecha) Ejemplo de contenedor IBC de 1.000 litros.....	35
Figura 25. Diagrama del proceso, parte 1.	36
Figura 26. Diagrama del proceso, parte 2	37
Figura 27. Layout de planta multiproducto.....	38
Figura 28. Progresión en el tiempo del porcentaje de mercado abarcado.....	46
Figura 29. Instalaciones en faena para aditivo 1,5 y 6, considerando caso pequeño. En verde, planta de floculante.....	74
Figura 30. Instalaciones en faena para aditivo 1,5 y 6, considerando caso mediano.	74
Figura 31. Instalaciones en faena para aditivo 1,5 y 6, considerando caso grande.....	75
Figura 32. Instalaciones en faena para aditivo 2, considerando caso pequeño.	75
Figura 33. Instalaciones en faena para aditivo 2, considerando caso mediano.	76
Figura 34. Instalaciones en faena para aditivo 2, considerando caso grande.....	76

Figura 35. Instalaciones en faena para aditivo 3, considerando caso pequeño.	77
Figura 36. Instalaciones en faena para aditivo 3, considerando caso mediano.	77
Figura 37. Instalaciones en faena para aditivo 3, considerando caso grande.	78
Figura 38. Instalaciones en faena para aditivo 4, considerando caso pequeño.	78
Figura 39. Instalaciones en faena para aditivo 4, considerando caso mediano.	79
Figura 40. Instalaciones en faena para aditivo 4, considerando caso grande.	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Materias primas utilizadas en la formulación de aditivos.	18
Tabla 2. Costos operacionales para producir un concentrado de cobre al 30% a partir de mineral con una ley de 0,5%. El costo del mineral no está incluido. Adaptado de la bibliografía.	18
Tabla 3. Aditivos a procesar.	20
Tabla 4. Resumen de caracterización de materias primas.	20
Tabla 5. Generación anual de Relaves de Cobre en las distintas faenas mineras entre el 2009 y 2013.	39
Tabla 6. Criterio de segmentación de mineras.	39
Tabla 7. Producción de relaves y aditivos.	40
Tabla 8. Dimensionamiento de mezcladores para fabricar 1.800 [Ton/año] de aditivos.	40
Tabla 9. Dimensionamiento de mezcladores para fabricar 10.500 [Ton/año] de aditivos.	40
Tabla 10. Dimensionamiento de mezcladores para fabricar 22.800 [Ton/año] de aditivos.	41
Tabla 11. Resumen de las características de los tornillos sin fin utilizados en planta multiproducto para el caso mediano.	42
Tabla 12. Dimensiones de tanques suministradores y de almacenamiento para utilizar 1.800 [Ton/año] de aditivo.	43
Tabla 13. Dimensiones de tanques suministradores y de almacenamiento para utilizar 10.500 [Ton/año] de aditivo.	43
Tabla 14. Dimensiones de tanques suministradores y de almacenamiento para utilizar 22.800 [Ton/año] de aditivo.	43
Tabla 15. Área de las diferentes instalaciones en faena.	44
Tabla 16. Resumen de las temperaturas en estado estacionario que alcanzarían los aditivos en los mezcladores en una faena mediana.	45
Tabla 17. Resumen de ingresos anuales por aditivo en base a la generación anual de relaves en la industria chilena.	47
Tabla 18. Resumen del Capex para cada aditivo.	48
Tabla 19. Resumen del Opex para cada aditivo.	49
Tabla 20. Valor Actual Neto del proyecto para los distintos casos de producción.	49
Tabla 21. Resumen de producción y costos para una planta multiproducto que fábrica los aditivos 2, 5 y 6.	50
Tabla 22. Análisis de sensibilidad para el aditivo 5.	50
Tabla 23. Estudio de la variación de la razón de Deuda/Inversión particular (D/P) para el aditivo 5.	51
Tabla 24. Análisis de sensibilidad para el aditivo 4, comercializándolo a 1.000 [USD/Ton].	51
Tabla 25. Análisis de sensibilidad para el aditivo 4, comercializándolo a 2.300 [USD/Ton].	51
Tabla 26. Estudio de la variación de la razón de Deuda/Inversión particular (D/P) para el aditivo 4, comercializándolo a 2.300 [USD/Ton].	52
Tabla 27. Balance de masa para caso pequeño, parte 1.	66
Tabla 28. Balance de masa para caso pequeño, parte 2.	66
Tabla 29. Balance de masa para caso mediano, parte 1.	67
Tabla 30. Balance de masa para caso mediano, parte 2.	67
Tabla 31. Balance de masa para caso grande, parte 1.	68
Tabla 32. Balance de masa para caso grande, parte 1.	68

Tabla 33. Valores estándar para el coeficiente de relleno.	70
Tabla 34. Valores del coeficiente de disminución del material, según la inclinación del canalón... 71	71
Tabla 35. Valores comunes para el coeficiente de resistencia.	72
Tabla 36. Resumen de propiedades termoquímicas de las materias primas.....	80
Tabla 37. Costo de equipos de planta multiproducto.	82
Tabla 38. Factor de aumento en el precio de equipo sin instalar.	83
Tabla 39. Precios de terrenos.	84
Tabla 40. Costos asociados a la limpieza del terreno.....	84
Tabla 41. Costos asociados a la preparación del terreno.....	84
Tabla 42. Costos asociados a cercar el terreno.....	84
Tabla 43. Costos de construir oficinas, laboratorio, bodegas y otros.....	85
Tabla 44. Costos indirectos del proyecto.	85
Tabla 45. Otros costos asociados.	86
Tabla 46. Sueldos del personal contratado.....	86
Tabla 47. Resumen costo de sueldos a empleados.	87
Tabla 48. Superficie de los distintos espacios de la empresa.	87
Tabla 49. Costos mensuales de insumos y materias primas. * Costo de una unidad. ** Unidades anuales.....	88
Tabla 50. Potencia utilizada por los equipos en la planta.....	89
Tabla 51. Total de costos por electricidad.....	89
Tabla 52. Datos suministrados por la empresa para el cálculo del costo en transporte.....	90
Tabla 53. Costo de transportar materias primas.	90
Tabla 54. Costo de transporte de aditivos.	91
Tabla 55. Flujo de caja para planta multiproducto. Cifras en USD.....	92
Tabla 56. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 2. Cifras en USD.	93
Tabla 57. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 4.Cifras en USD.	94
Tabla 58. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 5. Cifras en USD.	95
Tabla 59. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 6. Cifras en USD.	96
Tabla 60. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 5. Cifras en USD.....	97
Tabla 61. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 5. Cifras en USD.	98
Tabla 62. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 5. Cifras en USD.	99
Tabla 63. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 5. Cifras en USD.	100
Tabla 64. Flujo de caja cuando se transporta el aditivo 5 a Teniente. Cifras en USD.	101
Tabla 65. Flujo de caja cuando hay un 75% de préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.	102
Tabla 66. Flujo de caja cuando hay un 50% de préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.	103
Tabla 67. Flujo de caja cuando hay un 25% de préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.	104
Tabla 68. Flujo de caja cuando no hay préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.	105

Tabla 69. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 5. El aditivo se comercializa a 1.000 [USD/Ton]. Cifras en USD.....	106
Tabla 70. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 4. El aditivo se comercializa en 1.000[USD/Ton]. Cifras en USD.	107
Tabla 71. Flujo de caja para el aditivo 4, comercializándolo a 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	108
Tabla 72. Flujo de caja cuando disminuye un 20% el costo de los equipos para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	109
Tabla 73. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	110
Tabla 74. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	111
Tabla 75. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	112
Tabla 76. Flujo de caja cuando se transporta el aditivo 4 a Teniente. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	113
Tabla 77. Flujo de caja cuando se tiene un 75%de préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300[USD/Ton]. Cifras en USD.	114
Tabla 78. Flujo de caja cuando se tiene un 50% de préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	115
Tabla 79. Flujo de caja cuando se tiene un 25% de préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo a 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	116
Tabla 80. Flujo de caja cuando no hay préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo a 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.	117
Tabla 81. Flujo de caja cuando se producen los aditivos 2, 5 y 6, en un 40%, 25% y 35%, respectivamente. Cifras en USD.	118

Capítulo 1

1. Introducción

La mayor parte de las operaciones mineras en Chile se centran en la explotación y procesamiento de minerales sulfurados de cobre en plantas concentradoras, las cuales producen un concentrado de 30-33 % aprox. de Cu, y mayoritariamente un desecho industrial minero que se denomina relave, el que consiste en un material formado por partículas finas, de 20 a 120 micrones aproximadamente, y agua formando una pulpa con contenido de sólido en el rango de los 55 a 70 %. Todos los años, la industria minera desecha millones de toneladas de relaves en piscinas y tranques acondicionados para este propósito. La producción de relaves chilenos es un problema de una magnitud única en el mundo, puesto que estos se generan, en por lo menos, un orden de magnitud más que en cualquier otro país del mundo (ver Figura 1). Se estima que sólo en el 2011 se generaron 113.345.000 toneladas de material de relave en el país [1].

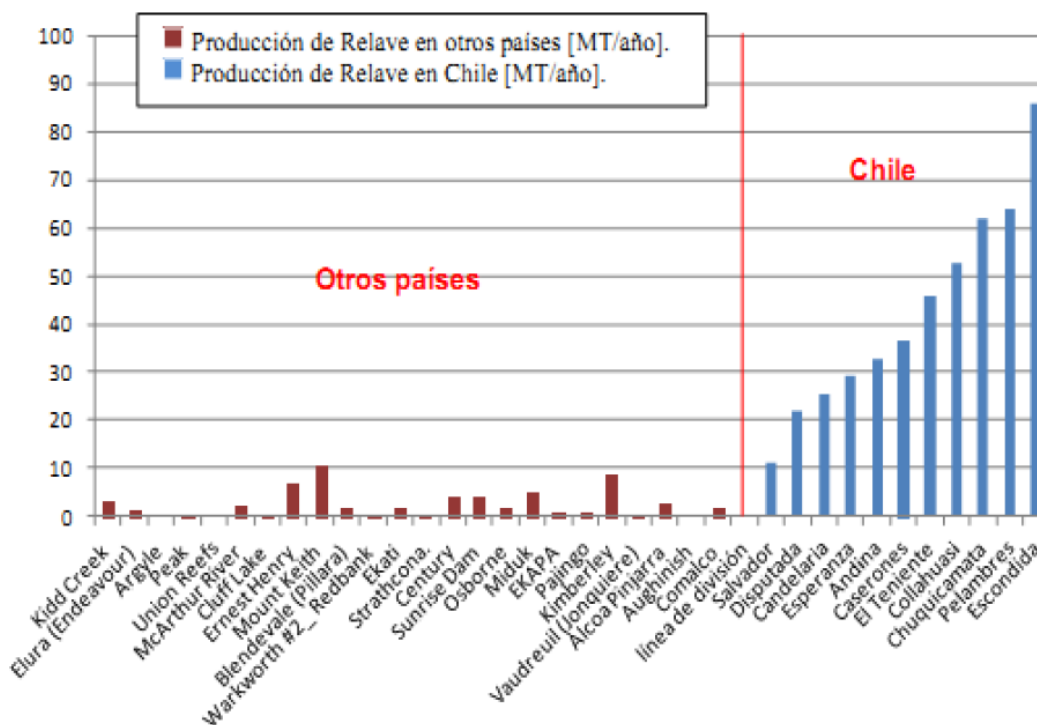


Figura 1. Producción de relaves y pastas. Adaptado de [2].

Este flujo irá en aumento, ya que las leyes de los yacimientos mineros decrecen cada vez más, lo que implica que se tendrá que extraer un mayor volumen de mineral para producir la misma masa de cobre, lo que se traduce en una mayor generación de relaves. En las últimas dos décadas el porcentaje de cobre extraído por cada tonelada de material pasó de 1,61% a 0,87% y se estima que para el 2020 la ley promedio para la industria chilena será de un 0,67% [3].

Es por estos motivos que se ha detectado la necesidad de mejorar las condiciones en que se realiza la disposición de relaves, con el fin de evitar pérdidas económicas y daños medioambientales. Si bien en la actualidad los relaves son producidos en la etapa de espesamiento,

se desea lograr que estos estén aún más concentrados, ya que esto genera una mayor estabilidad del material depositado, se ocupa una menor área superficial y se recupera más agua (ver Figura 2). Este último punto es particularmente importante debido a la escasez hídrica que se tiene en el norte del país. El agua retirada de los relaves puede ser recirculada a otras etapas del proceso.

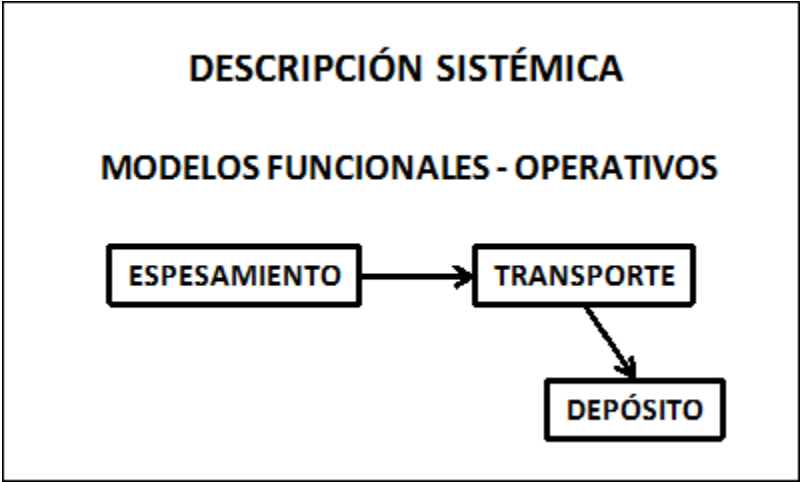


Figura 2. Esquema resumen de las etapas en la generación de relaves [4].

Sin embargo, concentrar los relaves no es trivial, puesto que se tienen varias dificultades operacionales relacionadas, principalmente, con su reología. Aumentando propiedades como la viscosidad o la tensión de fluencia del relave, se tiene un consiguiente aumento en el trabajo necesario para transportar el material. Más aún, como se muestra en la Figura 3, la reología de los relaves influye directamente en las tres etapas señaladas previamente.



Figura 3. Efectos dependencia de la reología de los relaves en las etapas de espesamiento, transporte y depósito [4].

Precisamente en base a la pendiente del depósito se podría cuantificar el área utilizada por el relave en el sitio de deposición del mismo.

1.1. Marco Teórico

El nacimiento de la reología es atribuible a Marcus Reiner y a Eugene Bingham en 1928. Esta es una rama de la física que estudia tanto el flujo como la deformación de la materia [5].

Los principales parámetros que definen la reología de un fluido son la tensión de fluencia (τ_f) y la viscosidad (μ). En el caso de las pulpas metalúrgicas la primera cobra una mayor importancia y depende principalmente del contenido de sólidos de la pulpa, de las propiedades fisicoquímicas de las partículas que lo constituyen y su composición química, además del pH de la solución.

En algunas ocasiones la tensión de fluencia es denominada como punto de cedencia o “yield stress”. Esta da cuenta de la magnitud de fuerza o esfuerzo que debe ser aplicado a un fluido para que este escurra. Por otro lado, la viscosidad es un parámetro de la materia que otorga información respecto a la disipación de la energía mecánica frente a una tasa de deformación determinada, es decir es una medida de la fricción interna con la cual un fluido se opone al movimiento [6].

Ambos parámetros pueden ser resumidos en un reograma, en el que se grafica la tensión tangencial (τ) versus la deformación angular (γ). La tensión tangencial o esfuerzo de corte son los esfuerzos que resultan de la aplicación de fuerzas opuestas, que se aplican paralelamente pero desalineada una con respecto a la otra (ver Figura 4) [7].

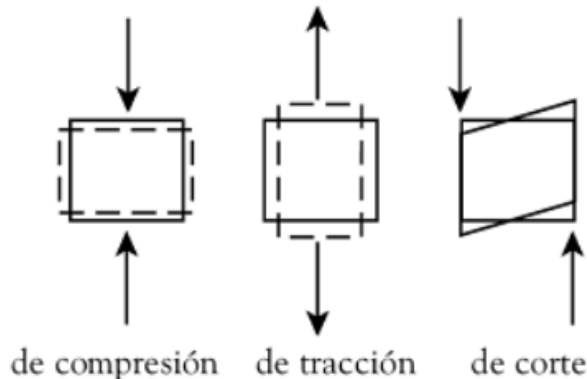


Figura 4. Esfuerzo de compresión, de tracción y de corte [7].

Cuando un esfuerzo cortante es aplicado a un fluido, este se deforma a una tasa constante. Este índice o tasa de deformación se conoce como deformación angular, el cual es igual al valor del gradiente de velocidad de las moléculas y partículas en cualquier punto de interés dentro del fluido [7].

En la Figura 5 se esquematizan los reogramas típicos para fluidos que se encuentran en la ingeniería de procesos.

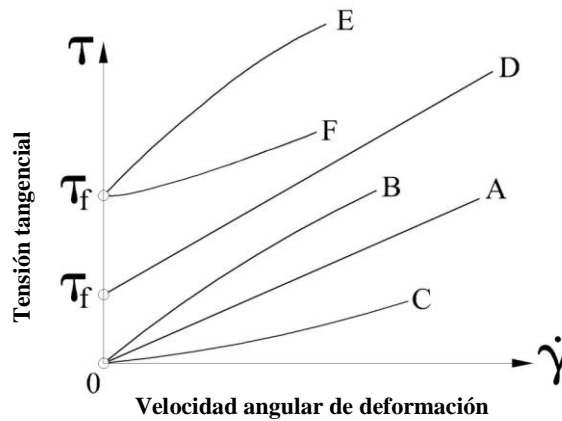


Figura 5. Esquemas de reogramas [4].

Dónde los fluidos se clasifican como:

- Curva A: Newtoniano.
- Curva B: Pseudoplástico.
- Curva C: Dilatante.
- Curva D: Plástico ideal.
- Curva E: Pseudoplástico con tensión de fluencia.
- Curva F: Dilatante con tensión de fluencia.

Según lo estudiado por el Centro de Investigación JRI. S.A. las pulpas mineras presentan un comportamiento pseudoplástico con tensión de fluencia. En particular para relaves de cobre, en una buena parte de los casos, los resultados de laboratorio pueden expresarse mediante el modelo de Bingham, a partir del cual se determinan los parámetros reológicos [5].

Por otro lado, la viscosidad de suspensiones y pastas, normalmente, depende de la velocidad y del tiempo de cizalle [8]. En función de estos parámetros, los fluidos se clasifican en dos tipos: tixotrópicos y reopécticos.

Un fluido tixotrópico es aquel que disminuye su viscosidad en el tiempo frente a una velocidad de cizalle constante. En cambio, en el fluido reopéctico aumenta la viscosidad en el tiempo frente a una velocidad de cizalle constante (ver Figura 6 (a)). Por otra parte cuando un fluido dependiente del tiempo se somete a una tasa de cizalle variable, primero en aumento y luego en disminución, las curvas del esfuerzo de corte no coinciden, lo que se debe a un aumento o disminución de la viscosidad al aumentar el tiempo de cizalle (ver Figura 6 (b)) [9].

Cabe mencionar que no todos los fluidos son sensibles al cizalle, ya que su viscosidad o tensión de fluencia no se ven modificados debido al tiempo o a la intensidad del cizallamiento. Algunos materiales presentan agregación debido al cizalle lo que genera un aumento en la fuerza de su estructura, y otros presentan un aumento en su tensión de fluencia con tiempos de cizalle prolongados debido a una reducción en su distribución de tamaño de partícula. Un caso particular es la laterita de níquel, la cual presenta una reducción de su reología frente a bajas velocidades de cizalle, y un aumento en su reología frente a altas tasas de cizalle [8].

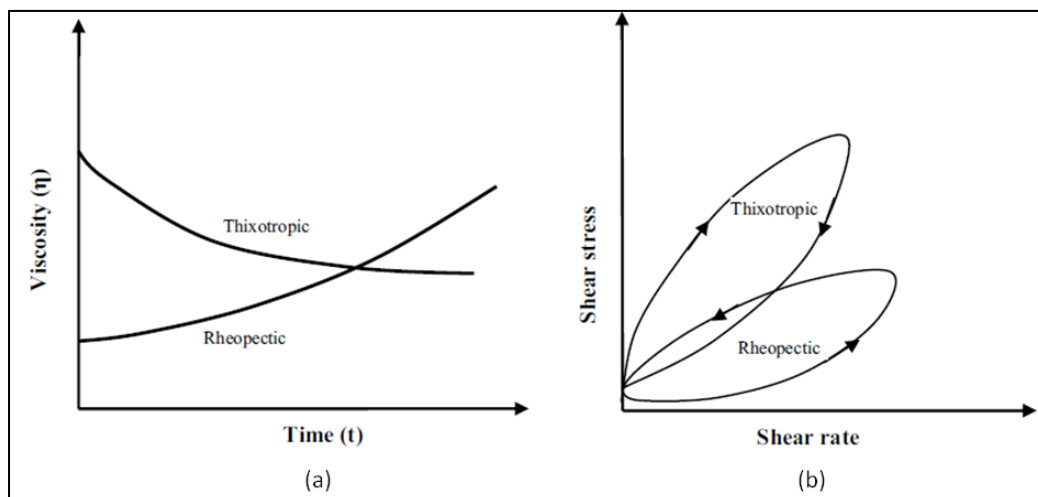


Figura 6. Efecto del tiempo (a) y de la velocidad de cizalle (b) [10][11].

Una sustancia capaz de alterar el comportamiento de los fluidos, cambiando una o más de las propiedades descritas previamente, se denomina como “modificador reológico”. Estos compuestos son utilizados en industrias como la alimenticia, minera, cosmética, etc. Por ejemplo, en la confección de algunas cremas cosméticas se modifica la viscosidad del producto para facilitar la aplicación del mismo [12]. En el caso de los alimentos se utilizan para controlar la textura, apariencia y liberación de aromas, lo que contribuye a la aceptabilidad del producto [13]. Para la minería, y el estudio presentado a continuación, es utilizado para modificar la tensión de fluencia del relave, lo que posibilita obtener un mayor ángulo de deposición, y por consiguiente, una menor área de derrame.

Los modificadores reológicos pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos. Los primeros incluyen diversos polímeros y surfactantes que presentan una estructura molecular dispuesta en cadenas lineales y/o ramificadas que contienen carbono e hidrógeno, más radicales nitrogenados y carboxílicos, mientras que los segundos corresponden a aniones, cationes, ácidos, bases y sales inorgánicas basadas en aluminosilicatos. Los modificadores inorgánicos actúan principalmente afectando la carga superficial de las partículas interviniendo en la magnitud de la atracción/repulsión electrostática entre las partículas componentes de la solución. La acción de los aditivos orgánicos (polímeros y surfactantes) es una combinación de fuerzas electrostáticas y modificaciones estéricas en el espacio intermolecular (asociadas al peso molecular y configuración molecular de los reactivos). Mientras los polímeros de bajo peso molecular son dispersantes (reductores de la viscosidad), los de alto peso molecular suelen inducir la floculación y aumentar la tensión de fluencia [14].

1.1.1. Ensayos reológicos [15]

Los reómetros son aparatos que permiten determinar las propiedades reológicas de los fluidos. Estos miden paralelamente el torque y la velocidad angular de un dispositivo inmerso en la muestra, y a partir de estos datos son capaces de estimar la viscosidad, tensión de fluencia y deformación angular.

Existe una gran variedad de sensores que llevan a cabo este ensayo, los que difieren principalmente en su geometría. En la Figura 7 se ven ejemplos de los sensores más típicos.

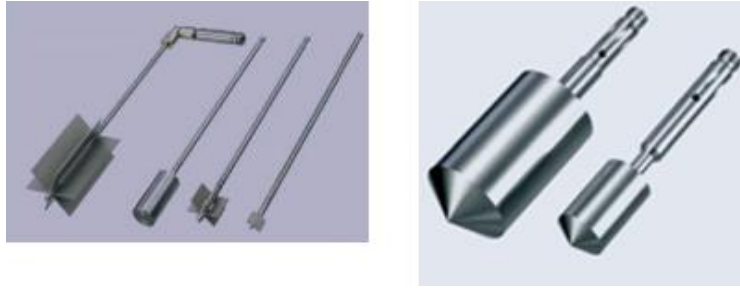


Figura 7. Ejemplos de sensores para reómetro [16].

Cuando se ocupa un sensor de paletas se efectúa el denominado “método Vane”, el cual permite la medición de la tensión de fluencia de suspensiones concentradas. En él se sumerge completamente el rotor de paletas en la muestra a ensayar. En la Figura 8 se ilustra esta prueba.

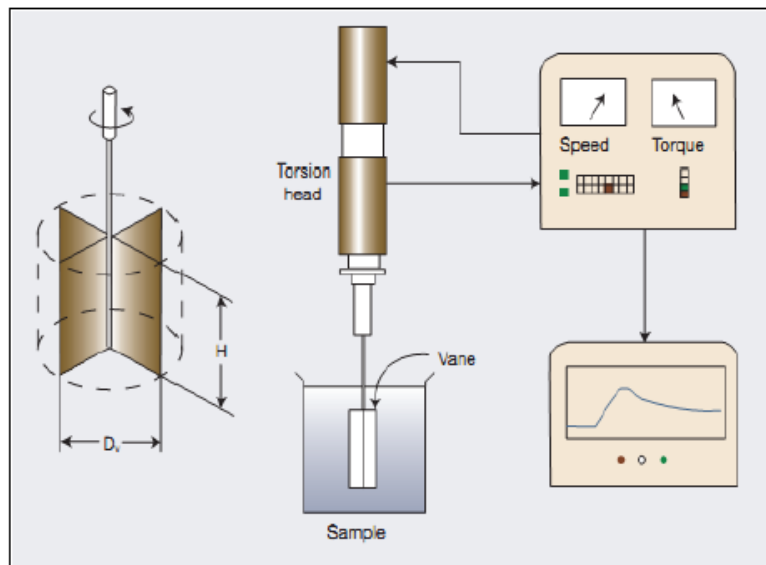


Figura 8. Ejemplo de un dispositivo Vane y técnica para medir la tensión de fluencia [17].

Una vez sumergido el dispositivo se hace rotar lentamente a una velocidad angular constante. Para ello se aplica un torque que es medido en función del tiempo.

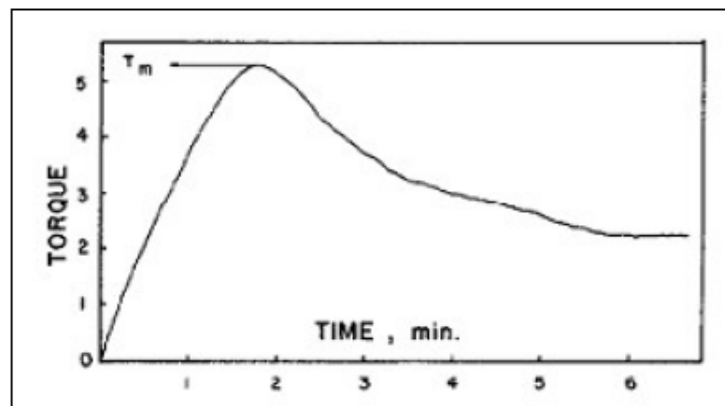


Figura 9. Curva de respuesta típica torque v/s tiempo observadas con el método Vane [15].

Las zonas de la suspensión que están en contacto con las paletas del dispositivo, se oponen inercialmente al movimiento de estas. Como la suspensión no está fluyendo libremente, el sensor aumenta el torque gradualmente para mantener una velocidad de giro constante (ver parte lineal de la Figura 9). Esta situación se mantiene hasta alcanzar un máximo T_m , el que se define como el torque en que la suspensión comienza a fluir libremente. Posteriormente, la red que conforma la suspensión se deforma gradualmente y, por ende, el torque necesario para mantener una velocidad angular constante disminuye. Finalmente, cuando la red colapsa el material fluye sin que las fuerzas hidrodinámicas presentes puedan reincorporar la red.

Cuando se alcanza el torque máximo la suspensión fluye a lo largo de un cilindro virtual definido por las aletas del dispositivo Vane. Esta geometría permite relacionar la tensión de fluencia con el torque máximo medido.

El método Vane no causa perturbaciones significativas a la muestra, lo cual es relevante en el caso de que la suspensión en estudio tenga un carácter tixotrópico o reopéticos, ya que son sensibles a la historia del cizallamiento.

1.2. Relativo al Centro de Investigación JRI [5]

En el año 2009 se crea el Centro de Investigación JRI S.A. (CI-JRI), filial de la empresa consultora interdisciplinaria para proyectos mineros e industriales JRI Ingeniería, orientada en crear un puente entre la tecnología de punta y sus distintos clientes de las áreas mineras, metalúrgicas y de la ingeniería en general. A pesar de su corta trayectoria, cuenta con personal altamente especializado como son los doctores Pamela Garrido, Ramón Fuentes y Enrique Román, e ingenieros químicos y metalúrgicos con gran trayectoria en el área de espesamiento, transporte y depósito de pulpas, los que apoyados por su reconocido Laboratorio de Caracterización de Pulpas mineras, les permite realizar el desarrollo de tecnología, investigación e innovación en el área.

Se ubica en Luis Uribe 2343 en la comuna de Ñuñoa, al alero de JRI Ingeniería. El Centro de Investigación fue creado por el ingeniero Juan Rayo, bajo la dirección de la ingeniera Nélida Heresi. Tiene como misión la búsqueda, creación, adaptación y desarrollo de innovaciones tecnológicas en el ámbito de la minería y la metalurgia que mejoren el negocio de sus clientes. El Centro busca ofrecer a sus clientes un servicio de innovación y desarrollo para resolver sus problemas específicos en forma rápida y eficaz. Con su laboratorio entrega servicios de caracterización de pulpas, pionero a nivel nacional.

Dentro de sus clientes más destacados se encuentran Codelco, Anglo American, BHP Billiton, Minera Esperanza, Minera Spence y Minera Los Pelambres. Además a través de JRI Ingeniería, se realizan proyectos internacionales en Perú, Argentina, entre otros países.

En julio de 2013, el CI-JRI se adjudica el proyecto “Generación de polímeros para la optimización de procesos de espesamiento y depósito de relaves de cobre” COD: 13IDL2-18716, cofinanciado por Innova Chile, correspondiendo a un proyecto I+D Aplicada, Línea 2 de Corfo. El presente trabajo de título se enmarca en dicho proyecto.

El objetivo general del proyecto corresponde a la formulación química de nuevos aditivos modificadores de las propiedades reológicas de los relaves de la Minería en general caracterizados por su alta eficiencia y menor costo respecto a los aditivos importados y actualmente empleados en

todas las compañías mineras. Principalmente, se busca disminuir el área de deposición de los relaves en los tranques.

A la fecha se han formulado seis aditivos (ver Tabla 3), confeccionados a partir de materias primas de descarte y comerciales. En la Tabla 1 se muestran los nombres adoptados por el centro para cada material, además de su procedencia.

Tabla 1. Materias primas utilizadas en la formulación de aditivos.

Materia Prima	Información	Costo [USD/Ton]
MC3	Material particulado de descarte industrial. Similar al talco.	10
MCL	Material particulado comercial. Semejante a la cal.	200
MEL	Material de descarte. Consistencia pastosa análoga a la greda.	10
MMC2	Material particulado comercial. Parecida al talco.	250
MH	Material cristalino comercial. Es soluble en agua.	600

1.3. Antecedentes para evaluación económica

En la Tabla 2 se muestra información asociada a los costos de operación de una minera. Esta información será útil a la hora de evaluar el proyecto abordado en la memoria, ya que es importante manejar los costos atribuidos al manejo de relaves.

Tabla 2. Costos operacionales para producir un concentrado de cobre al 30% a partir de mineral con una ley de 0,5%. El costo del mineral no está incluido. Adaptado de la bibliografía [18].

Actividad	Costo por tonelada de mineral [USD]
Chancado y transporte	0,5
Molienda y clasificación por tamaño	3,1
Flotación	0,6
Filtración, secado, y manejo del concentrado	0,2
Reflujo de agua, control de efluentes y disposición de relaves	0,3
Servicios ambientales, recursos humanos, seguridad y otros	0,1
TOTAL	4,8

1.3.1. Competencia

Actualmente, los modificadores reológicos para relaves de cobre no se han masificado en la industria chilena, por lo que existe poca competencia en el rubro. Si bien existen normativas medioambientales enfocadas en el manejo de los relaves que deben tener las mineras, la poca cultura de las empresas respecto a estos temas, dificulta el acceso inmediato de esta tecnología. Sin embargo, con la reciente Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras [19], en la que se establece que las mineras deben hacerse cargo del cierre responsable de las instalaciones estabilizándolas física y químicamente, se ha abierto un potencial nicho de mercado.

Por otro lado, a pesar de que existe una gran cantidad de faenas mineras en Chile, las empresas directoras de éstas son pocas, por lo que los clientes finales son reducidos. Por estos

motivos, los competidores que logran destacarse medianamente en la minería chilena son dos, los cuales se describen a continuación:

BASF Chile:

Es una empresa alemana considerada el principal fabricante de productos químicos a nivel mundial. Actualmente comercializa el compuesto Rheomax ETD, que tiene la función de rigidizar relaves mediante la eliminación de agua en el depósito. Esto permite maximizar la zona de depósito y aumentar la reutilización de agua [11].

SNF Chile:

Es el mayor fabricante de floculantes y coagulantes del mundo. Su producto Dryfloc T, logra obtener mayores ángulos en los depósitos de relaves y una mayor distribución de los mismos [21].

Aunque ambas empresas son grandes transnacionales, el Centro de Investigación JRI aspira a competir logrando una diferenciación en el precio de los aditivos. Los modificadores descritos previamente tienen un precio aproximado de 5.000 [USD/Ton] a 7.000 [USD/Ton] y son producidos en el extranjero. Por esta razón se quieren producir aditivos más económicos, con una eficiencia similar a la de los aditivos comerciales.

1.4. Objetivos

El proyecto a desarrollar se llevará a cabo en el marco de los objetivos señalados a continuación.

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un proceso de fabricación a nivel industrial de nuevos reactivos aplicados en la disposición de relaves de cobre, y realizar una evaluación técnica - económica de la planta diseñada.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar a escala de laboratorio y seleccionar las etapas de pretratamiento de las materias primas utilizadas para la generación de los aditivos.
- Estudiar posible envejecimiento y tiempo de vigencia de los aditivos una vez almacenados.
- Evaluar distintas configuraciones de producción industrial de los diferentes aditivos formulados.
- Dimensionar y seleccionar equipos del proceso de producción industrial.
- Generar flowsheet del proceso y el layout de la planta.
- Evaluar económicamente la implementación del proceso, con su respectivo análisis de sensibilidad.

Capítulo 2

2. Respecto a los aditivos

En el marco del proyecto “Generación de polímeros para la optimización de procesos de espesamiento y depósito de relaves de cobre” llevado a cabo por el Centro de Investigación JRI, se elaboraron distintas propuestas para el sistema de producción de los siguientes modificadores reológicos:

Tabla 3. Aditivos a procesar.

Aditivo	Materias Primas	Razones Másicas	Características
1	MC3:MCL	3:1	Polvo Sólido/Polvo Sólido
2	MC3:MEL:MCL	3:2:1	Polvo Sólido/Pasta/Polvo sólido
3	MC3:MMC2:MCL	3:2:1	Polvo Sólido/Polvo Sólido/ Polvo sólido
4	MEL:MH	1:1	Escamas/Pasta
5	MC3:MCL	1:1	Polvo Sólido/Polvo Sólido
6	MMC2:MCL	1:1	Polvo Sólido/Polvo Sólido

Cabe señalar que estos aditivos han sido evaluados en relaves cuyo proceso es con agua industrial (RAI) y cuyo proceso es con agua de mar (RAM), presentando resultados favorables en ambos casos.

2.1. Caracterización de materias primas

A continuación, se presenta una tabla resumen con las propiedades de las materias primas utilizadas. Los datos expuestos en la Tabla 4 serán útiles para realizar los balances de masa y para caracterizar cualitativamente las sustancias a tratar.

Tabla 4. Resumen de caracterización de materias primas.

Materia prima	Densidad de sólidos [g/ml]	Granulometría			Porcentaje másico de sólidos[%]
		D10 [μm]	D50 [μm]	D80 [μm]	
MC3	2,75	4,47	28,31	58,73	99,94
MCL	2,99	4,59	24,25	50,57	100
MEL	2,53	5,75	15,37	24,61	48,5
MMC2	2,56	2,44	12,00	29,97	99,8
MH	2,13	-	-	-	-

2.2. Metodología experimental

A continuación se presenta la metodología utilizada para generar los aditivos en el laboratorio. En ella se exhiben los pasos para obtener el modificador reológico a partir de las

materias primas expuestas en la Tabla 4. Los tiempos, volúmenes y otros detalles se omiten por temas de confidencialidad:

- A. Tamizar el MC3 y MMC2.
- B. Secar el MC3 y el MMC2 en estufa. hasta obtener peso constante (8 hrs aprox.).
- C. Pesar materias primas (considerando sólo sólidos) en la razón másica especificada.
- D. Agregar masa en vaso de precipitado.
- E. Agregar agua desionizada y mezclar manualmente cuidando de no perder masa del material.
- F. Agitar magnéticamente la solución.

Capítulo 3

3. Procedimiento experimental

En los siguientes puntos se expondrán los resultados y metodologías para las pruebas en el laboratorio. Básicamente, se realizaron dos estudios, uno para identificar si las operaciones unitarias del pretratamiento de MC3 y MMC2 eran necesarias, y otro con el objetivo de estudiar el comportamiento del aditivo manteniéndolo almacenado.

Las pruebas de reología se llevaron a cabo mediante el método Vane descrito en la sección 1.1.1. Los resultados se muestran como un promedio de la relación entre la tensión de fluencia del relave con aditivo y el relave sin aditivo. La relación es ejemplificada a continuación:

$$\frac{\tau_f^{rel+ad.}}{\tau_f^{rel}} = \frac{45 [Pa]}{36 [Pa]} = 1,25$$

3.1. Pruebas para MC3

3.1.1. Materiales utilizados

Se utilizaron los siguientes materiales en las pruebas realizadas:

- 300 [g] de MC3.
- 20 [g] de MCL.
- 120 [mL] de agua desmineralizada.
- 3 litros de relaves RAM (relave con agua de mar).
- Agitador magnético.
- Agitador mecánico IKA RW20. Ver Figura 11.
- Vaso de precipitado de 200 [ml]
- Micropipeta.
- Balanza.
- EPP
- Estufa Lab Tech LDO-060E. Ver Figura 11.
- Medidor de pH Hanna modelo HI 9126. Ver Figura 10.
- Reómetro VT550. Ver Figura 12.



Figura 10. Medidor de pH utilizado.



Figura 11. (Izquierda) Agitador mecánico. (Derecha) Estufa para muestras.



Figura 12. Reómetro utilizado en las pruebas de laboratorio.

3.1.2. Metodología

En la Figura 13 se observa un esquema resumen con las configuraciones ensayadas para el aditivo. Se buscó realizar todas las combinaciones posibles para el pretratamiento del MC3.

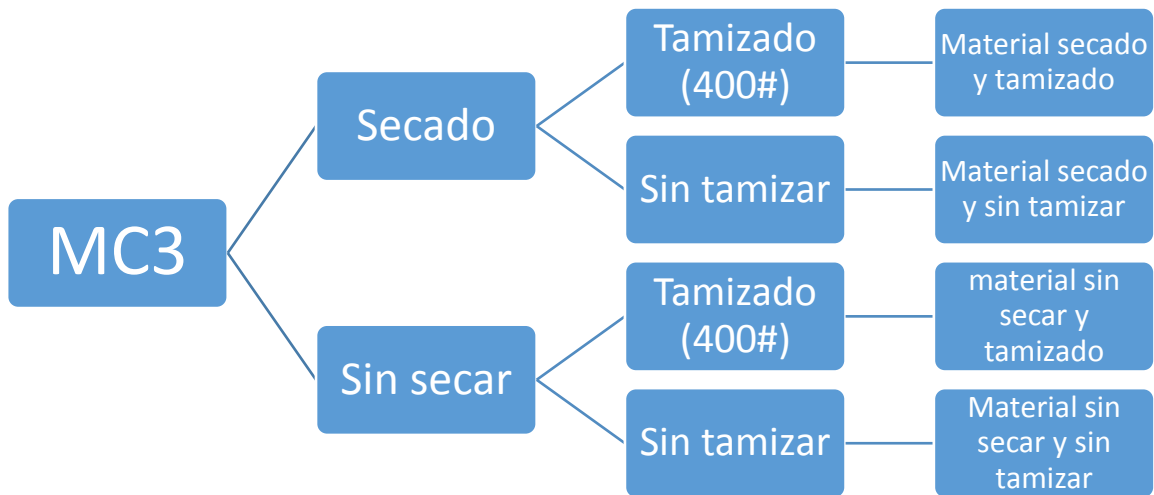


Figura 13. Secuencia de preparación de MC3.

La muestra de MC3 se dividió en dos partes iguales, una se secó en la estufa por un día a 90 [°C] y la otra se mantuvo con la humedad inicial. Posteriormente, cada una de estas dos partes fue subdividida en 2 porciones iguales. Luego, se tamizó en malla #400 (38 [µm]) una porción seca y otra sin secar. En las pruebas se ocuparon las partículas bajo la malla. De esta forma se obtuvieron las siguientes cuatro combinaciones de MC3:

- Secado y tamizado.
- Secado y sin tamizar.
- Sin secar y tamizado.
- Sin secar y sin tamizar.

En este caso sólo se estudió el comportamiento del MC3 como parte del aditivo 1. Una vez se obtuvieron estas cuatro muestras se procedió de la siguiente forma para hacer las pruebas de reología:

- I. Homogeneizar baldes de relaves.
- II. Tomar 8 muestras de aproximadamente 250 [ml] en vasos precipitados.
- III. Masar 16 vidrios de reloj.
- IV. Homogeneizar cada vaso y tomar 2 muestras de aproximadamente 20 [g] en vidrio de reloj.
- V. Masar los vidrios de reloj con la muestra húmeda.
- VI. Dejar secar muestras en vidrio de reloj, realizando mediciones de peso cada 2 horas aproximadamente.
- VII. Una vez que se logra un control de peso constante para cada muestra, calcular el porcentaje de sólidos de las muestras.
- VIII. Medir temperatura y pH del relave en cada vaso.
- IX. Medir tensión de fluencia en el reómetro VT550.
- X. Preparar las cuatro versiones del aditivo 1 según la metodología expuesta en la sección 2.

- XI. Mezclar aditivo con relaves en agitador mecánico durante 5 minutos.
- XII. Medir el pH de la mezcla aditivo+relaves en cada vaso y de los 4 aditivos.
- XIII. Medir la tensión de fluencia en el reómetro VT550.

Es importante mencionar que para cada uno de los 4 aditivos se realizaron pruebas de reología en original y duplicado. Por este motivo fue necesario tomar 8 muestras de relave. Asimismo, las pruebas de porcentaje de sólidos también se efectuaron en original y duplicado por lo que fue necesario tomar 16 muestras. Además, las pruebas fueron efectuadas considerando dosis de aditivo de 300 [g/Ton].

3.1.3. Resultados

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

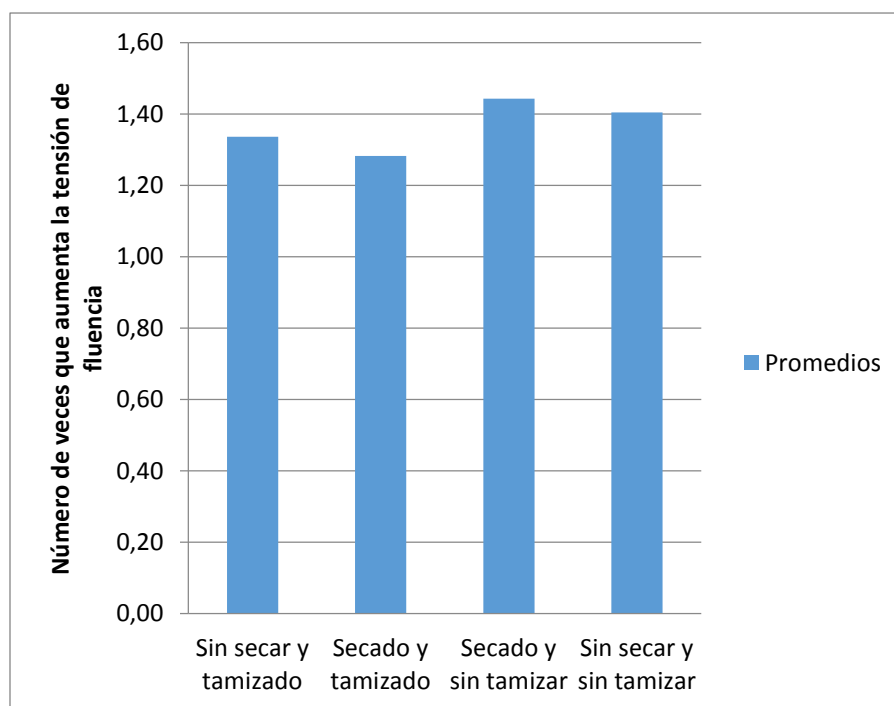


Figura 14. Resultados para prueba de MC3. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.

3.1.4. Discusión parcial

De la Figura 14 se observa que el aditivo menos eficaz es el que utilizaba MC3 seco y tamizado, mientras que el más eficaz fue cuando la materia prima se encontraba sin tamizar y seca. Sin embargo, al comparar este último con el caso en que el MC3 se encontraba sin secar y sin tamizar sólo existía una mejoría del 2,8%, lo que no representa una mejora sustancial, por lo tanto se decidió utilizar el MC3 sin secar y sin tamizar. Esta decisión fue tomada pensando en que es más costoso realizar una operación unitaria extra.

3.2. Pruebas para MMC2

3.2.1. Materiales utilizados

Se ocuparon los mismos materiales que en la prueba para MC3 (ver sección 3.1.1).

3.2.2. Metodología

La metodología para esta prueba fue similar a la exhibida en la sección 3.1.2, sin embargo presenta algunas diferencias producto de que en este caso no se pudo determinar si el secado afecta o no al desempeño del aditivo, puesto que el material fue secado previamente.

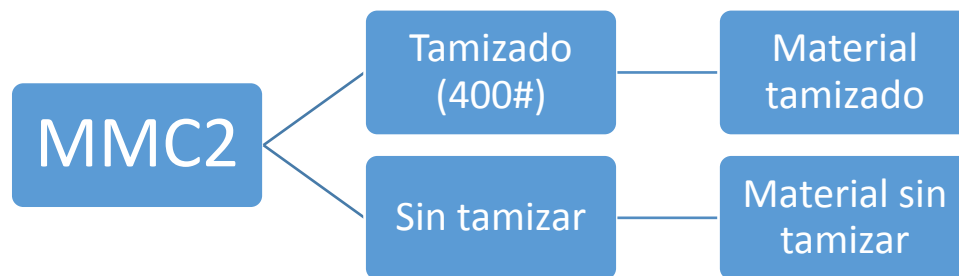


Figura 15. Secuencia de separación de MMC2.

De acuerdo a lo visualizado en la Figura 15, el MMC2 se separó en dos partes iguales. Una fue tamizada en malla 400# y se utilizó la porción que atravesó el tamiz, mientras que la otra se conservó sin tamizar. De esta forma se obtuvieron las siguientes combinaciones de MMC2:

- Tamizado.
- Sin tamizar.

En este caso se estudió el comportamiento del aditivo 3. Cabe señalar que se aplicó el MC3 sin secar y sin tamizar a la mezcla. Luego de obtener ambas formas del MMC2 se procedió de la siguiente forma:

- I. Homogeneizar baldes de relaves.
- II. Tomar 4 muestras de aproximadamente 250 [ml] en vasos precipitados.
- III. Masar 8 vidrios de reloj.
- IV. Homogeneizar cada vaso y tomar 2 muestras de aproximadamente 20 [g] en vidrio de reloj.
- V. Masar los vidrios reloj con la muestra húmeda.
- VI. Dejar secar muestras en vidrio reloj, realizando mediciones de peso cada 2 horas aproximadamente.
- VII. Una vez que se logra un control de peso constante para cada muestra, calcular el porcentaje de sólidos de las muestras.
- VIII. Medir temperatura y pH del relave en cada vaso.
- IX. Medir tensión de fluencia en el reómetro VT550.
- X. Preparar las dos versiones del aditivo 3 según la metodología expuesta en la sección 2.

- XI. Mezclar aditivo con relaves en agitador mecánico durante 5 minutos.
- XII. Medir temperatura y pH de la mezcla aditivo+relave en cada vaso y de los 2 aditivos.
- XIII. Medir la tensión de fluencia en el reómetro VT550.

En este caso también se realizaron las pruebas en original y duplicado, tanto para la reología como para la determinación del porcentaje de sólidos. Asimismo, se consideraron dosis de aditivos de 300 [g/Ton].

3.2.3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados para este experimento:

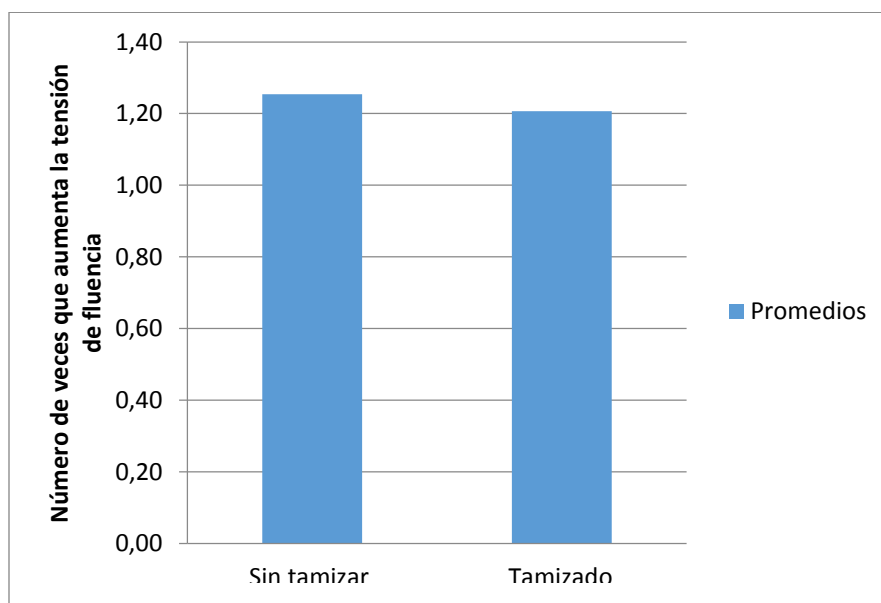


Figura 16. Resultados para prueba de MMC2. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.

3.2.4. Conclusiones

En la Figura 16 se puede observar que incorporando MMC2 seco y sin tamizar se obtiene una mejoría del 3,3% respecto a si se seca y se tamiza el material. A partir de estos datos se optó por eliminar la etapa de molienda y tamizaje en el pretratamiento del MMC2.

3.3. Pruebas de envejecimiento

3.3.1. Materiales utilizados

Se utilizaron los siguientes materiales en las pruebas realizadas:

- 128 [g] de MC3.
- 43 [g] de MCL.
- 32 [g] de MMC2.

- 83 [g] de MEL.
- 40 [g] MH.
- Agua desmineralizada.
- 11 litros de relaves de pulpa RAM.
- Agitador magnético.
- Agitador mecánico IKA RW20. Ver Figura 11.
- Vaso precipitado de 200 [ml]
- Micropipeta.
- Balanza.
- EPP.
- Estufa Lab Tech LDO-060E. Ver Figura 11.
- Medidor de pH Hanna modelo HI 9126. Ver Figura 10.
- Reómetro VT550. Ver Figura 12.

3.3.2. Metodología

En este caso se deseaba estudiar el comportamiento de los aditivos al mantenerlos almacenados. Los aditivos 1, 3 y 6 fueron mezclados en seco y almacenado en pomos de plástico, mientras que el aditivo 4 fue mezclado y almacenado en húmedo. No se pudieron realizar pruebas para los demás aditivos, ya que no se contaba con un volumen suficiente de relaves. Las pruebas duraron un mes, no obstante se realizaron pruebas los primeros cuatro días del mes, luego se realizó una prueba a la semana hasta completar el mes. Para los aditivos 1, 3 y 6 se hicieron las pruebas considerando dosis de 300 [g/Ton], mientras que para el aditivo 4 se consideró 600 [g/Ton].

La metodología seguida se detalla a continuación:

- I. Homogeneizar baldes de relaves.
- II. Tomar 2 muestras de aproximadamente 250 [ml] en vasos precipitados.
- III. Masar 4 vidrios de reloj.
- IV. Homogeneizar cada vaso y tomar 2 muestras de aproximadamente 20 [g] en vidrio de reloj.
- V. Masar los vidrios de reloj con la muestra húmeda.
- VI. Dejar secar muestras en vidrio de reloj, realizando mediciones de peso cada 2 horas aproximadamente.
- VII. Una vez que se logra un control de peso constante para cada muestra, calcular el porcentaje de sólidos de las muestras.
- VIII. Medir temperatura y pH del relave en cada vaso.
- IX. Medir tensión de fluencia en el reómetro VT550.
- X. Preparar el aditivo según corresponda siguiendo la metodología expuesta en la sección 2. En el caso del aditivo 4 sólo se debe agitar el contenido del pomo por al menos 20 minutos.
- XI. Mezclar aditivo con relaves en agitador mecánico durante 5 minutos.
- XII. Medir temperatura y pH de la mezcla aditivo+relave en cada vaso y del aditivo.
- XIII. Medir la tensión de fluencia en el reómetro VT550.

Nuevamente se realizó cada prueba en original y duplicado.

3.3.3. Resultados

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

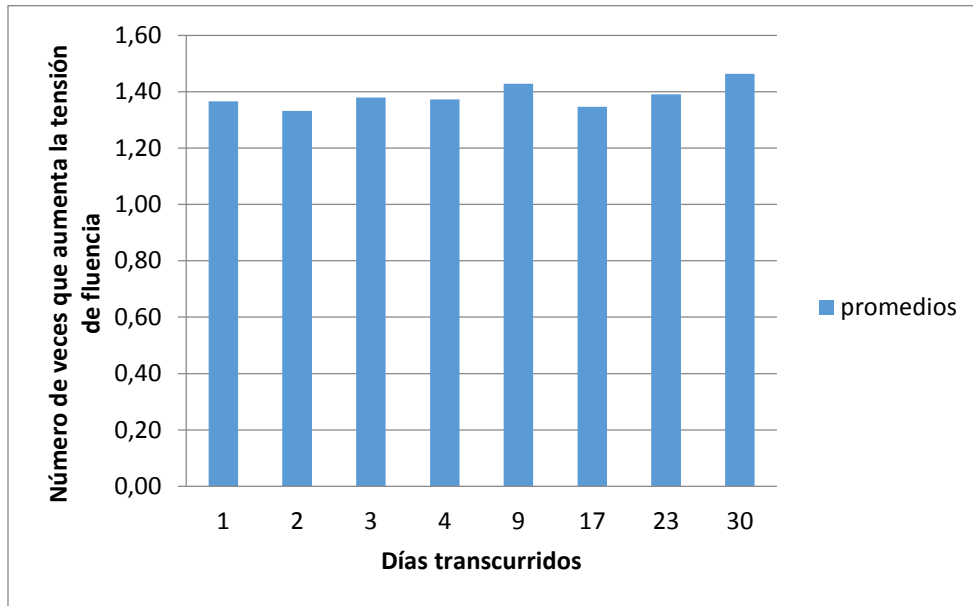


Figura 17. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 1. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.

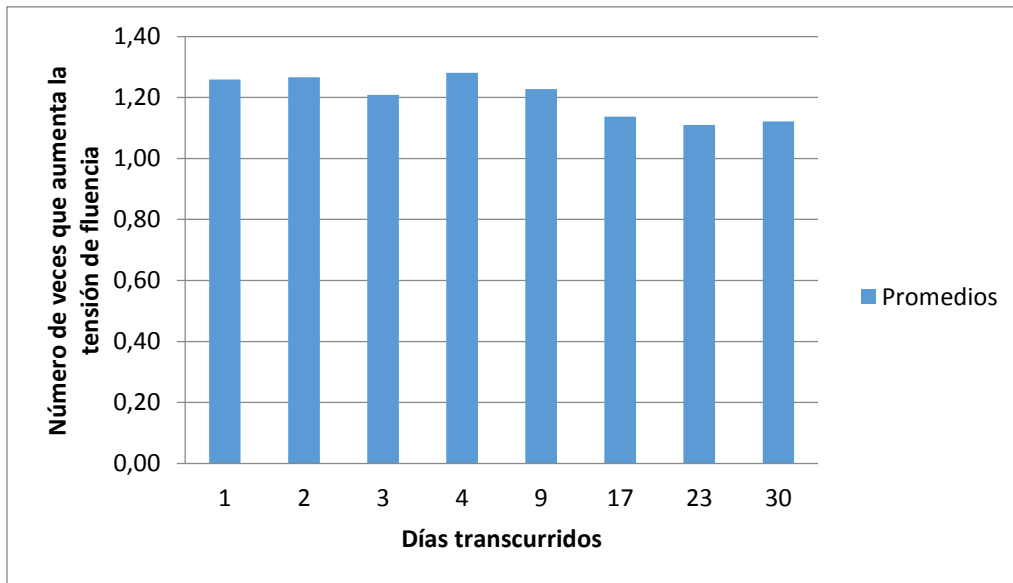


Figura 18. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 3. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.

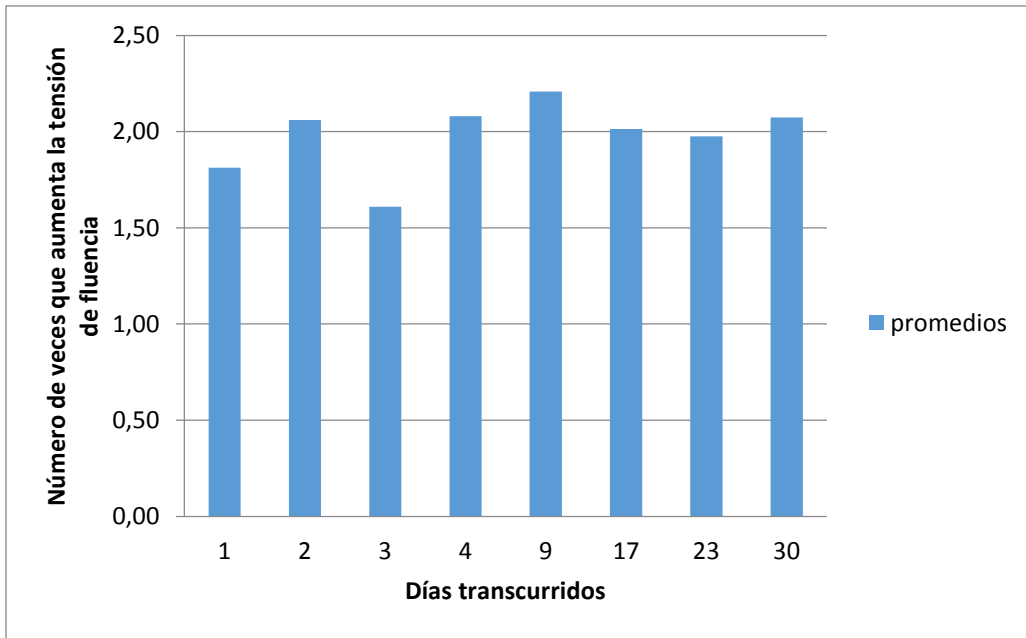


Figura 19. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 4. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.

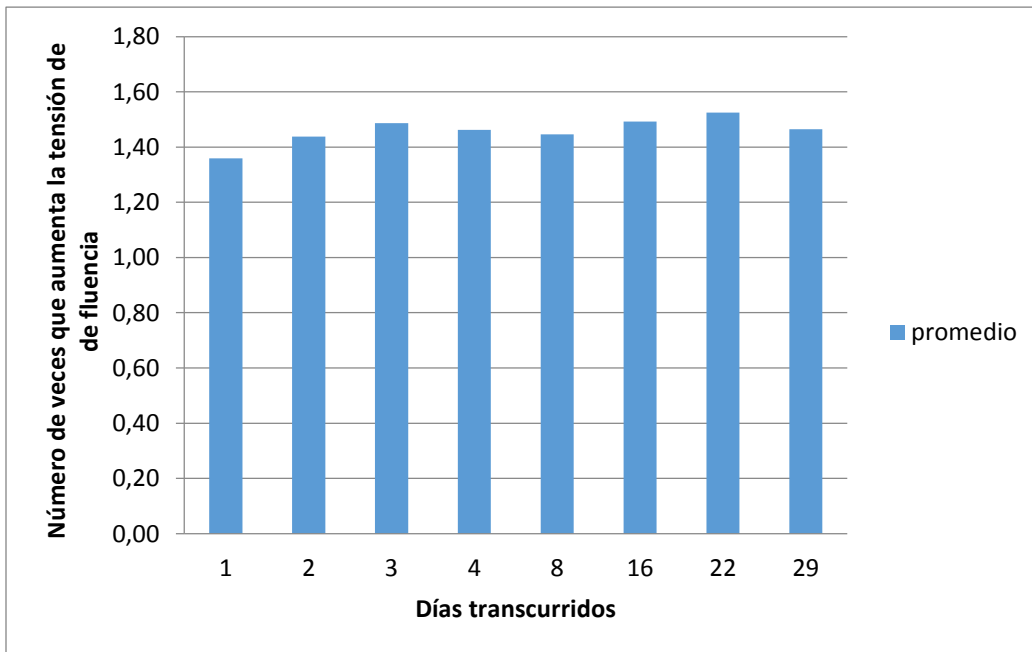


Figura 20. Resultados para prueba de envejecimiento de aditivo 6. Se muestran los promedios de aumento de la tensión de fluencia entre originales y duplicados.

3.3.4. Discusión y conclusiones parciales del análisis experimental

Los resultados expuestos en la Figura 17 muestran que no existe una pérdida del efecto del aditivo 1, ya que incluso en los últimos días se observan los valores más altos. Por otro lado, la Figura 18 muestra cierta tendencia del aditivo 3 a disminuir su efecto una vez transcurren más días.

El promedio de aumento de los 4 primeros días fue de 1,26, mientras que para las siguientes cuatro mediciones fue de 1,15, lo que representa una disminución del 9%.

Asimismo, la Figura 19 muestra que para el aditivo 4 existe una tendencia a mantener el efecto en la tensión de fluencia. Si bien para el tercer día se tiene una drástica disminución en el número de veces que aumenta la tensión de fluencia, la variación se atribuye a errores experimentales. La disposición del equipo podría ser una fuente de error, ya que es importante que el equipo se encuentre perfectamente vertical. Si en el momento de la medición el equipo se encontraba torcido o inclinado, se podrían obtener resultados erróneos. Por otro lado, la temperatura en la muestra también influye en la medición. Si las muestras hubiesen sido dejadas accidentalmente cerca de una fuente de calor, estas tenderían a mostrar tensiones de fluencia menores a las exhibidas en condiciones de temperatura ambiente.

Igualmente, los resultados presentados en la Figura 20 indican que el efecto sobre la tensión de fluencia no disminuye en el tiempo para el aditivo 6.

De esta forma se establece que para los aditivos 1, 4 y 6 no existirían inconvenientes para almacenarlos mezclados previamente, circunstancia que facilitaría su transporte y ayudaría a mantener la confidencialidad de la formulación de los aditivos. Por el contrario, el aditivo 3 podría presentar problemas, debido a la tendencia percibida. Además, para las dos últimas semanas, es decir para los días 23 y 30, se obtuvieron valores de 1,11 y 1,12 respectivamente. Esto dista de los resultados esperados para el aditivo, ya que la tensión de fluencia llegó a los 40 [Pa] y 41,2 [Pa], valor que representa el mínimo al que se requiere llegar para cumplir con el objetivo del proyecto. En contraparte, el resto de los aditivos mostraron valores por sobre los 50 [Pa].

Capítulo 4

4. Ingeniería conceptual

4.1. Esquema del proceso

En primera instancia, se escalaron a nivel industrial los pasos que se realizaron para producir los aditivos en el laboratorio. Sin embargo, posteriormente se llevaron a cabo pruebas en laboratorio para determinar si era posible prescindir de algunas de las etapas. Esto debido a que se deseaba disminuir los costos de elaboración de los aditivos. Presumiblemente, al reducir el número de operaciones unitarias también disminuye el costo de producción.

En la Figura 21 se exhibe el esquema propuesto para una planta capaz de producir los primeros cuatro aditivos descritos previamente.

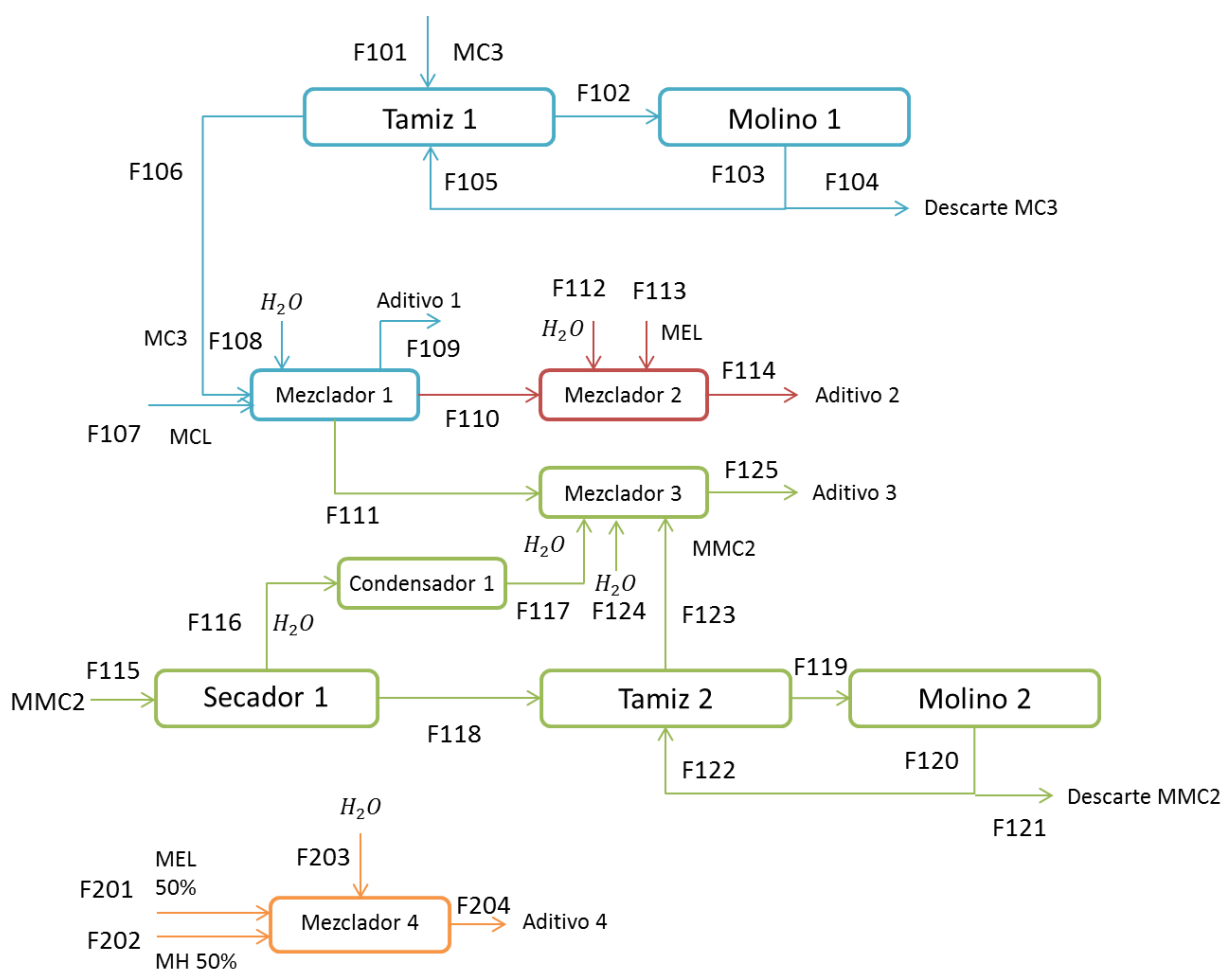


Figura 21. Esquema preliminar para planta multiproducto.

Es importante señalar que en este caso la totalidad de los aditivos se producen en húmedo. Los colores de bloques y flechas en la Figura 21 representan las líneas de producción de cada aditivo. De esta forma el azul es utilizado para ilustrar el pretratamiento del MC3 y la producción del aditivo 1, el color rojo muestra la producción del aditivo 2, la sección en verde representa el pretratamiento del MMC2 y la producción del aditivo 3, y finalmente el proceso productivo del aditivo 4 se encuentra en naranja.

4.2. Esquema propuesto después de las pruebas en laboratorio

Una vez realizadas las pruebas de laboratorio descritas en la sección 3, se optó por descartar las etapas de molienda, tamizaje y secado de las materias primas. Sin embargo, se añadió una etapa de ensacado o envasado según corresponda, de tal manera de dejar los aditivos preparados para su comercialización. Además, se incluyó la producción de los aditivos 5 y 6 de la Tabla 3.

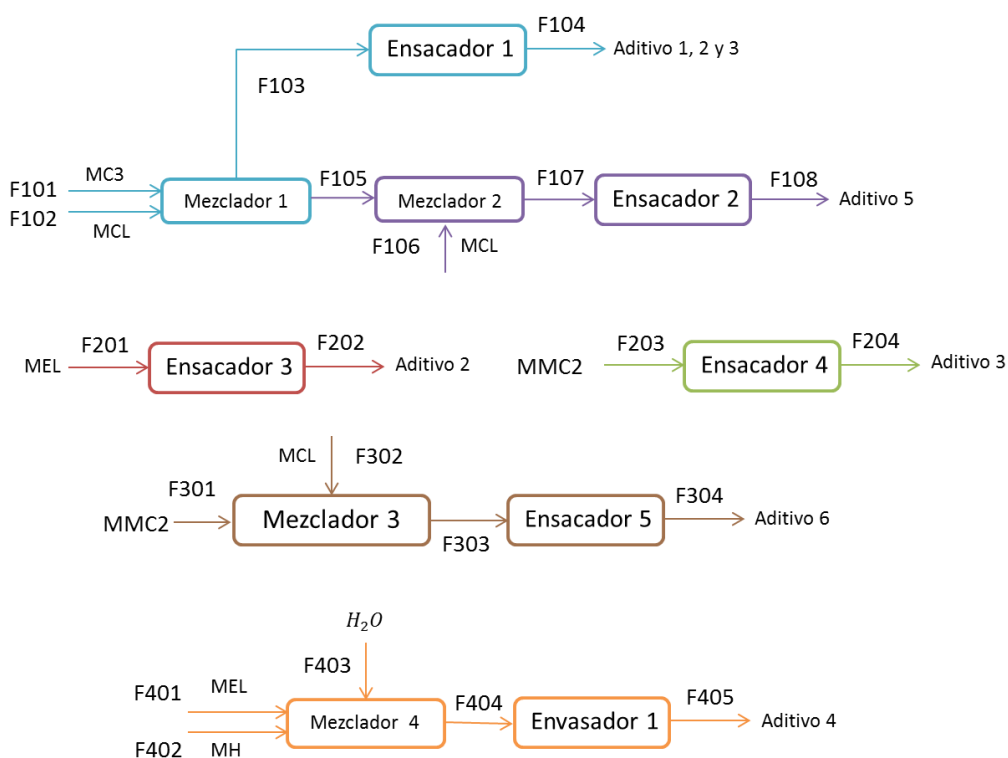


Figura 22. Esquema posterior a pruebas en laboratorio de planta multiproducto.

Se mantuvo la simbología de los colores en este caso, aunque se agregó el color morado para el aditivo 5 y el café para el aditivo 6. Además de los cambios mencionados previamente, se decidió que la producción de los aditivos, exceptuando el aditivo 4, fuese en seco. Esta decisión fue tomada con el fin de reducir los costos en transporte de los productos, ya que cerca del 60% del volumen de estos correspondía a agua. Para el aditivo 4 se mantuvo una producción en húmedo puesto que para realizar la homogeneización de las materias primas constitutivas es necesario disolver el MH en agua, además de incorporarlo en la pasta de MEL. Asimismo, a raíz de las pruebas de envejecimiento exhibidas en la sección 3.3 se optó por no comercializar el aditivo 3 mezclado, si no que se vendería un saco con MC3 y MCL en la razón especificada junto con un

saco de MMC2 en la proporción requerida. Lo mismo se realiza con el aditivo 2, puesto que el MEL presenta una humedad del 51,5%, por lo que podría reaccionar con el MCL, ya que este compuesto reacciona exotérmicamente con el agua.

4.3. Equipos escogidos

A continuación se presentarán los equipos seleccionados para el proceso. Primero se mostrarán los equipos de la planta multiproducto y posteriormente aquellos que se instalarían en la faena de la minera que adquiriera los aditivos.

4.3.1. Planta multiproducto

Es importante señalar que en este caso se decidió utilizar tanques discontinuos, ya que estos son más eficientes que los continuos, a la hora de mezclar sólidos [22]. De esta forma, se eligió el modelo de doble cono (ver Figura 23 B) debido a la capacidad volumétrica que son capaces de manejar (entre 50 [L] y 5000 [L] [23]) y porque es uno de los modelos recomendados según bibliografía [22].

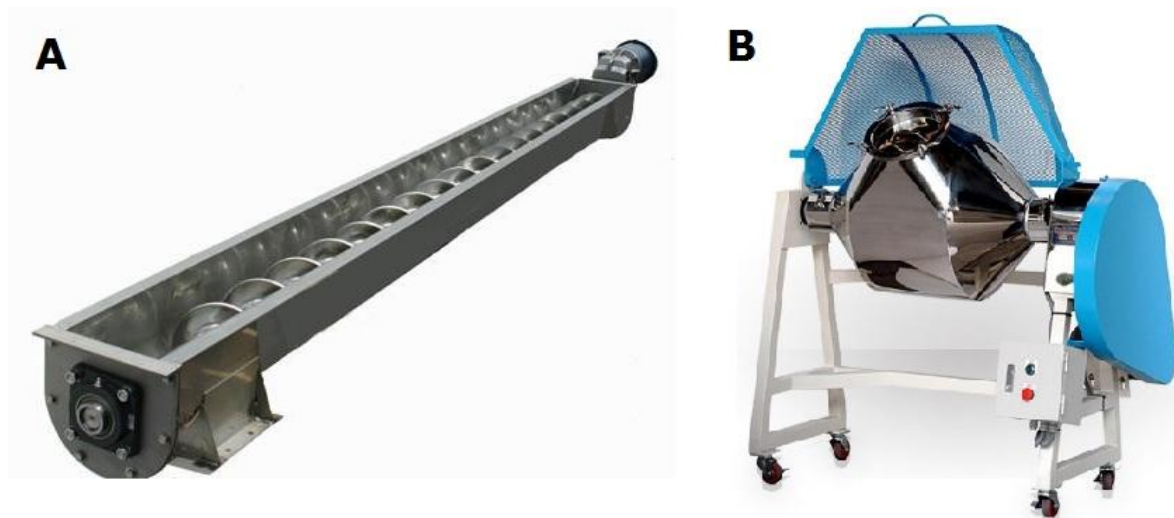


Figura 23. (A) Transportador de tornillo. (B) Mezclador de doble cono. [24][25].

Asimismo, el mezclador del aditivo 4 será un tanque agitado convencional, ya que el proceso es en presencia de agua.

No obstante, al tratarse de procesos discontinuos es necesario incorporar un tanque de almacenamiento después del mezclador 1.

Por otro lado, considerando que los flujos de la planta son de sólidos granulados o pastas, se propone que el desplazamiento de estos sea por medio de tornillos sin fin. En la Figura 23 se puede observar un ejemplo de este mecanismo y el de un agitador de sólidos.

Finalmente, para el ensacado y envasado de los aditivos se propone utilizar el mismo equipo (ver Figura 24). Este fue seleccionado a partir de la información provista por el centro de documentación de la empresa. Se determinó que los aditivos secos serían comercializados en maxisacos (ver Figura 24), puesto que pueden transportar entre 500 a 3.000 [kg] de producto, son

herméticos ante la humedad y pueden contener materiales básicos [26]. Igualmente, el aditivo húmedo sería comercializado en tanques IBC de 1 [m^3] (ver Figura 24).



Figura 24. (Izquierda) Ejemplo de ensacadora de maxisacos [26]. (Derecha) Ejemplo de contenedor IBC de 1.000 litros [27].

4.3.2. Instalaciones en faena

Debido a que los aditivos serán comercializados en seco y estos deben ser suministrados en húmedo a los relaves, es necesario contar con un tanque agitado, en el que se mezcle el aditivo con agua y se dosifiquen a los relaves. Además, se requiere de un contenedor o silo hermético para almacenar los aditivos por un tiempo prolongado, ya que la logística de despechar grandes volúmenes de productos a diario puede ser inviable. Tienen que ser herméticos, ya que el MCL reacciona con la humedad generando calor.

4.4. Diagrama de flujos

En esta sección se muestra el diagrama de flujo para el diseño propuesto en la Figura 22. El flowsheet ha sido separado en dos partes para una lectura más cómoda de este. En la primera parte (ver Figura 25) se muestra la línea de producción de los aditivos 1, 2 ,3 y 5, mientras que en la segunda (ver Figura 26) se exhibe la línea de producción del resto de los aditivos.

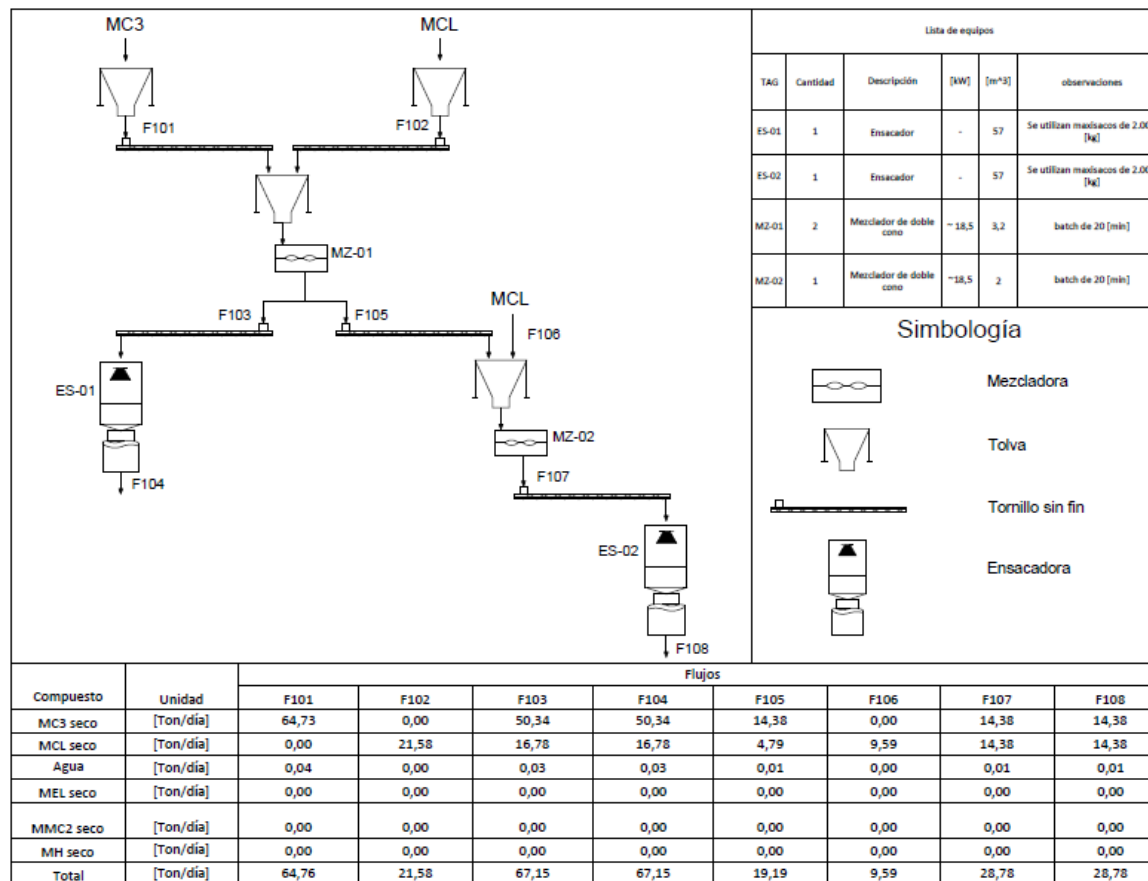


Figura 25. Diagrama del proceso, parte 1.

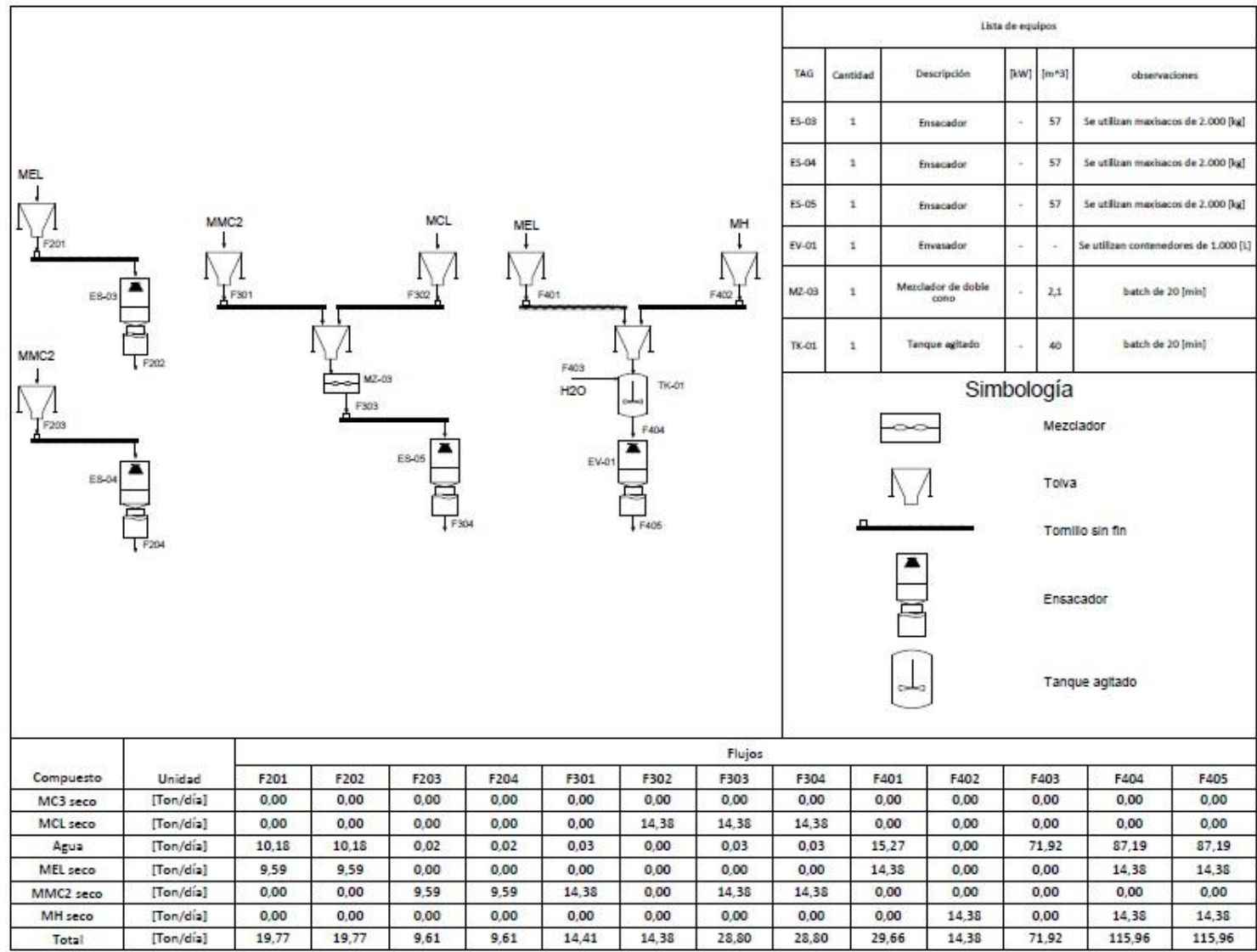
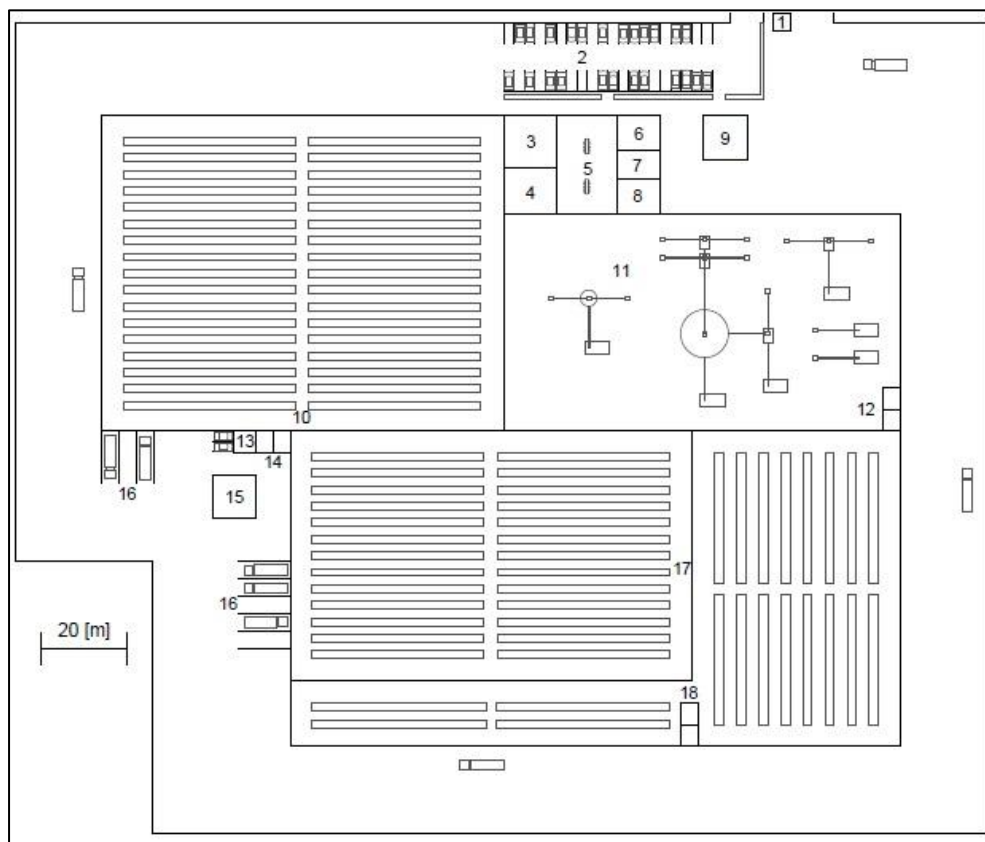


Figura 26. Diagrama del proceso, parte 2

4.5. Layout de la planta

A continuación se presenta el layout de la planta multiproducto. En ella se puede observar que cerca del 30% del área total de la planta es utilizado por las bodegas de materias primas y aditivos. Se decidió ubicar la zona de producción entre ambas bodegas para disminuir las distancias de traslado de materiales. Asimismo, las áreas destinadas al personal siguen las normas estipuladas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Para mayor detalle consultar la sección de Anexos D.b.1.



Número	Descripción	Área [m ²]
1	Portería	16
2	Estacionamiento de autos	792
3	Casino	144
4	Baños y camarines	128
5	Oficinas administrativas	317
6	Laboratorio	78
7	Enfermería	68
8	Sala de control	80
9	Zona de seguridad 1	100
10	Bodega de materias primas	6.723
11	Planta de aditivos	4.615
12	Baños	40
13	Oficinas	25
14	Baños	40
15	Zona de seguridad 2	100
16	Estacionamiento de camiones	384
17	Bodega de aditivos	10.194
18	Baños	40
	Total del terreno	39.831

Figura 27. Layout de planta multiproducto.

4.6. Límite de batería

En la Tabla 5 se muestra la generación aproximada de relaves en las diferentes mineras chilenas. Esta información fue suministrada por personal de la empresa (desde [28] hasta [47])

Tabla 5. Generación anual de Relaves de Cobre en las distintas faenas mineras entre el 2009 y 2013.

Mina	Generación de relaves [kTon]				
	2009	2010	2011	2012	2013
Chuquicamata	59.268	58.108	56.552	59.358	59.483
Ministro Hales	-	-	-	-	442
Salvador	10.525	10.773	10.445	10.242	8.886
Andina	22.442	23.091	29.710	30.543	30.729
El Teniente	47.129	45.515	45.443	47.375	47.946
Total Codelco	139.364	137.487	142.150	147.518	147.486
Escondida	75.331	71.253	63.083	68.276	76.569
Collahuasi	46.058	46.290	45.842	42.956	45.843
Los Pelambres	46.200	57.400	63.300	65.300	69.500
Anglo American Sur	24.936	25.254	27.018	27.639	28.260
El Abra	8.728	8.839	9.456	9.674	9.891
Candelaria	27.262	27.995	30.769	25.718	35.536
Anglo American Norte	3.576	3.576	294	1.326	2.358
Zaldívar	13.631	13.997	15.384	12.859	17.768
Cerro Colorado	3.750	3.625	3.750	3.000	3.000
Quebrada Blanca	7.500	7.250	7.500	6.000	6.000
Esperanza	-	-	20.000	29.000	32.000

En base a esta información se dividieron las faenas en tres grupos, dependiendo de los relaves que generan anualmente. En la Tabla 6 se puede observar el criterio de segmentación.

Tabla 6. Criterio de segmentación de mineras

Tipo	Generación de relaves [kton/año]
Pequeña	$X < 15.000$
Mediana	$15.000 < X < 40.000$
Grande	$40.000 < X$

Para el dimensionamiento de los equipos, se utilizaron 3 casos bases distintos, los que se diferencian en la producción anual de aditivos. Para esto se consideraron los distintos valores en la generación de relaves que presentan las mineras en Chile, según la clasificación mencionada anteriormente. La generación de relaves y la producción de aditivos asociados se presentan a continuación:

Tabla 7. Producción de relaves y aditivos.

Tamaño de Minera	Producción de relaves [kTon/año]	Producción de aditivo [Ton/año]
Pequeña	6.000	1.800
Mediana	35.000	10.500
Grande	76.000	22.800

El límite de batería para el diseño de la planta multiproducto se realizó considerando una dosis de 300 [g de aditivo/Ton de relave] para cada caso expuesto en la Tabla 7. Además se supuso una producción equivalente de los seis aditivos, es decir que si por ejemplo se tomaran las 1.800 [Ton/año] que se necesitan suministrar a una minera pequeña, se producen 1.800 [Ton/año] de cada uno de los seis aditivos. Esto debido principalmente, a que no se saben que aditivos se necesitarían ni su proporción, ya que dependería exclusivamente de las características particulares de cada relave.

4.7. Dimensionamiento de la planta multiproducto

4.7.1. Mezcladores y tanque pulmón

En este caso se dimensionaron los agitadores y mezcladores de la planta presentada en la Figura 22. Se consideró un margen de seguridad para cada mezclador, por lo que el volumen real es un 20% mayor al volumen teórico A continuación se muestran las tablas resumen para cada caso presentado en la Tabla 7.

Tabla 8. Dimensionamiento de mezcladores para fabricar 1.800 [Ton/año] de aditivos.

Mezclador	1	2	3	4
Flujo total de producción [m³/día]	5,3	1,73	1,8	18,1
Tiempo de operación por batch [h]	0,33	0,33	0,33	0,33
Uso diario (día de 8 horas) [%]	8,3	4,2	4,2	12,5
Tiempos muertos [h]	1	1	1	2
Batch diarios	2	1	1	3
Volumen teórico [L]	2.640	1.725	1.794	5.694
Volumen real [L]	3.200	2.100	2.200	6.900

Tabla 9. Dimensionamiento de mezcladores para fabricar 10.500 [Ton/año] de aditivos.

Mezclador	1	2	3	4
Flujo total de producción [m³/día]	30,8	10,1	10,5	99,7
Tiempo de operación [h]	0,33	0,33	0,33	0,33
Uso diario (día de 8 horas) [%]	25	25	25	12,5
Tiempos muertos [h]	1	1	1	2
Batch diarios	6	6	6	3
Volumen teórico [L]	5.132	1.675	1.743	33.210
Volumen real [L]	6.200	2.100	2.100	39.900

Tabla 10. Dimensionamiento de mezcladores para fabricar 22.800 [Ton/año] de aditivos.

Mezclador	1	2	3	4
Flujo total de producción [m³/día]	66,9	21,8	22,7	216,3
Tiempo de operación [h]	0,33	0,33	0,33	0,33
Uso diario (día de 8 horas) [%]	25	25	25	12,5
Tiempos muertos [h]	1	1	1	2
Batch diarios	6	6	6	3
Volumen teórico [L]	11.144	3.637	3.785	72.113
Volumen real [L]	13.400	4.400	4.600	86.500

Se estableció un tiempo de operación de 20 minutos en cada mezclador, en base al tiempo utilizado en el laboratorio y a la información brindada por bibliografía [22], en la que se asegura que un tiempo de 10 a 15 minutos es suficiente para homogeneizar sólidos granulados. Si bien se definió para todos los mezcladores el mismo tiempo de operación, algunos cuentan con menos batch diarios debido a que tratan flujos más bajos. Mientras menores sean los flujos, menores serán los volúmenes necesarios para los tanques. Por este motivo se decidió disminuir intencionalmente el número de batch diarios, con el fin de aumentar los volúmenes de los agitadores.

Asimismo, se determinó que el número de batch no podría ser mayor a 6, dado que el Centro de Investigación JRI desea operar con un turno al día. Es importante recordar que el mezclador 4 es un tanque agitado que opera en húmedo, por lo que presumiblemente se tendrían mayores tiempos de llenado y vaciado. Por este motivo se estableció un tiempo muerto de 2 horas para este equipo.

Debido a los volúmenes calculados y a las capacidades de los equipos consultados en línea [23], se decidió que en aquellos casos en que el volumen de un mezclador de doble cono fuese mayor a 6 [m³], se optará por trabajar con 2 equipos funcionando en paralelo. Por ejemplo, para el mezclador 1 de la Tabla 9 se tendrían 2 mezcladores de conos de 4 [m³] en lugar de uno de 6,2 [m³].

Una de las ventajas de tener 2 equipos funcionando en paralelo es que se pueden seguir produciendo aditivos incluso cuando uno de los equipos falla o se encuentra en mantención. Además, pueden suplir a otro equipo que esté fallando sin la necesidad de parar la producción.

Por otro lado, se incorporó un tanque de almacenamiento luego del mezclador 1, con el fin de abastecer al resto de los equipos que dependen de este mezclador de forma más regular. Este tanque tendría una capacidad de almacenamiento para 25 días de producción, lo que se traduce en un volumen aproximado de 900 [m³]. Sólo se llevó a cabo el cálculo para el caso mediano. En las secciones de Anexos C.a. y C.b. se encuentran los ejemplos de cálculos de los valores presentados en esta sección.

4.7.2. Tornillos sin fin

En la Tabla 11 se muestra un resumen con los transportadores de sólidos que se utilizarían en la planta, en el caso mediano.

Tabla 11. Resumen de las características de los tornillos sin fin utilizados en planta multiproducto para el caso mediano.

Cantidad	Material	Trayecto	Caudal [Ton/h]	Largo [m]	Diámetro [cm]	Potencia utilizada [kW]	Potencia total [kW]	RPM
2	MC3	De piso a mezclador	13	10	25	1,7	3,4	64
2	MCL	De piso a mezclador	8,7	10	25	1,2	2,4	40
1		De piso a mezclador	3,8	10	25	0,6	0,6	17
1		De piso a mezclador	5,8	10	25	0,8	0,8	26
1		De piso a mezclador	5,8	10	25	0,8	0,8	31
1	MMC2	De piso a ensacador	3,9	10,7	25	0,6	0,6	20
1		De piso a tanque agitado	2,9	9	25	0,4	0,4	18
1	MEL	De piso a mezclador	7,9	9	25	1	1	42
1		De piso a ensacador	6,6	10,7	25	1	1	28
1		De piso a tanque agitado	5,9	9	25	0,8	0,8	32
2	MC3:MCL (3:1)	De piso a silo	13	22,4	25	3,8	7,7	63
1		De piso a ensacador	10	10,7	25	1,4	1,4	37
1		De piso a mezclador	8	10	25	1,1	1,1	37
1	MC3:MCL (1:1)	De piso a ensacador	11,5	10,7	25	1,6	1,6	44
1	MMC2:MCL	De piso a ensacador	11,5	10,7	25	1,6	1,6	45

En el Anexo C.c. se exhibe un ejemplo de cálculo para el dimensionamiento de un tornillo sin fin. Es importante señalar que los valores de potencia y revoluciones por minutos son similares a otros encontrados en bibliografía [48].

4.8. Dimensionamiento de equipos en faena

4.8.1. Tanques suministradores y de almacenamiento

Debido a que el servicio suministrado a la minera contempla la incorporación del aditivo a los relaves, es necesario dimensionar tanques suministradores y de almacenamiento. En los primeros se preparan los aditivos mezclándolos con agua, en los segundos se guardan los aditivos provenientes de la planta. De la Tabla 12 a la Tabla 14 se muestran las dimensiones de estos tanques para los 3 límites de baterías planteados anteriormente. Adicionalmente, se presentan las

dimensiones de los tanques de almacenamiento para tres periodos de tiempo; 1, 3 y 6 meses. La idea es verificar la periodicidad de los despachos de productos hacia las faenas. En todos los casos se consideraron dosis nominales de 300 [g de aditivo/Ton de sólidos del relave], sin embargo para efectos de seguridad y diseño se sobreestimó esta cifra, utilizando una dosis de 450 [g de aditivo/Ton de relave]. El aumento del 50% en la dosis de diseño fue considerando el criterio provisto por la empresa, fundamentada en el diseño de una planta de floculantes. En Anexos C.d. se encuentra un ejemplo de cálculo.

Tabla 12. Dimensiones de tanques suministradores y de almacenamiento para utilizar 1.800 [Ton/año] de aditivo.

Aditivo	Volumen tanque suministrador [m ³]	Volúmenes tanques de almacenamiento [m ³]		
		1 mes	3 meses	6 meses
Aditivo 1	0,35	80	240	470
Aditivo 2, MC3:MCL	0,35	50	160	320
Aditivo 2, MEL		110	320	650
Aditivo 3, MC3:MCL	0,3	50	160	320
Aditivo 3, MMC2		30	90	170
Aditivo 4	0,36	210	640	1.280
Aditivo 5	0,3	80	230	470
Aditivo 6	0,3	80	240	480

Tabla 13. Dimensiones de tanques suministradores y de almacenamiento para utilizar 10.500 [Ton/año] de aditivo.

Aditivo	Volumen tanque suministrador [m ³]	Volúmenes tanques de almacenamiento [m ³]		
		1 mes	3 meses	6 meses
Aditivo 1	2	460	1.380	2.770
Aditivo 2, MC3:MCL	2	310	920	1.850
Aditivo 2, MEL		630	1.890	3.770
Aditivo 3, MC3:MCL	1,75	310	920	1.850
Aditivo 3, MMC2		170	510	1.010
Aditivo 4	2,1	1.250	3.740	7.480
Aditivo 5	1,75	450	1.360	2.710
Aditivo 6	1,75	470	1.410	2.820

Tabla 14. Dimensiones de tanques suministradores y de almacenamiento para utilizar 22.800 [Ton/año] de aditivo.

Aditivo	Volumen tanque suministrador [m ³]	Volúmenes tanques de almacenamiento [m ³]		
		1 mes	3 meses	6 meses
Aditivo 1	4,4	1.000	3.000	6.000
Aditivo 2, MC3:MCL	4,2	670	2.000	4.000
Aditivo 2, MEL		1.370	4.100	8.190
Aditivo 3, MC3:MCL	3,75	670	2.000	4.000
Aditivo 3, MMC2		370	1.100	2.200
Aditivo 4	4,55	2.710	8.120	16.250
Aditivo 5	3,75	980	2.940	3.060
Aditivo 6	3,75	1.020	3.060	6.110

4.8.2. Área de instalaciones en faena

Para el Centro de investigación era relevante saber el área que ocuparían las instalaciones de los equipos descritos en la sección 4.8.1 en una minera, por lo cual se elaboró el layout de estas. En base a los planos se pudo calcular las áreas de la Tabla 15.

Tabla 15. Área de las diferentes instalaciones en faena.

Minera	Áreas [m^2]			
	Aditivo 1, 5 y 6	Aditivo 2	Aditivo 3	Aditivo 4
Pequeña	140	250	390	180
Mediana	320	580	990	420
Grande	460	870	1.540	620

Se agruparon los aditivos 1, 5 y 6 ya que tenían volúmenes similares entre sí. En la sección de Anexos C.e. se encuentran los planos efectuados.

A modo de comparación se puede señalar que una planta de floculante en Minera Centinela ocupa 113 [m^2] aproximadamente (ver Figura 29).

4.9. Balance de energía

Es necesario señalar que se realizó el balance de energía para las instalaciones en una faena mediana, puesto que este era el caso de mayor interés para la empresa.

4.9.1. Mezclador de MEL:MH en planta multiproducto

Dado que el MH se disuelve en agua generando calor, fue necesario realizar el balance energético para determinar si era necesario incorporar una chaqueta refrigerante al proceso.

Se encontró que la temperatura final de la solución alcanzaría los 62,3 [$^{\circ}C$]. De esta forma no sería necesario incorporar una chaqueta de enfriamiento, ya que el compuesto no sufre degeneraciones o mermas en su rendimiento. En la sección de Anexos C.f.1. se presenta el cálculo efectuado.

Asimismo, para evitar accidentes asociados a quemaduras, se podría revestir el tanque con un aislante térmico.

4.9.2. Tanques agitados en faena

Al igual que en el caso anterior, se requiere conocer la temperatura en estado estacionario de las soluciones en los mezcladores en faena. En este caso se tiene que el calor proviene de la disolución exotérmica del MCL en agua.

A continuación se muestra una tabla resumen con las temperaturas encontradas. En la sección C.f.2. de Anexos se halla un ejemplo de cálculo.

Tabla 16. Resumen de las temperaturas en estado estacionario que alcanzarían los aditivos en los mezcladores en una faena mediana.

Aditivo	Temperatura en estado estacionario [°C]
1	52,4
2	43,9
3	46,6
5	89,3
6	88,9

No se incluyó el aditivo 4 en la Tabla 16, porque la reacción de disolución se genera en el mezclador batch de la planta multiproducto, por lo tanto no se espera que se produzca un aumento de temperatura en la instalación en faena.

En virtud de los resultados expuestos, se determinó que no es necesario incorporar chaquetas enfriadoras a los estanques. Esto debido a que las temperaturas alcanzadas no suponen un riesgo para la integridad de los aditivos. Cabe recordar que la estufa en que se realizaba el secado de las materias primas alcanzaba los 90 [°C]. Asimismo, no se consideraron pérdidas de calor al ambiente, lo que disminuiría la temperatura final del proceso.

Al igual que en el caso anterior, se podrían utilizar cubiertas aislantes con motivos de seguridad.

Capítulo 5

5. Evaluación económica

A continuación se expondrá la evaluación económica llevada a cabo para el proyecto. Si bien en un principio, se pensó en hacerla para todos los aditivos, posteriormente se incluyeron las evaluaciones individuales de cada aditivo, por lo que se presentarán los ingresos, el Capex, el Opex, el VAN y la TIR para el caso en que se produzcan todos los aditivos simultáneamente y para cuando se conciba la planta para producir un único aditivo. Asimismo, se evaluó en todos los casos asumiendo el límite de batería mediano, debido a orden expresa del Centro de Investigación puesto que ese era al caso que aspiraban.

5.1. Ingresos

Para calcular los ingresos se tomó en cuenta una proyección realizada por Sergio Carvajal, memorista del proyecto de generación de polímeros para la deposición de relves del Centro de Investigación. Esta fue realizada a partir de los datos expuestos en la Tabla 5. De esta forma se impuso un porcentaje de mercado a abarcar de tal forma que se obtuviera un crecimiento de tipo sigmoideo (ver Figura 28). Posteriormente, se calculó la producción anual de aditivo que satisface el mercado abarcado, considerando una dosis de 300 [g de aditivo/Ton relave]. Finalmente, se obtuvieron los ingresos anuales para cualquier aditivo, fijando el precio de venta inicial en 1.000 [USD/Ton de aditivo], ya que esa era la cifra deseada por el Centro de Investigación. En los periodos siguientes se incorporó un aumento de un 5,7% anual para simular el ajuste del IPC [49]. En la Tabla 17 se puede observar un resumen con las cifras obtenidas.

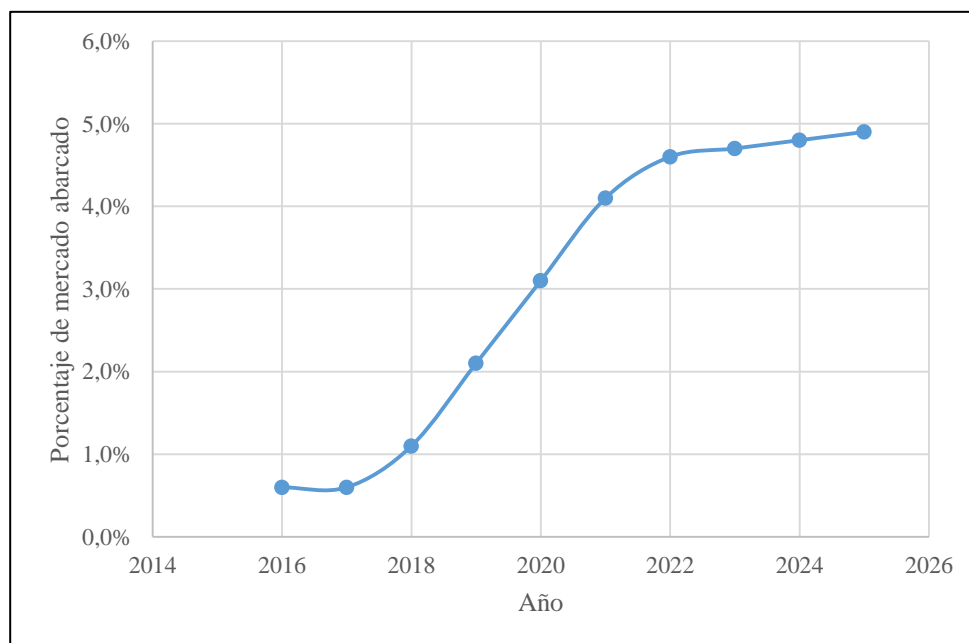


Figura 28. Progresión en el tiempo del porcentaje de mercado abarcado.

Tabla 17. Resumen de ingresos anuales por aditivo en base a la generación anual de relaves en la industria chilena.

Año	Total de relaves [MegaTon/año]	Mercado abarcado [%]	Producción de aditivo [Ton/año]	Precio de venta [USD/Ton]	Ingreso anual por aditivo [M USD/año]
1	475	0,6	855	1.000	855
2	484	0,6	872	1.057	922
3	507	1,1	1.674	1.117	1.870
4	574	2,1	3.614	1.181	4.268
5	624	3,1	5.806	1.248	7.247
6	670	4,1	8.241	1.319	10.873
7	671	4,6	9.259	1.395	12.912
8	689	4,7	9.708	1.474	14.311
9	723	4,8	10.411	1.558	16.222
10	733	4,9	10.769	1.647	17.735

En el caso en que se evaluó la planta multiproducto con la producción de los seis aditivos en simultáneo, se sumaron los ingresos de cada aditivo para obtener los ingresos totales de la planta.

Además, es interesante notar que para el primer año del proyecto se produce una cantidad de aditivo suficiente para abarcar la mitad del caso pequeño del límite de batería, mientras que para el último año se produce una cantidad similar a la totalidad del caso mediano. Esto es realista considerando que es más factible entrar al mercado a través de una minera pequeña y posteriormente abastecer a una minera mediana.

5.2. Costos de inversión (Capex)

Para estimar la inversión se consideraron tres tipos de costos:

- Costos directos: Son aquellos costos asociados al terreno, edificaciones, equipos y montaje de los mismos.
- Costos indirectos: Corresponden a servicios de ingeniería, repuestos y asistencia en terreno.
- Otros costos: Son los relacionados a contingencias o imprevistos que no hayan sido considerados.

En la Tabla 18 se muestra un desglose de las variables consideradas, así como la suma total del Capex por aditivo y para el caso en que se producen todos.

Se consideró que la planta se ubicaría en Calama debido a la cercanía con los potenciales clientes.

Tabla 18. Resumen del Capex para cada aditivo.

ítem	Aditivo 1 [M USD]	Aditivo 2 [M USD]	Aditivo 3 [M USD]	Aditivo 4 [M USD]	Aditivo 5 [M USD]	Aditivo 6 [M USD]	Todos [M USD]
Terreno	650	690	650	1.300	650	650	4.600
Equipos	2.350	3.700	3.590	18.260	2.350	2.350	31.730
Traslado de equipos	43	45	68	46	43	43	260
Edificaciones	210	220	210	375	210	210	1.100
Costos indirectos	990	1.340	1.290	5.260	990	990	10.460
Utilidad contratista	210	300	290	1.260	210	210	2.400
Contingencias	880	1.250	1.210	5.290	880	880	10.050
Total	5.330	7.550	7.300	31.900	5.330	5.330	60.630

Los valores obtenidos para el Capex cuando sólo se produce un aditivo, se corresponden con la de otras empresas, por ejemplo la inversión de Enaex para su Planta de Emulsión Encartuchada alcanza los 4,5 millones de dólares [50].

Para mayor detalle respecto a los costos de inversión, ver el Anexo D.a.

5.3. Costos de operación (Opex)

Nuevamente, los costos pueden ser divididos en tres categorías:

- Costos Fijos: Son los costos que no dependen del nivel de producción. En este caso se incluyeron los costos asociados a los sueldos de los trabajadores, servicios de casino, agua de uso doméstico y mantención de equipos.
- Costos variables: Son aquellos costos que sí dependen del nivel de producción de la planta. En este apartado se consideraron los costos relativos a las materias primas e insumos, además del transporte de los productos y electricidad consumida.
- Costos indirectos: Estos son los costos que no están asociados en forma directa a la producción, como el pago de patentes.

A continuación se presentan algunas de las consideraciones utilizadas para determinar los costos operacionales:

- 1- La empresa contará con 70 trabajadores en el caso en que se produzcan todos los aditivos y con 32 cuando sólo se produzca uno. Los sueldos fueron fijados en función de los sueldos de mercado.
- 2- Los costos de electricidad y agua se determinaron a partir de los precios de aquellos servicios en la región.
- 3- Se consideró que el despacho de los aditivos sería hacia la Minera Centinela, ya que este es uno de los clientes potenciales de la empresa.

En la Tabla 19 se puede apreciar un resumen con los costos operacionales para los distintos casos.

Tabla 19. Resumen del Opex para cada aditivo.

ítem	Aditivo 1 [M USD]	Aditivo 2 [M USD]	Aditivo 3 [M USD]	Aditivo 4 [M USD]	Aditivo 5 [M USD]	Aditivo 6 [M USD]	Todos [M USD]
Materias primas	700	600	1.380	4.760	1.200	2.460	11.080
Electricidad	0,6	2,6	0,6	0,2	0,6	0,6	5
Agua potable	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	4
Sueldos	560	560	560	560	560	560	1.220
Mantenición	2	8	3	2	2	2	18
Casino	85	85	85	85	85	85	180
Transporte	400	1.990	1.000	2.530	380	1.300	7.600
Patente	27	38	37	160	27	27	300
Total	1.770	3.280	3.060	8.100	2.250	4.430	20.130

El detalle de los cálculos se pueden observar en el Anexo D.b.

5.4. Valor Actual Neto (VAN)

Para calcular el Valor Actual Neto del proyecto se consideró un horizonte de evaluación de 10 años, y una tasa de descuento del 20%. Además, se supuso que el proyecto se financia con un 100% de deuda. El detalle de los flujos de caja se incluye en el Anexo D.c.

A continuación se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos:

Tabla 20. Valor Actual Neto del proyecto para los distintos casos de producción.

	VAN [M USD]	TIR [%]	Observaciones
Aditivo 2	9.840	72	El VAN se vuelve negativo cuando se comienza a vender a 500 [USD/Ton de aditivo].
Aditivo 4	-13.680	-	El VAN se vuelve positivo cuando se comienza a vender a 1.643 [USD/Ton de aditivo].
Aditivo 5	12.800	110	El VAN se vuelve negativo cuando se comienza a vender a 347 [USD/Ton de aditivo].
Aditivo 6	9.270	67	El VAN se vuelve negativo cuando se comienza a vender a 526 [USD/Ton de aditivo].
Todos	49.110	59	-

No se hicieron los flujos de caja de los aditivos 1 y 3 puesto que no fueron solicitados por la empresa, ya que el Capex y Opex de estos eran similares a los de los aditivos 5 y 2, respectivamente.

Si bien el caso para la planta multiproducto es favorable, este representa un escenario demasiado optimista, ya que se producirían y venderían todos los aditivos. Cada aditivo finaliza el periodo 10 abarcando un porcentaje de mercado del 4,9%, lo que se traduce en un mercado total del 29,4%. Por este motivo, se planteó un escenario en que la planta multiproducto fabrique únicamente los aditivos 2, 5 y 6, y que la producción combinada sea de 10.500 [Ton/año]. En la Tabla 21, se

muestra la producción individual de estos y los costos que conlleva la planta. Es importante señalar que por motivos de tiempo sólo se estimaron los costos como porcentajes de los casos mostrados previamente. Por ejemplo, si se considera que la producción del aditivo 2 representa el 40% de la capacidad productiva de la planta multiproducto, entonces el costo de inversión de este aditivo será el 40% del costo de inversión total para el aditivo 2, es decir 3.020 [M USD] (40% de 7.550 [M USD]).

Tabla 21. Resumen de producción y costos para una planta multiproducto que fábrica los aditivos 2, 5 y 6.

Aditivo	Porcentaje [%]	Producción [Ton/año]	Capex [M USD]	Opex [M USD/año]
MC3:MEL:MCL	40	4.200	3.020	1.310
MC3:MCL (1:1)	25	2.625	1.330	560
MMC2:MCL	35	3.675	1.870	1.550
		TOTAL	6.220	3.420

Entonces en base a los supuestos mostrados en la Tabla 21 se tiene un VAN de 15.430 [M USD] y una TIR del 103%.

5.5. Análisis de sensibilidad

De la Tabla 22 a la Tabla 26 se presentan los análisis de sensibilidad realizados para los aditivos 4 y 5. Para el análisis se seleccionaron las variables que tenían una mayor incidencia en el VAN, siendo el costo de traslados, materias primas y equipos los más relevantes para los aditivos. Respecto al parámetro del traslado, sólo se modificó la distancia a transportar los aditivos ya preparados, pasando de los 100 [km] que separan a Calama de Centinela, a los 1.680 [km] que se requirieren atravesar para enviar los aditivos a Teniente. Sin embargo, como se ve en la Tabla 20 el aditivo 4 presenta un VAN negativo cuando se comercializa a un precio de 1.000 [USD/Ton], por lo que se efectuó el análisis de sensibilidad considerando un precio inicial de venta de 2.300 [USD/Ton]. Igualmente, se verificó si para algún caso el VAN resultaba positivo vendiendo el aditivo 4 con el mismo precio que los otros aditivos (ver Tabla 24).

No se llevaron a cabo análisis de sensibilidad para los otros aditivos, ya que se consideró que los otros casos eran muy parecidos entre sí, a excepción del caso de la planta multiproducto, que fue descartado porque era un escenario demasiado optimista. En la sección 6.3 se comentará más respecto a este último punto.

Tabla 22. Análisis de sensibilidad para el aditivo 5.

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Disminución en 20% de mayor costo Opex: materias primas	13.170	119%
Disminución en 20% de mayor costo Capex: equipos	13.090	115%
Caso base	12.800	110%

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Aumento en 20% de mayor costo Capex: equipos	12.500	106%
Aumento en 20% de mayor costo Opex: materias primas	12.420	103%
Distancia máxima a transportar aditivos (Teniente): 1.680 [km]	9.920	72%

Tabla 23. Estudio de la variación de la razón de Deuda/Inversión particular (D/P) para el aditivo 5.

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Caso base	12.800	110%
Cambio razón D/P: 75/25	12.470	70%
Cambio razón D/P: 50/50	12.150	57%
Cambio razón D/P: 25/75	11.820	50%
Cambio razón D/P: 0/100	11.490	45%

Tabla 24. Análisis de sensibilidad para el aditivo 4, comercializándolo a 1.000 [USD/Ton].

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Disminución en 20% de mayor costo Capex: equipos	-11.070	-
Disminución en 20% de mayor costo Opex: materias primas	-11.870	-
Caso base	-13.680	-

Tabla 25. Análisis de sensibilidad para el aditivo 4, comercializándolo a 2.300 [USD/Ton].

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Disminución en 20% de mayor costo Capex: equipos	15.500	49%

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Disminución en 20% de mayor costo Opex: Materias primas	14.650	47%
Caso base	13.120	44%
Aumento en 20% de mayor costo Opex: materias primas	11.600	40%
Aumento en 20% de mayor costo Capex: equipos	10.740	38%
Distancia máxima a transportar aditivos (Teniente): 1.680 [km]	1.220	22%

Tabla 26. Estudio de la variación de la razón de Deuda/Inversión particular (D/P) para el aditivo 4, comercializándolo a 2.300 [USD/Ton].

Escenario posible	VAN [M USD]	TIR
Caso base	13.120	44%
Cambio razón D/P: 75/25	11.320	32%
Cambio razón D/P: 50/50	9.510	28%
Cambio razón D/P: 25/75	7.670	25%
Cambio razón D/P: 0/100	5.790	23%

Capítulo 6

6. Discusión

En primer lugar, se debe considerar que el estudio del proyecto se encuentra en una etapa de prefactibilidad, por lo que aún se cuenta con varios factores de incertidumbre los que repercuten en los supuestos, estimaciones y propuestas planteadas.

Por otro lado, para garantizar la ejecución de un proyecto responsable y consciente con todos los agentes involucrados, hace falta efectuar un estudio que contemple los impactos ambientales y sociales de la planta.

6.1. Pruebas en laboratorio

Con respecto a las pruebas efectuadas en el laboratorio, si bien se pudieron realizar sin mayores inconvenientes, es necesario mencionar que estas no estuvieron exentas de errores experimentales. Como ya se comentó en su sección, existieron algunas variables difíciles de manejar que podrían incorporar un cierto grado de variación en las pruebas, como por ejemplo el no poder fijar la temperatura de las muestras. Además, por cuestiones de tiempo y disponibilidad de materiales, los experimentos sólo pudieron ser realizados en original y duplicado. Para obtener resultados más confiables probablemente se debieron realizar una mayor cantidad de repeticiones por pruebas.

Otra fuente de error es que, a pesar de que se trataba de homogeneizar lo más posible los baldes y vasos con muestras de relaves, estas no estuvieran perfectamente homogéneas al momento de llevar a cabo el experimento. Dado que el equipo registra el torque necesario que se debe ejercer al fluido para que este comience a fluir, una zona con mayor o menor concentración de sólidos podría afectar el registro realizado por el equipo, y en consecuencia entregar resultados alterados.

A pesar de estas posibles fuentes de error, se cree que es correcto y necesario tomar en cuenta los resultados en el diseño del diagrama del proceso. Por ejemplo, en la prueba de envejecimiento de los aditivos se pueden observar claras tendencias y en virtud de ellas se modificó el sistema de producción del aditivo 3, pasando de comercializarlo ya preparado, a vender uno de sus componentes en un empaque separado.

Por otro lado, se constató empíricamente que los aditivos logran modificar la reología de las muestras de relave. Sin embargo, algunos presentaron mejores resultados que otros. En particular el aditivo 3 nunca pudo aumentar más de un 28% la tensión de fluencia inicial. Si se compara con el aditivo 1 o 6, ambos mostraron en promedio aumentos de un 38,7% y 46%, respectivamente. Igualmente, el aditivo 4 mostró los mejores resultados promediando un 97,9% de aumento, sin embargo esta cifra no es directamente comparable con la de los otros aditivos, puesto que en este caso las pruebas fueron realizadas empleando dosis de 600 [g de aditivo/Ton de relave], mientras que en todas las otras pruebas se ocuparon dosis de 300 [g de aditivo/Ton de relave].

6.2. Dimensionamiento

Respecto al dimensionamiento de los equipos, en todos los casos se obtuvieron valores coherentes con la bibliografía o con catálogos en línea. Si bien se comentó en su apartado los motivos para operar con dos equipos en paralelo, cabe mencionar que esto puede estar sujeto a cambios en el desarrollo posterior del proyecto. Por ejemplo, uno de los motivos fue que no se encontró en catálogos nacionales mezcladores de doble cono de una capacidad mayor a 5 [m^3], sin embargo en catálogos internacionales se encontraron equipos similares con capacidades superiores a los 9 [m^3]. Asimismo, se podría utilizar un mezclador de tipo cónico el cual tiene, por lo general, una mayor capacidad volumétrica. Incluso en el mercado chileno se encontró un modelo de 18 [m^3] de capacidad [51].

Debido a que la MEL es un compuesto viscoso similar a una pasta, es necesario contar con equipos acondicionados para trabajar con este tipo de materiales. En particular, se cree que es necesario añadir tolvas con disgregadores incorporados, para facilitar el transporte de este material mediante el tornillo sin fin e impedir la aglomeración y taponamiento a la entrada de los equipos. Asimismo, se cree que se deben acondicionar tolvas selladas y sistemas herméticos en los ensacadores para evitar que los sólidos granulados se disipen en el aire al ser manipulados.

Un cambio que podría ser relevante en el diseño de la planta es incorporar silos de almacenamiento de materias primas con el fin de reducir el área utilizada en el layout. Observando la tabla de la Figura 27, se puede apreciar que el área estimada de la planta multiproducto es de 40.000 [m^2]. Una evaluación que se podría realizar en el futuro es la de cotizar los silos y verificar cuál alternativa es más económica.

Un aspecto que se debe considerar en la elección del aditivo a comercializar, es el área que este ocuparía en la mina. Al observar la Tabla 15 se observan que para algunos casos las instalaciones pudiesen llegar a ser muy invasivas, debido al tamaño de estas. Por ejemplo para el caso del aditivo 3 se tiene un área de 1.540 [m^2], la que es 13 veces superior al de una planta de floculantes utilizada por Centinela. Tal vez sería necesario desarrollar un sistema de despachos frecuentes de aditivos de manera que se deban diseñar los tanques de almacenamiento por un periodo inferior a los tres meses, reduciendo el volumen de estos y a su vez disminuyendo el área de las instalaciones.

Si bien se determinó que no era necesario incorporar sistemas de refrigeración para ninguno de los tanques agitados, estos cálculos necesitan ser corroborados una vez que se tengan los calores específicos reales de las materias primas. Para llegar a los valores expuestos en la sección 4.9 se utilizó información provista por la empresa, sin embargo esta información se basaba en compuestos similares a los estudiados, por lo que presumiblemente se podrían obtener temperaturas diferentes en la práctica.

6.3. Evaluación económica y análisis de sensibilidad

En cuanto a la evaluación económica, para cuatro de los cinco casos estudiados se obtuvieron cifras positivas. El único caso en que se tuvo un proyecto inviable fue cuando se comercializaba sólo el aditivo 4. Esto se debe a los altos costos de inversión y operación que se tienen para este aditivo. No obstante, se logran obtener resultados positivos si se comienza a comercializar el aditivo a 1.643 dólares la tonelada de aditivo. Sin embargo, esto significaría

aumentar en más del doble el costo de desechar relaves por parte de la minera, ya que como se evidencia en la Tabla 2, esta operación conlleva un gasto aproximado de 0,3 dólares por tonelada de mineral [18]. Si se considera un precio de venta de 1.000 dólares la tonelada de aditivo, entonces se le añadiría un costo de 0,3 dólares por tonelada de relave tratado, cifra que podría ser muy elevada considerando que es una inversión realizada sobre un material de desecho.

Un elemento que no se consideró en la evaluación del proyecto es la cuantificación en dinero de la disminución del área de las piscinas de descarte de relaves. Si se toma en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, este punto alcanza una importancia superlativa en la capitalización del proyecto. Esto debido a que se piensa que esa es la forma más efectiva de vender y publicitar el producto desarrollado por la empresa. Igualmente, se debe cuantificar el ahorro de agua que supondría obtener una mayor recuperación de agua a partir de las piscinas de relaves. Ambas cuantificaciones no han podido ser realizadas, debido a que aún no se han llevado a cabo pruebas a una escala mayor que la de laboratorio sobre los relaves, por lo tanto no se tiene una noción real del ahorro que supone la utilización del aditivo en la superficie de disposición del relave, ni la del porcentaje de agua recuperada. A pesar de que ambos efectos son importantes, es necesario recordar que el aditivo está diseñado para disminuir el área de deposición, haciendo que este sea el parámetro de enfoque en las pruebas a escala piloto.

Se decidió excluir el caso en que se producen todos los aditivos en forma simultánea del análisis de sensibilidad, pese a que este presentó el mayor VAN entre todos los casos expuestos, ya que se supuso que cada aditivo se producía en la misma razón y se vendía la totalidad de estos. De esta forma se estaba sobredimensionando el porcentaje de mercado abarcado, iniciando en un 3,6% y finalizando en un 29,4%. Evidentemente, este era un escenario demasiado optimista. Cuando se asumió una producción porcentual de los aditivos 2, 5 y 6 se obtuvieron resultados similares al de la producción de aditivos por separado.

De la Tabla 25 se puede inferir que el aditivo 4 es más sensible a las variaciones en el precio de los equipos, debido al alto costo que estos representan en la inversión inicial (cerca del 57%) que a las variaciones en el costo de las materias primas. Por el contrario, en el caso del aditivo 5, expuesto en la Tabla 22, se tiene una mayor sensibilidad al precio de las materias primas que al costo de los equipos.

Si bien para ambos aditivos el mayor costo del Opex era el de adquirir las materias primas, el traslado de los productos desde la planta hacia la minera también es un costo que se debe considerar para futuras evaluaciones. Tanto en el caso base, como para aquellos en que se variaron los costos de materias primas y equipos, se consideró que los productos terminados se trasladaban hacia la Minera Centinela, lo que implicaba una distancia recorrida de 100 [km] aproximadamente. Eventualmente este podría ser el mejor escenario posible, debido a que es una de las faenas más cercanas a Calama. No obstante, al ocuparse el peor escenario posible, es decir trasladar los productos 1.680 [km] hacia Teniente, ambos aditivos presentaron un VAN positivo. Igualmente, es importante señalar que fue en este caso que se obtuvieron los peores resultados para el proyecto. En particular, para el aditivo 4 se tuvo una disminución de 10,8 veces el VAN del caso base, lo que se debe a que se incurre en un gran gasto por movilizar el producto, ya que la mayoría del volumen transportado correspondería sólo al agua utilizada en la mezcla. De esta forma, es posible que para ambos aditivos el parámetro más sensible sea el costo de transportar los productos.

Tal como se aprecia en la Tabla 23 y Tabla 26, es mejor financiar el proyecto con el mayor porcentaje de deuda bancaria posible. Esto era esperable debido a que si se tiene un préstamo

bancario, se pagan las cuotas de la deuda antes de impuestos, lo que reduciría la cantidad de dinero entregada al fisco.

Capítulo 7

7. Conclusiones y recomendaciones

Conforme a lo expuesto en los capítulos anteriores, se presentan las conclusiones relativas a las pruebas de laboratorio y al diseño de la planta del proyecto de modificadores reológicos propuesto por el Centro de Investigación JRI:

Se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio, empleando muestras de relave extraídas directamente de las faenas mineras, con el fin de determinar si era necesario escalar todos los pasos utilizados para generar los aditivos. Los resultados arrojaron que se podía prescindir de las etapas de molienda, tamizaje y secado, tanto para el MC3 como para el MMC2. De esta forma se logró diseñar un proceso simple, en el que se cuenta con pocas operaciones unitarias, lo que presumiblemente signifique un ahorro económico para la empresa.

Asimismo, a partir de las pruebas de envejecimiento, se infiere que los aditivos 1, 4 y 6 pueden ser almacenados por un mes sin sufrir una disminución en el efecto de estos sobre los relaves. Por el contrario, el aditivo 3 fue el único que mostró cierta caducidad durante el periodo de experimentación, por lo que se decidió comercializar el componente MMC2 por separado.

Si bien en todas las pruebas realizadas se pudo aumentar la tensión de fluencia de los relaves, no todos los aditivos tuvieron el mismo efecto. El aditivo 3 fue el que presentó el peor aumento relativo en la tensión de fluencia, promediando un 28%. Mientras que el resto de los aditivos tuvieron promedios por encima del 38%.

La ingeniería conceptual de la planta fue desarrollada considerando 3 casos base, correspondientes al flujo de aditivos demandados por una minera pequeña, mediana y grande. De esta forma se procesarían 1.800, 10.500 y 22.800 toneladas al año de aditivos, respectivamente. Para dimensionar los equipos y superficie de la planta se supuso que la planta opera 9 horas diarias, durante 7 días a la semana, por lo que se podría triplicar las producciones sin aumentar la capacidad de la planta.

No fue necesario incorporar sistemas de refrigeración en ninguno de los tanques agitados, puesto que en ningún caso se superan los 90 [°C] en estado estacionario. No obstante, los cálculos se llevaron a cabo con parámetros de compuestos similares a los estudiados, por lo que no representan cabalmente el balance energético para los aditivos analizados. Igualmente, se podrían instalar aislantes en los tanques por motivos de seguridad.

Si se desea implementar el proyecto concibiéndolo como una planta multiproducto, se necesitaría una inversión inicial de 60.630 [M USD] y su costo operacional ascendería a los 20.130 [M USD]. Por el contrario si sólo se comercializa el aditivo 1, 5 o 6 se requiere una inversión inicial de 5.330 [M USD] y un costo operacional de 1.770 [M USD], 2.250 [M USD] y 4.430 [M USD], respectivamente. Para los aditivos 2 y 3 se deben invertir 7.550 [M USD] y 7.300 [M USD], respectivamente. Mientras que el costo operacional alcanzaría los 3.280 [M USD] para el primero y 3.060 [M USD] para el segundo. Finalmente, para producir el aditivo 4 se precisa una inversión de 31.900 [M USD] y un gasto operacional de 8.100 [M USD].

La evaluación económica arrojó resultados favorables cuando se comercializaba sólo los aditivos 2, 5 y 6 entregando un VAN de 9.840 [M USD], 12.800 [M USD] y 9.270 [M USD], respectivamente. Cuando se producían todos los aditivos en paralelo se obtuvo un VAN de 49.110 [M USD], sin embargo este caso mostraba un escenario demasiado optimista, puesto que se abarcaba un porcentaje de mercado demasiado grande en un lapso de apenas 10 años. Cuando se producían porcentualmente los aditivos 2, 5 y 6 en paralelo, se obtuvo un VAN de 15.430 [M USD]. Por último, el único caso estudiado en que se tuvo un VAN negativo fue para el aditivo 4, registrando pérdidas de -13.680 [M USD]. No obstante, se comienza a obtener ganancias si se vende el aditivo a 1.643 [USD/Ton].

A partir del análisis de sensibilidad realizado para el aditivo 4, se encontró que este presentaba una mayor resistencia al cambio frente a variaciones en el costo de las materias primas que a las fluctuaciones en el costo de los equipos. Por el contrario, para el aditivo 5 la situación era a la inversa, es decir que mostró una mayor sensibilidad a las variaciones en el costo de las materias primas que al de los equipos. Sin embargo, en ambos casos se pudo constatar una disminución significativa del VAN cuando se modificó el costo de transportar el producto terminado. Para el aditivo 5 se tuvo una disminución del 22,5%, mientras que la del aditivo 4 fue de un 90,7%.

Para los dos casos se encontró que es mejor obtener un préstamo bancario, aunque el proyecto seguía siendo viable incluso para el caso en que se tenía un 100 % de inversión particular.

Finalmente, para realizar una evaluación a futuro más completa del proyecto se propone:

- Llevar a cabo las pruebas de envejecimiento para el resto de los aditivos.
- Evaluar la opción de incorporar silos de almacenamiento de materia prima, con el fin de reducir la superficie utilizada por estas y disminuir el costo por terreno.
- Descartar el aditivo 3 debido a su bajo rendimiento, a menos que para otro tipo de relaves sea más efectivo.
- Realizar pruebas a mayor escala que permitan cuantificar la disminución del área ocupada por el relave debido a la acción de los aditivos.
- Medir en una escala superior a la de laboratorio el porcentaje de agua recuperada a partir de los relaves, ya que si bien es un efecto secundario del aditivo, constituye un parámetro muy importante para las evaluaciones económicas de los clientes potenciales.
- Estudiar la forma de disminuir los costos de inversión y de operación del aditivo 4, ya que podría no ser viable su producción, a pesar de mostrar resultados positivos en la evaluación económica, atribuidos al alto precio de venta de este. El aditivo presenta, además, el inconveniente de ser muy invasivo en la faena minera debido a la superficie que ocupan sus instalaciones.
- Buscar otros nichos de mercado. Los modificadores reológicos pueden ser utilizados en remediación de suelos, rellenos de obras, albañilería, etc.
- Realizar una evaluación ambiental y social del proyecto.
- Determinar el calor específico real de las materias primas, para tener un valor más certero de la temperatura en estado estacionario de los agitadores. Esta tarea puede ser externalizada a laboratorios como el DICTUC.
- Incorporar revestimientos aislantes a los tanques agitados, si se considera que pueden llegar a ser peligrosos para operarios.

Bibliografía

[1] Minería chilena, <<El fin de los relaves?>> [En línea] <http://www.mch.cl/reportajes/el-fin-de-los-relaves/#>. [Último acceso: 13-10-2014].

[2] M.P.A. Williams, K.D. SEDDON, T.G. FITTON, *Surface Disposal of Paste and Thickened Tailings – A Brief History and Current Confronting Issues. Proceedings of the Eleventh International Seminar on Paste and Thickened Tailings*, pp. 143-164, 5-9., Kasane, Botswana, Africa, Mayo 2008.

[3] Economía y negocios, <<Grandes mineras advierten caída de casi 50% en leyes de mineral de cobre en 20 años>> [En línea] <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=97921>. [Último acceso: 15-10-2014].

[4] R. Fuentes, *Curso de Reología de Pulpas*, JRI Ingeniería, 2011.

[5] Centro de Investigación JRI. S.A., <<Conceptos de reología de relaves de cobre,>> [En línea] <http://www.cdi-jri.com/conceptos-de-reologia-de-relaves-de-cobre/>. [Último acceso: 15-10-2014].

[6] N. Rojas, Modelación de la ecuación constitutiva de suspensiones de caolín en función de la energía libre superficial, Tesis de doctorado, Medellín, 2013.

[7] D. Dinger, *Reología para Ceramistas*, 1° ed., 2010.

[8] F. Sofrà, D.V. Boger, *Rheology for thickened tailings and parte – history, state-of-the-art and future directions. Paste 2011, 14th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*, pp. 121-134, Perth, Australia, 2011.

[9] M. He, *Slurry Rheology of Industrial Minerals and Its Effects on Wet Ultra-fine Grinding*, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, h. 64. Luleå, Sweden, 2007.

[10] J. Harris, *Rheology and non-Newtonian flow. Pub. by Longman Inc.*, pp. 1-5 (ISBN 0-582-46331-9), New York, 1977.

[11] G.H. Tattersall, P.F.G. Banfill, *The rheology of fresh concrete*. Pub. by Pitman Books Limited, pp. 10-25 (ISBN 0-273-08558-1), London, 1983.

[12] Química Boss <<Espesantes>> [En línea] http://www.quimicaboss.com.mx/lubrizol_espesantes.html [Último acceso: 26-02-2015]

[13] Maquimex <<Industria Alimentaria>> [En línea] <http://maquimex.com/blog/productos/alimentaria/> [Último acceso: 26-02-2015]

[14] B. Klein, M. Pawlik, *Rheology modifiers for mineral suspensions*. SME Annual Meeting, Denver, Colorado, United States, 2004.

[15] C. Vidal, *Estudios reofísicos de relaves chilenos*, Tesis de pregrado, Santiago, 2013.

[16] Rheology Solutions <<Measuring Sensors>> [En línea] <http://www.rheologysolutions.com/thermo-scientific-haake-viscotester-550-measuring-sensors/> [Último acceso: 26-02-2015]

- [17] D. BOGER, (2006). *Rheological Concepts*. R.J. JEWELL, A.B. FOURIE, E.R. LORD, Editores. *Paste and Thickened Tailings: A Guide*. Segunda edición, Cap. 3, The Australian Centre for Geomechanics, Nedlands, Australia, 2006.
- [18] W. Davenport, *Extractive Metallurgy of Copper*, Elsevier, Estados Unidos, 2011.
- [19] Biblioteca Nacional del Congreso de Chile <<Ley Chile>> [En línea] <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1032158> [Último acceso: 25-02-2015]
- [20] BASF <<Soluciones para minería>> [En línea] http://www.basf.cl/sac/web/chile/es/mineria/soluciones_mineria?mid=0 [Último acceso: 25-02-2015]
- [21] SNF <<Catálogo>> [En línea] http://snf.com.au/downloads/Dryfloc_E.pdf [Último acceso: 25-02-2015]
- [22] L. McCabe, C. Smith, *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*, McGraw-Hill, España, 1998.
- [23] Tecam. <<Mezcladores de proceso>> [En línea] http://tecam.cl/equipo_mezclador_v.html. [Último acceso: 13-02-2015].
- [24] SAM <<Produk>> [En línea] Disponible en <http://www.nusamachinery.com/screw-conveyor.html>. [Último acceso: 13-02-2015].
- [25] Mill Poder Tech Solution <<Doble cono mezclador>> [En línea] <http://powder-mill.ready-online.com/es/product/16-Double-Cone-Mixer-Machine.html>. [Último acceso: 13-02-2015].
- [26] Taylor Products <<Bulk Bag IBC Systems>> [En línea] <http://www.taylorproducts.com/bulk-bag-filling-ibc3000-2.html> [Último acceso: 03-12-2014].
- [27] Auer Packaging <<Productos, IBC Container>> [En línea] http://www.auer-packaging.com/cl/ibc-container_14-1.html [Último acceso: 13-02-2015].
- [28] AngloAmerican <<Reporte de Desarrollo Sustentable y Estados Financieros 2009>> [En línea] <http://anglo-american-chile.production.investis.com/~media/Files/A/AngloAmerican-Chile/Attachments/pdf/spanish/sustainable-development-rep-2010.pdf>
- [29] AngloAmerican <<Reporte de Desarrollo Sustentable y Estados Financieros 2010>> [En línea] <http://www.angloamerican-chile.cl.edgesuite.net/~media/Files/A/AngloAmerican-Chile/Attachments/pdf/spanish/sustainable-development-rep-2010.pdf>
- [30] AngloAmerican <<Reporte de Desarrollo Sustentable 2011>> [En línea] <http://www.angloamerican-chile.cl.edgesuite.net/~media/Files/A/Anglo-AmericanChile/Attachments/pdf/report-e-eff-anglo-america2011.pdf>
- [31] AngloAmerican. <<Reporte de Desarrollo Sustentable 2012>> [En línea] <http://anglo-american-chile.production.investis.com/~media/Files/A/Anglo-AmericanChile/Attachments/pdf/Anglo%20American%20Reporte%20%20EEFF%202012.pdf>
- [32] AngloAmerican <<Reporte de Desarrollo Sustentable 2013>> [En línea] <http://www.angloamerican-chile.cl/lib/reports-and-publications.aspx>

- [33] Antofagasta Minerals <<Reporte de Sustentabilidad 2011>> [En línea] <http://www.aminerals.cl/wp-content/files/Reporte-Sustentabilidad-APLC-2011.pdf>
- [34] Antofagasta Minerals <<Reporte de Sustentabilidad 2012>> [En línea] <http://www.aminerals.cl/wp-content/files/reporte-sustentabilidad-2012.pdf>
- [35] Antofagasta Minerals <<Reporte de Sustentabilidad 2013>> [En línea] http://www.aminerals.cl/wpcontent/files/Reporte_de_Sustentabilidad_2013_Grupo_Minero_Antofagasta_Minerals.pdf
- [36] Barrick <<Reporte de Responsabilidad. Chile 2011>> [En línea] http://barricklatam.com/barrick/site/artic/20121108/asocfile/20121108112759/reporte_chile_2011.pdf
- [37] Barrick <<Reporte de Sustentabilidad. Barrick Chile 2012>> [En línea] http://barricklatam.com/barrick/site/artic/20120803/asocfile/20120803114558/reporte_chile_2012.pdf
- [38] BHP Billiton <<Informe de Sustentabilidad 2010: Minera Escondida>> [En línea] https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/13813/original/BHPB_MEL_Reporte_DC_16.pdf?1326910573
- [39] Chile. Comisión Chilena Del Cobre <<Producción cobre de mina por empresa anual>> [En línea] <http://www.cochilco.cl/estadisticas/produccion.asp>
- [40] CODELCO <<Reporte de Sustentabilidad: CODELCO 2011>> [En línea] http://www.codelco.com/flipbook/reporte_sustentabilidad/2011/sitio/index.html
- [41] CODELCO <<Reporte de Sustentabilidad 2012>> [En línea] <http://www.codelco.com/reporte2012/>
- [42] CODELCO <<Reporte de Sustentabilidad 2013>> [En línea] <http://www.codelco.com/reporte2013/site/edic/base/port/inicio.html>
- [43] Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi <<Reporte de Desarrollo Sustentable y Estados Financieros 2009>> [En línea] http://www.collahuasi.cl/pdf/sustentable/info_sustentable09.pdf
- [44] Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi <<Reporte de Desarrollo Sustentable 2010>> [En línea] http://www.collahuasi.cl/pdf/sustentable/info_sustentable10.pdf
- [45] Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi <<Reporte de Desarrollo Sustentable2011>> [En línea] http://www.collahuasi.cl/pdf/sustentable/info_sustentable11.pdf
- [46] Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi <<Reporte de Desarrollo Sustentable 2012>> [En línea] http://www.collahuasi.cl/pdf/sustentable/info_sustentable12.pdf
- [47] Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi <<Reporte de Desarrollo Sustentable 2013>> [En línea] http://www.collahuasi.cl/pdf/sustentable/info_sustentable13.pdf
- [48] B. Soriano, *Planta de fabricación de aceite*, Tesis de pregrado, Sevilla, 2005.
- [49] Instituto Nacional de Estadísticas <<Calculadora IPC>> [En línea] <http://encina.ine.cl/calculadora/> [Último acceso: 21-01-2015].

- [50] Servicio de Evaluación Ambiental Región de Antofagasta., *Declaración de impacto ambiental Planta de Emulsión Encartuchada*, Declaración de impacto ambiental, Antofagasta, Junio, 2013.
- [51] Tecam <<Mezcladores de proceso>> [En línea] http://tecam.cl/equipo_mezclador_conico.html [Último acceso: 17-02-2015]
- [52] Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid <<Tornillos sin fin>> [En línea] http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/tornillos_sin_fin.pdf [Último acceso: 21-02-2015]
- [53] D. W. Green y R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers Handbook*, Libro 8° ed., Mc Graw-Hill.
- [54] J. Prado, Cflow Chile, *Cotización de equipos*. [Entrevista]. Enero 2015.
- [55] McGraw Hill Education <<Data>> [En línea] <http://www.mhhe.com/engcs/chemical/peters/data/ce.html> [Último acceso: 16-01-2015]
- [56] Alibaba <<Catálogo>> [En línea] http://www.alibaba.com/product-detail/Concrete-loading-hopper_1375629660.html [Último acceso: 16-01-2015]
- [57] A. Zomosa, *Manual de Proyectos de Ingeniería Química*, Santiago, Chile, 1984.
- [58] Chemical Engineering. [Revista] vol. 121, N°12, Diciembre, 2014.
- [59] El Mercurio <<Económicos Clasificados>> [En línea] <http://www.economicos.cl/propiedades/vendo-terreno-codAABTM7Y.html?r=39> [Último acceso: 19-01-2015]
- [60] El Mercurio <<Económicos Clasificados>> [En línea] <http://www.economicos.cl/propiedades/venta-terreno-56400-urbanizado-en-calama-gran-oferta-codAACDWCQ.html?r=32> [Último acceso: 19-01-2015]
- [61] El Mercurio <<Económicos Clasificados>> [En línea] <http://www.economicos.cl/propiedades/vendo-o-arriendo-terreno-de-5100-m2-en-calama-av-la-paz-codAACMUBA.html?r=27> [Último acceso: 19-01-2015]
- [62] El Mercurio <<Económicos Clasificados>> [En línea] <http://www.economicos.cl/propiedades/vendo-terreno-para-constructoras-diez-mil-metros-cuadrados-codAACQSXA.html?r=20> [Último acceso: 19-01-2015]
- [63] El Mercurio <<Económicos Clasificados>> [En línea] <http://www.economicos.cl/propiedades/luz-propiedades-vende-excelente-terreno-codAACXCHY.html?r=12> [Último acceso: 19-01-2015]
- [64] El Mercurio <<Económicos Clasificados>> [En línea] <http://www.economicos.cl/propiedades/vendo-terreno-de-5000-m2-en-avenida-la-paz-codAACV2KY.html?r=13> [Último acceso: 19-01-2015]
- [65] John S., *Conceptual cost estimating manual*, 2nd Edition. Burlington, MA, Elsevier, 1996.
- [66] R. Badilla, Evaluación económica de proyectos, Curso IQ6702 Taller de Proyectos, Julio 2013.

- [67] Mutual de seguridad, Caja de Compensación Los Andes y Denarius, *Estudio de Compensaciones PYME 2011*, Marzo 2011.
- [68] Ministerio de educación, Gobierno de Chile <<Buscador de empleabilidad e ingresos>> [En línea] <http://www.mifuturo.cl/index.php/futuro-laboral/buscador-por-carrera-d-institucion> [Último acceso: 20-01-2015]
- [69] Chile Trabajos <<Trabajos>> [En línea] <http://www.chiletrabajos.cl/trabajos> [Último acceso: 20-01-2015]
- [70] MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, *Ordenanza General De Urbanismo Y Construcciones*, Chile, Diciembre 2013.
- [71] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile <<Ley Chile>> [En línea] <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=167766> [Último acceso: 20-01-2015]
- [72] Aguas Antofagasta <<Tarifas Actuales>> [En línea] <http://www3.aguasantofagasta.cl/empresa/informacion-comercial/tarifas/tarifas-actuales.html> [Último acceso: 21-01-2015]
- [73] R. Gálvez, Plusbag Chile, *Cotización de insumos*. [Entrevista]. Enero 2015.
- [74] M. Cella, Superbidon, *Cotización de insumos*. [Entrevista]. Enero 2015.
- [75] ELECDA <<PDF en línea>> [En línea] <http://www.elecda.cl/clienteempresa/Tarifas/Tarifas%20de%20Suministro%20El%C3%A9ctrico%2001%2004%202012%20ELECDA.pdf> [Último acceso: 21-01-2015]
- [76] Aguas Andinas <<¿Cuánta agua utilizo en mi hogar>> [En línea] <https://www.aguasandinas.cl/la-empresa/que-hacemos/consumo> [Último acceso: 21-01-2015]
- [77] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile <<Patentes Municipales>> [En línea] <http://www.bcn.cl/leyfacil/recurso/patentes-municipales> [Último acceso: 21-01-2015]
- [78] Sodexo <<Simulador>> [En línea] http://www.sodexomotivacion.info/simulador.php?TB_iframe=true&height=520&width=750 [Último acceso: 21-01-2015]
- [79] Servicio de Impuestos Internos <<Nueva Tabla de Vida Útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado>> [En línea] http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm [Último acceso: 23-02-2015]

Anexos

A. Nomenclatura

C_i : Costo del equipo i [USD].

C_p : Calor específico del compuesto $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$.

c_0 : Coeficiente de resistencia del material — .

CT : Costo total de un equipo [USD].

D : Diámetro m .

d : Dosis de aditivo $\frac{g \text{ aditivo}}{Ton \text{ relave}}$.

F : Flujo volumétrico $\frac{m^3}{h}$.

H : Entalpía kJ .

H_g : Alto m .

h : Entalpía específica del compuesto $\frac{kJ}{kg}$.

I_i : Índice de costos del equipo i , para una fecha determinada (CEPCI) — .

I_t : Índice en el periodo t — .

k : Coeficiente de disminución del material — .

L : Largo m .

m : Masa kg .

m : Flujo másico $\frac{Ton}{h}$.

N° : Número de batchs [—].

n : Revoluciones del tornillo [RPM].

n_m : Número de moles mol .

n_w : Factor de Williams — .

P : Potencia [kW].

P_H : Potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material [kW].

P_N : Potencia requerida para accionar el tornillo en vacío [kW].

P_s : Presión Pa .

P_{St} : Potencia para un tornillo sin fin inclinado [kW].

PM : Peso molecular del compuesto $\frac{g}{mol}$.

Q : Calor kJ .

Q_c : Caudal másico en tornillo transportador $\frac{Ton}{h}$.

R : Constante universal de los gases $\frac{kJ}{kmol \cdot K}$.

S : Área de relleno del canalón m^2 .

T : Temperatura [$^{\circ}C$].

t : Tiempo h .

V : Volumen m^3 .

v : Velocidad de desplazamiento del transportador $\frac{m}{s}$.

X_i : Capacidad del equipo i [m^3].

Δh_{dis} : Calor de disolución del compuesto $\frac{kJ}{mol}$.

λ : Coeficiente de relleno de la sección — .

ρ : Densidad $\frac{kg}{m^3}$.

τ : Paso del tornillo m .

B. Balance de Masa

Tabla 27. Balance de masa para caso pequeño, parte 1.

Compuesto	Unidad	Flujos							
		F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108
MC3 seco	[Ton/día]	11,10	0,00	8,63	8,63	2,47	0,00	2,47	2,47
MCL seco	[Ton/día]	0,00	3,70	2,88	2,88	0,82	1,64	2,47	2,47
Agua	[Ton/día]	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MEL seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MMC2 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MH seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	[Ton/día]	11,10	3,70	11,51	11,51	3,29	1,64	4,93	4,93

Tabla 28. Balance de masa para caso pequeño, parte 2.

Compuesto	Unidad	Flujos												
		F201	F202	F203	F204	F301	F302	F303	F304	F401	F402	F403	F404	F405
MC3 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MCL seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	2,47	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	[Ton/día]	1,75	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,62	0,00	12,33	14,95	14,95
MEL seco	[Ton/día]	1,64	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	0,00	0,00	2,47	2,47
MMC2 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	1,64	1,64	2,47	0,00	2,47	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MH seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	0,00	2,47	2,47
Total	[Ton/día]	3,39	3,39	1,65	1,65	2,47	2,47	4,94	4,94	5,08	2,47	12,33	19,88	19,88

Tabla 29. Balance de masa para caso mediano, parte 1.

Compuesto	Unidad	Flujos							
		F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108
MC3 seco	[Ton/día]	64,73	0,00	50,34	50,34	14,38	0,00	14,38	14,38
MCL seco	[Ton/día]	0,00	21,58	16,78	16,78	4,79	9,59	14,38	14,38
Agua	[Ton/día]	0,04	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01
MEL seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MMC2 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MH seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	[Ton/día]	64,76	21,58	67,15	67,15	19,19	9,59	28,78	28,78

Tabla 30. Balance de masa para caso mediano, parte 2.

Compuesto	Unidad	Flujos												
		F201	F202	F203	F204	F301	F302	F303	F304	F401	F402	F403	F404	F405
MC3 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MCL seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,38	14,38	14,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	[Ton/día]	10,18	10,18	0,02	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	15,27	0,00	71,92	87,19	87,19
MEL seco	[Ton/día]	9,59	9,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,38	0,00	0,00	14,38	14,38
MMC2 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	9,59	9,59	14,38	0,00	14,38	14,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MH seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,38	0,00	14,38	14,38
Total	[Ton/día]	19,77	19,77	9,61	9,61	14,41	14,38	28,80	28,80	29,66	14,38	71,92	115,96	115,96

Tabla 31. Balance de masa para caso grande, parte 1.

Compuesto	Unidad	Flujos							
		F101	F102	F103	F104	F105	F106	F107	F108
MC3 seco	[Ton/día]	140,55	0,00	109,32	109,32	31,23	0,00	31,23	31,23
MCL seco	[Ton/día]	0,00	46,85	36,44	36,44	10,41	20,82	31,23	31,23
Agua	[Ton/día]	0,08	0,00	0,07	0,07	0,02	0,00	0,02	0,02
MEL seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MMC2 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MH seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	[Ton/día]	140,63	46,85	145,82	145,82	41,66	20,82	62,48	62,48

Tabla 32. Balance de masa para caso grande, parte 1.

Compuesto	Unidad	Flujos												
		F201	F202	F203	F204	F301	F302	F303	F304	F401	F402	F403	F404	F405
MC3 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MCL seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23	31,23	31,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	[Ton/día]	22,11	22,11	0,04	0,04	0,06	0,00	0,06	0,06	33,16	0,00	156,16	189,33	189,33
MEL seco	[Ton/día]	20,82	20,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23	0,00	0,00	31,23	31,23
MMC2 seco	[Ton/día]	0,00	0,00	20,82	20,82	31,23	0,00	31,23	31,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MH seco	[Ton/día]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23	0,00	31,23	31,23
Total	[Ton/día]	42,93	42,93	20,86	20,86	31,30	31,23	62,53	62,53	64,40	31,23	156,16	251,79	251,79

C. Dimensionamiento de equipos

a. Mezcladores de planta multiproducto

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo para la determinación del volumen del mezclador. En este caso se utilizarán los datos para el mezclador 1 del caso pequeño.

A partir del balance de masa exhibido en la Tabla 27, se calcula el flujo volumétrico diario para el mezclador 1 como sigue:

$$F_{total} = \frac{F_{101,MC3}}{\rho_{MC3}} + \frac{F_{101,agua}}{\rho_{agua}} + \frac{F_{102,MCL}}{\rho_{MCL}}$$

$$F_{total} = \frac{11,1 \frac{Ton}{día} \cdot 1.000 \frac{kg}{Ton}}{2,75 \frac{kg}{L}} + \frac{0,01 \frac{Ton}{día} \cdot 1.000 \frac{kg}{Ton}}{1 \frac{kg}{L}} + \frac{3,7 \frac{Ton}{día} \cdot 1.000 \frac{kg}{Ton}}{2,99 \frac{kg}{L}}$$

$$F_{total} = 5.283 \frac{L}{día} \approx 5,3 \frac{m^3}{día}$$

Luego, se divide el flujo en los batch necesarios, para determinar el volumen teórico del mezclador:

$$V_{teórico} = \frac{F_{total}}{N^{\circ} \text{ batch}} = \frac{5.283 [L]}{2} = 2.642 [L]$$

Finalmente, se sobreestima en un 20% el volumen por motivos de seguridad, obteniendo el volumen real del mezclador:

$$V_{real} = V_{teórico} \cdot 1,2 = 2.642 L \cdot 1,2 = 3.170,2 L \approx 3.200[L]$$

b. Tanque de almacenamiento en planta multiproducto

De los datos presentados en la Tabla 29 se tiene que el volumen a almacenar para un periodo de 20 días puede ser calculado a partir del flujo diario

$$F_{total} = \frac{m_{101,MC3}}{\rho_{MC3}} + \frac{m_{101,agua}}{\rho_{agua}} + \frac{m_{102,MCL}}{\rho_{MCL}}$$

$$F_{total} = \frac{64,73 \frac{Ton}{día} \cdot 1.000 \frac{kg}{Ton}}{2,75 \frac{kg}{L}} + \frac{0,04 \frac{Ton}{día} \cdot 1.000 \frac{kg}{Ton}}{1 \frac{kg}{L}} + \frac{21,58 \frac{Ton}{día} \cdot 1.000 \frac{kg}{Ton}}{2,99 \frac{kg}{L}}$$

$$F_{total} = 30.796 \frac{L}{día} \approx 30,8 \frac{m^3}{día}$$

$$V_{teórico} = 30.796 \frac{L}{día} \cdot 25 \text{ días} = 769.900 [L]$$

Luego, imponiendo un margen de seguridad del 15% se tiene que:

$$V_{real} = V_{teórico} \cdot 1,15 = 769.900 L \cdot 1,15 = 885.385 L \approx 900[m^3]$$

c. Tornillos sin fin [52]

Se tiene que el caudal transportado por el tornillo puede ser representado por la siguiente fórmula:

$$Q_c = 3.600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot k$$

Dónde, S es el área de relleno del canalón, v es la velocidad del desplazamiento del transportador, ρ es la densidad del material y k es el coeficiente de disminución del material. El factor 3.600 es sólo para ajustar las unidades, ya que en la formula Q_c tiene unidades de [Ton/h] y el lado derecho debe ser ingresado con unidades con unidades de tiempo distintas.

El área de relleno es calculada como:

$$S = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot D^2}{4}$$

Con D el diámetro del canalón y λ es el coeficiente de relleno de la sección, el cual debe ser menor a 1 para evitar amontonamiento. En la Tabla 33 se observan los valores típicos para este parámetro adimensional.

Tabla 33. Valores estándar para el coeficiente de relleno.

Tipo de carga	λ
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada poco abrasiva	0,25
Ligera poco abrasiva	0,32
Ligera no abrasiva	0,4

La velocidad de desplazamiento del transportador queda determinada por:

$$v = \frac{\tau \cdot n}{60}$$

Dónde τ es el paso del tornillo y n las revoluciones del mismo. La bibliografía recomienda que el paso del tornillo se entre 0,5 a 1 veces el diámetro de este.

De esta forma el caudal queda expresado como:

$$Q_c = 3.600 \cdot \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{\tau \cdot n}{60} \cdot \gamma \cdot k \quad (*)$$

El coeficiente k depende de la inclinación del transportador. En la Tabla 34 se pueden observar los valores de este parámetro dependiendo del ángulo en que se fije el canalón.

Tabla 34. Valores del coeficiente de disminución del material, según la inclinación del canalón.

Inclinación del canalón	k
0°	1
5°	0,9
10°	0,8
15°	0,7
20°	0,6

Entonces, para calcular las revoluciones del tornillo que transporta MMC2 hasta el mezclador es necesario determinar el caudal necesario a transportar. Para esto se utilizan los datos de la Tabla 30.

$$m_{\text{tornillo}} = \frac{2}{t_{\text{muerto}}} \cdot \frac{m_{203, \text{MMC2}}}{N^{\circ} \text{ batch}} = \frac{2}{1 \text{ h}} \cdot \frac{9,59 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}}{6 \frac{\text{batch}}{\text{día}}} = 3,19 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Luego, incorporando un margen de seguridad de un 20% se tiene que:

$$Q_c = m_{\text{tornillo}} \cdot 1,2 = 3,836 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \approx 3,8 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Entonces, reemplazando estos valores en * y fijando un diámetro de 0,25 [m] (recomendado por bibliografía [48] y [52]), un paso de 0,25 [m], un ángulo de 25°, y un coeficiente de relleno de 0,25, se tiene que:

$$n = \frac{Q_c \cdot 4 \cdot 60}{3.600 \cdot \lambda \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \tau \cdot \gamma \cdot k} = \frac{3,8 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \cdot 4 \cdot 60 \left[\frac{\text{RPM}}{\text{s}} \right]}{3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 0,25 \text{ m}^2 \cdot 0,25 [\text{m}] \cdot 0,5 \cdot 2,56 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}}$$

$$n = 16,1 \text{ RPM}$$

Para obtener la potencia requerida se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

Dónde P_H es la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material, P_N es la potencia requerida para accionar el tornillo en vacío y P_{St} es la potencia para un tornillo sin fin inclinado. Estas potencias son calculadas como:

$$P_H = \frac{c_0 \cdot Q_c \cdot L}{367}$$

$$P_N = \frac{D \cdot L}{20}$$

$$P_{St} = \frac{Q \cdot H_g}{367}$$

El parámetro c_0 es el coeficiente de resistencia del material, H es la altura a la que se desea llegar y L es el largo del canalón.

Agrupando términos se tiene que:

$$P = \frac{Q_c(c_0 \cdot L + H_g)}{367} + \frac{D \cdot L}{20}$$

En la Tabla 35 se muestran los valores típicos para el coeficiente c_0 .

Tabla 35. Valores comunes para el coeficiente de resistencia.

Material	c_0 Empírico
Harina, serrín, productos granulados	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

De esta forma, imponiendo un $c_0 = 4$, $L = 10,7[m]$ y $H_g = 4,5$ en base al teorema de Pitágoras y a las dimensiones de los equipos, se tiene que:

$$P = \frac{3,8 \frac{\text{Ton}}{h} \cdot 4 \cdot 10,7 m + 4,5 m}{367 \frac{\text{Ton} \cdot m}{h \cdot kW}} + \frac{0,25[m] \cdot 10,7[m]}{20 \frac{m^2}{kW}} = 0,62[kW]$$

d. Tanques suministradores y de almacenamiento

El procedimiento es similar al expuesto en la sección C.a. En este caso se presenta el ejemplo de cálculo para el aditivo 1 para una minera pequeña. En primer lugar se debe sobreestimar la dosis de diseño, por lo que se utilizará un factor de 50% sobre la dosis original.

$$d_{diseño} = d_{original} \cdot 1,5 = 300 \frac{g \text{ aditivo}}{\text{Ton relave}} \cdot 1,5 = 450 \frac{g \text{ aditivo}}{\text{Ton relave}}$$

Con este dato se calcula el total de aditivo utilizar fijando la masa de relaves a tratar. Como el ejemplo es para una minera pequeña se tendrán 6.000 [kTon/año] de relave.

$$m_{aditivo 1} = \frac{6.000.000 \frac{\text{Ton relave}}{\text{año}} \cdot 450 \frac{g \text{ aditivo}}{\text{Ton relave}}}{365 \frac{\text{día}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{día}} \cdot 1.000 \frac{g}{kg}} = 308,22 \frac{kg}{h}$$

Luego, fijando una concentración de $0,34 \frac{kg \text{ aditivo}}{L \text{ agua}}$ se calcula el flujo de agua requerido para el agitador.

$$F_{agua} = \frac{308,22 \frac{kg \text{ aditivo}}{h}}{0,34 \frac{kg \text{ aditivo}}{L \text{ agua}}} = 906,53 \frac{L \text{ agua}}{h}$$

Después, se debe transformar el flujo másico de aditivo a flujo volumétrico.

$$F_{aditivo\ 1} = \frac{m_{aditivo\ 1}}{\rho_{aditivo\ 1}} = \frac{308,22 \frac{kg}{h}}{0,75 \cdot 2,75 + 0,25 \cdot 2,99 \frac{kg}{L}} = 109,7 \frac{L}{h}$$

Entonces, el flujo total que entra al agitador es:

$$F_{total} = F_{aditivo\ 1} + F_{agua} = 906,53 + 109,7 \frac{L}{h} = 1.016,2 \frac{L}{h}$$

Luego, fijando un tiempo de residencia de 20 minutos se tiene que el volumen del agitador es:

$$V = F_{total} \cdot t_{residencia} = 1.016,2 \frac{L}{h} \cdot 20 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60[\text{min}]} = 338,74[L] \approx 0,35 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del estanque de almacenamiento es necesario obtener el flujo másico diario de aditivo.

$$m_{aditivo1,día} = 308,22 \frac{kg}{h} \cdot 24 \frac{h}{día} = 7.397,28 \frac{kg}{día}$$

Posteriormente, se calcula el flujo másico por materia prima, recordando que se tiene una relación de 3:1.

$$m_{MC3,día} = 7.397,28 \frac{kg}{día} \cdot 0,75 = 5.547,96 \frac{kg}{día}$$

$$m_{MCL,día} = 7.397,28 \frac{kg}{día} \cdot 0,25 = 1.849,32 \frac{kg}{día}$$

Finalmente, se obtiene el volumen del tanque de almacenamiento utilizando la densidad de cada materia prima y suponiendo un periodo de almacenaje de 90 días (3 meses).

$$V = \frac{5.547,96 \frac{kg}{día}}{2,75 \frac{kg}{L}} + \frac{1.849,32 \frac{kg}{día}}{2,99 \frac{kg}{L}} \cdot 30 \frac{día}{mes} \cdot 3 \text{ mes} = 237.235[L] \approx 240 \text{ m}^3$$

e. Área de instalaciones en faena

Para determinar el área que ocuparían las instalaciones en faena, se utilizó el software Autocad y se supuso que los tanques de almacenaje tendrían una forma cilíndrica con el diámetro igual a la altura. Además, estos son capaces de almacenar aditivo por 3 meses.

De la Figura 29 a la Figura 40 se muestran los layouts de las instalaciones descritas en la Tabla 15. Estos se encuentran superpuestos a escala en un plano real de Minera Centinela.

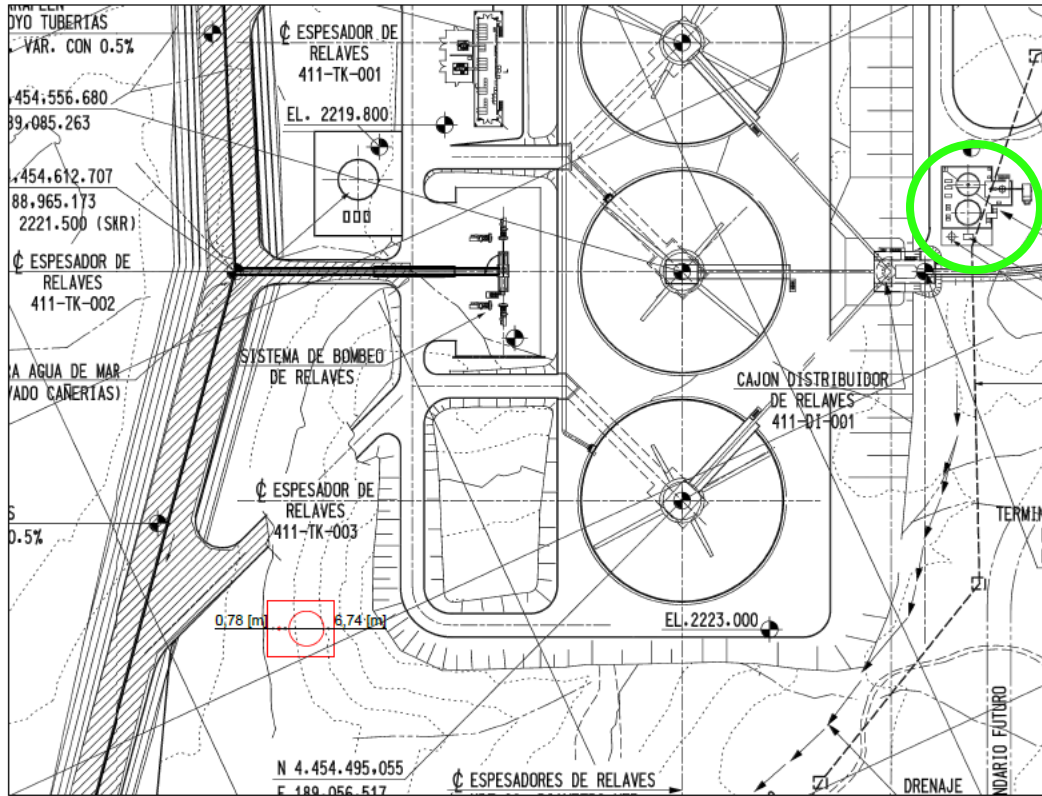


Figura 29. Instalaciones en faena para aditivo 1,5 y 6, considerando caso pequeño. En verde, planta de floculante.

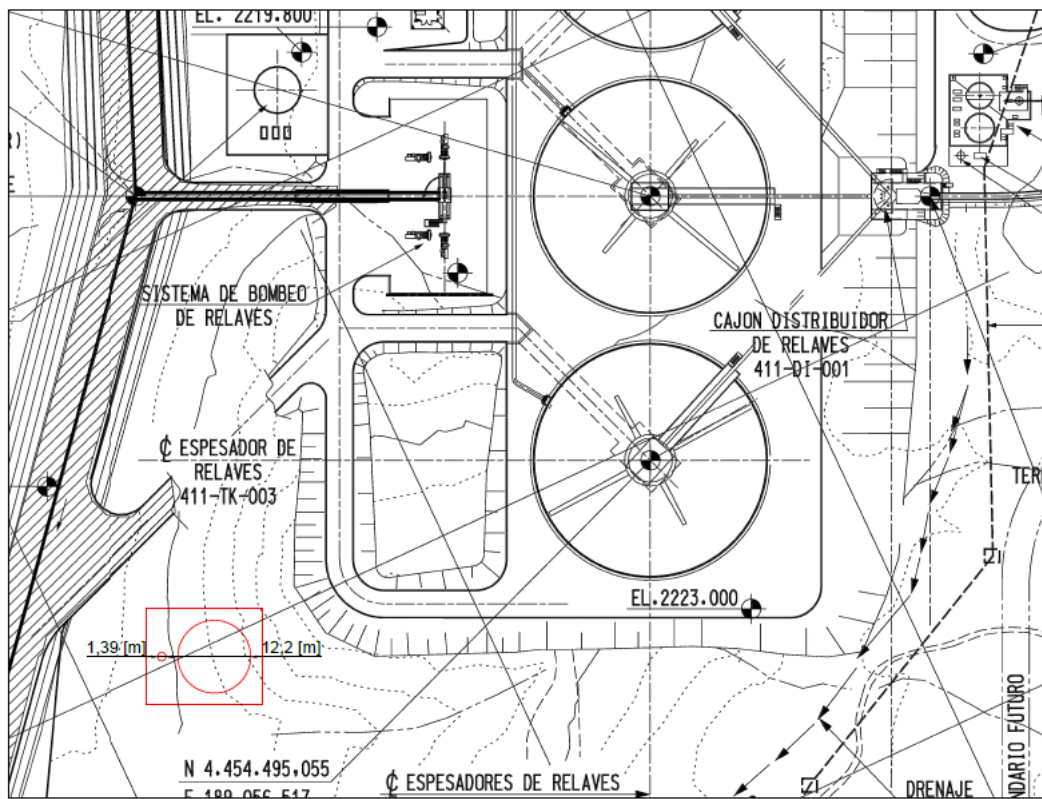


Figura 30. Instalaciones en faena para aditivo 1,5 y 6, considerando caso mediano.

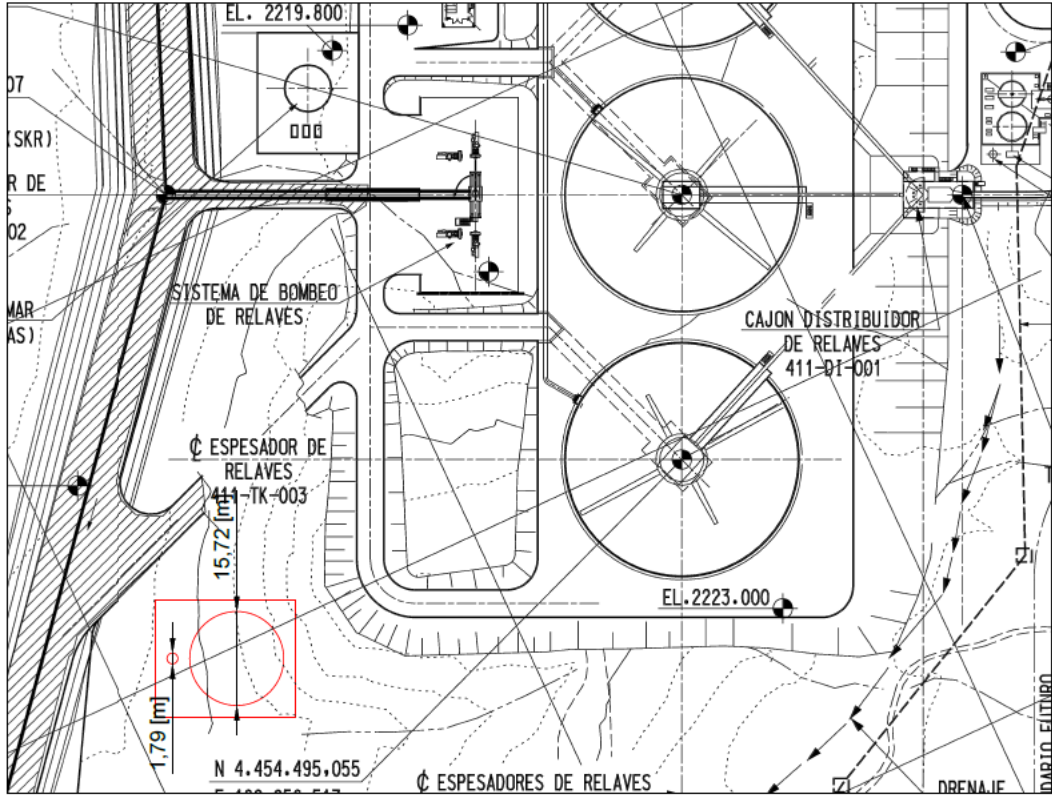


Figura 31. Instalaciones en faena para aditivo 1,5 y 6, considerando caso grande.

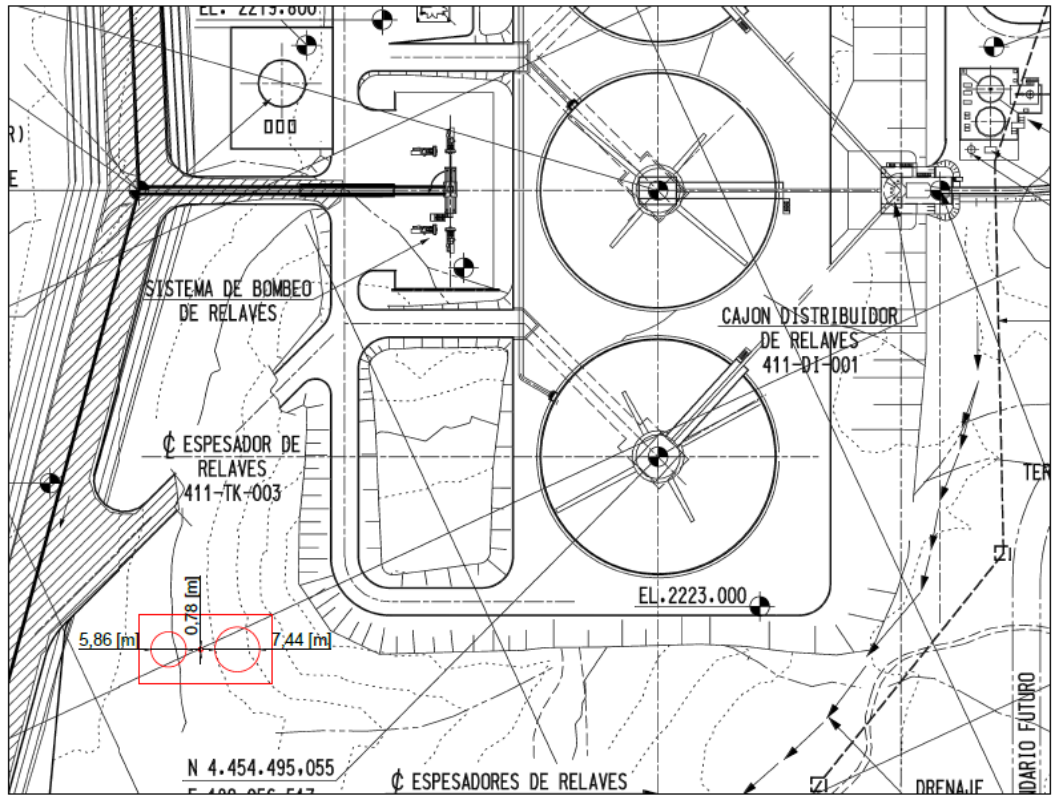


Figura 32. Instalaciones en faena para aditivo 2, considerando caso pequeño.

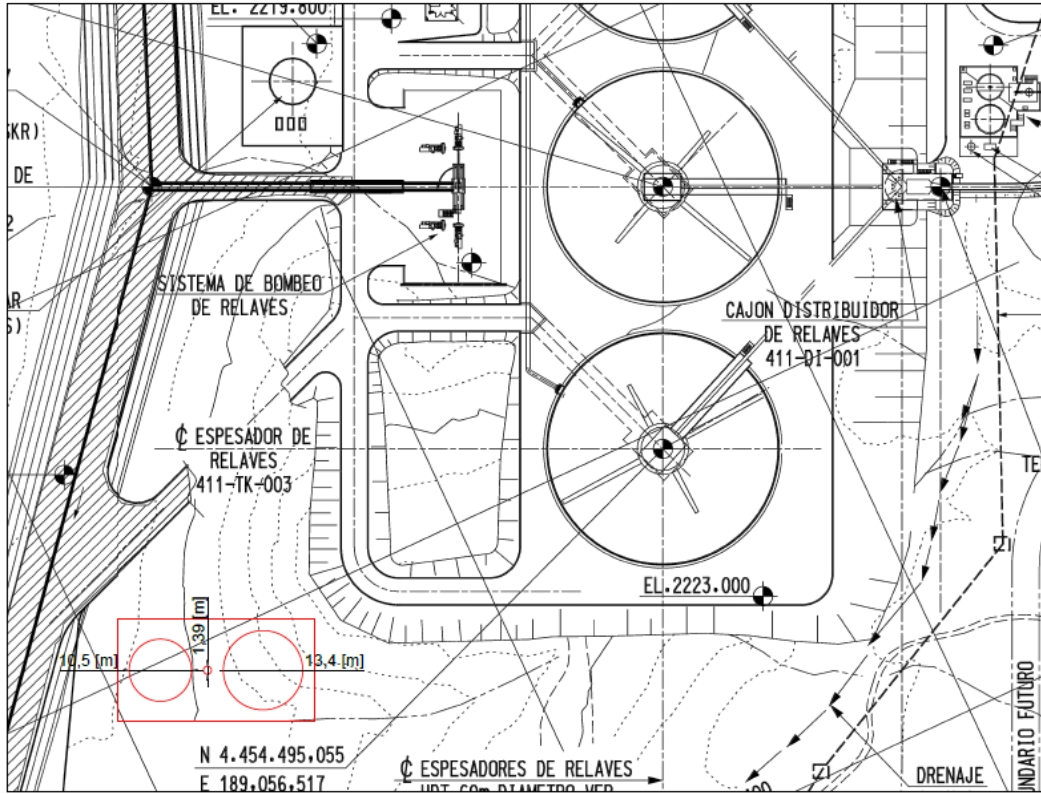


Figura 33. Instalaciones en faena para aditivo 2, considerando caso mediano.

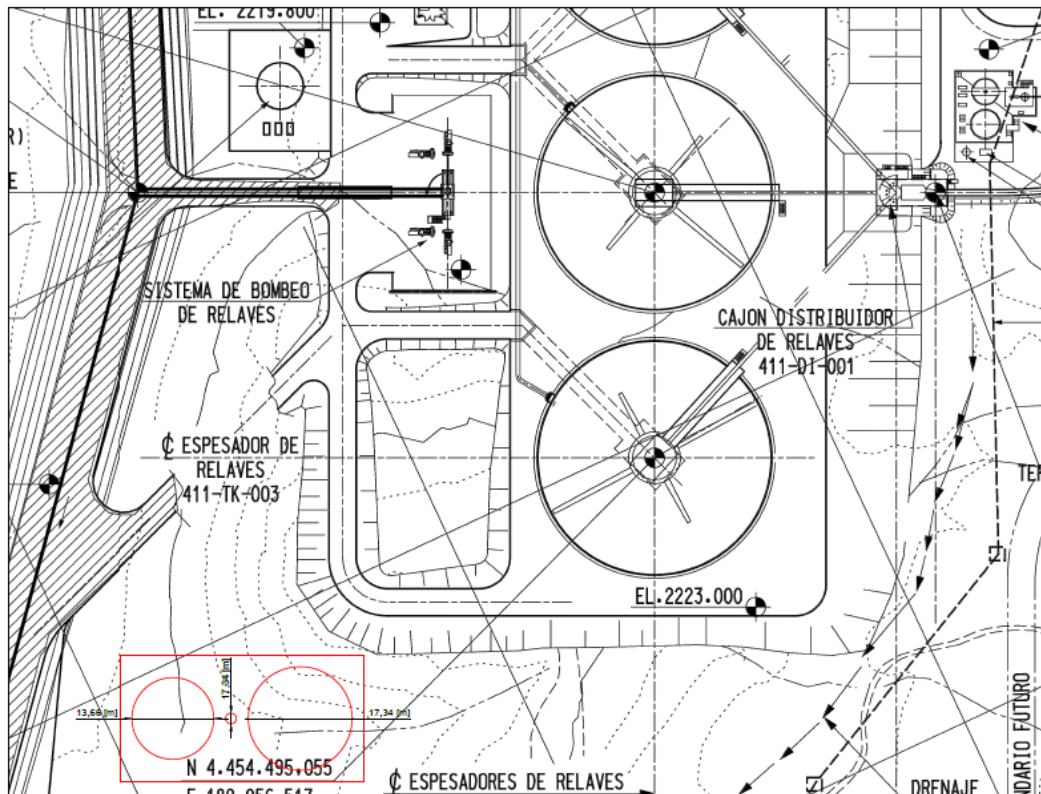


Figura 34. Instalaciones en faena para aditivo 2, considerando caso grande.

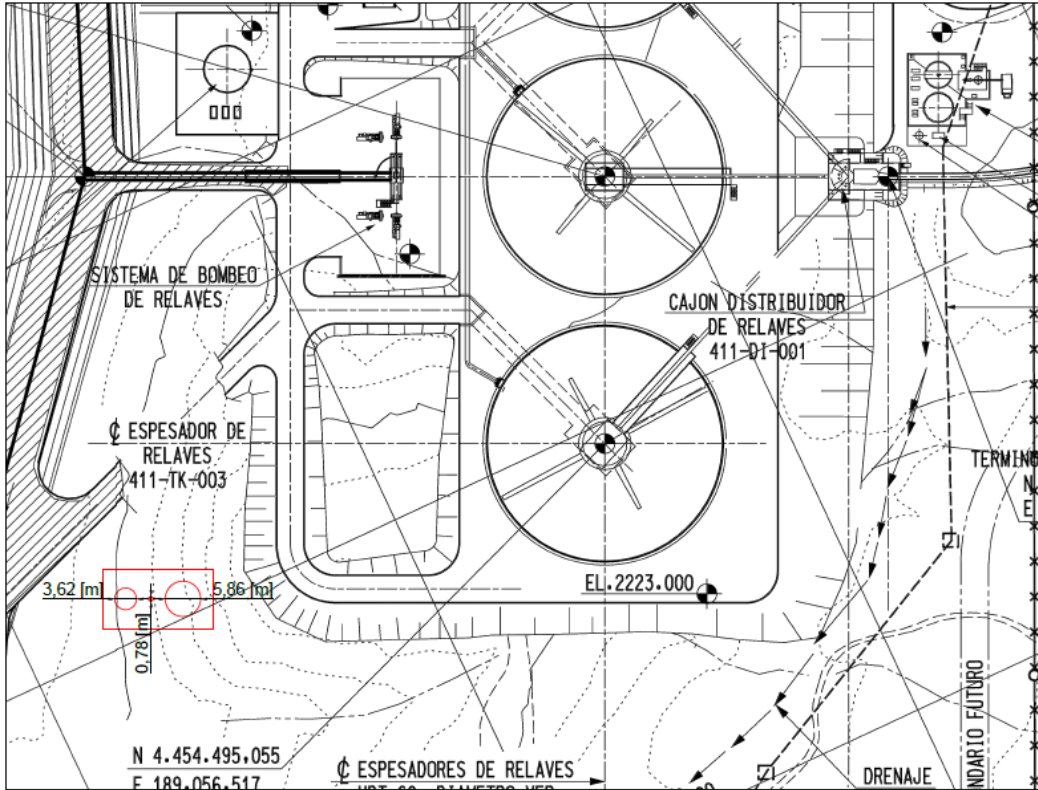


Figura 35. Instalaciones en faena para aditivo 3, considerando caso pequeño.

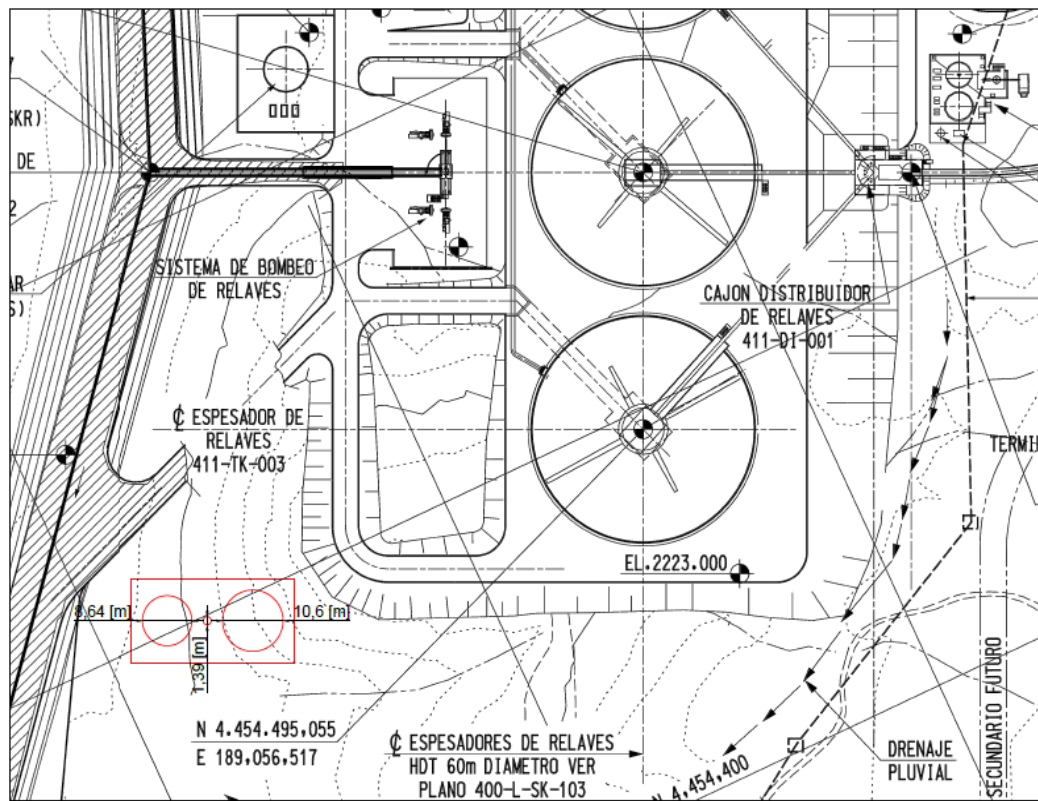


Figura 36. Instalaciones en faena para aditivo 3, considerando caso mediano.

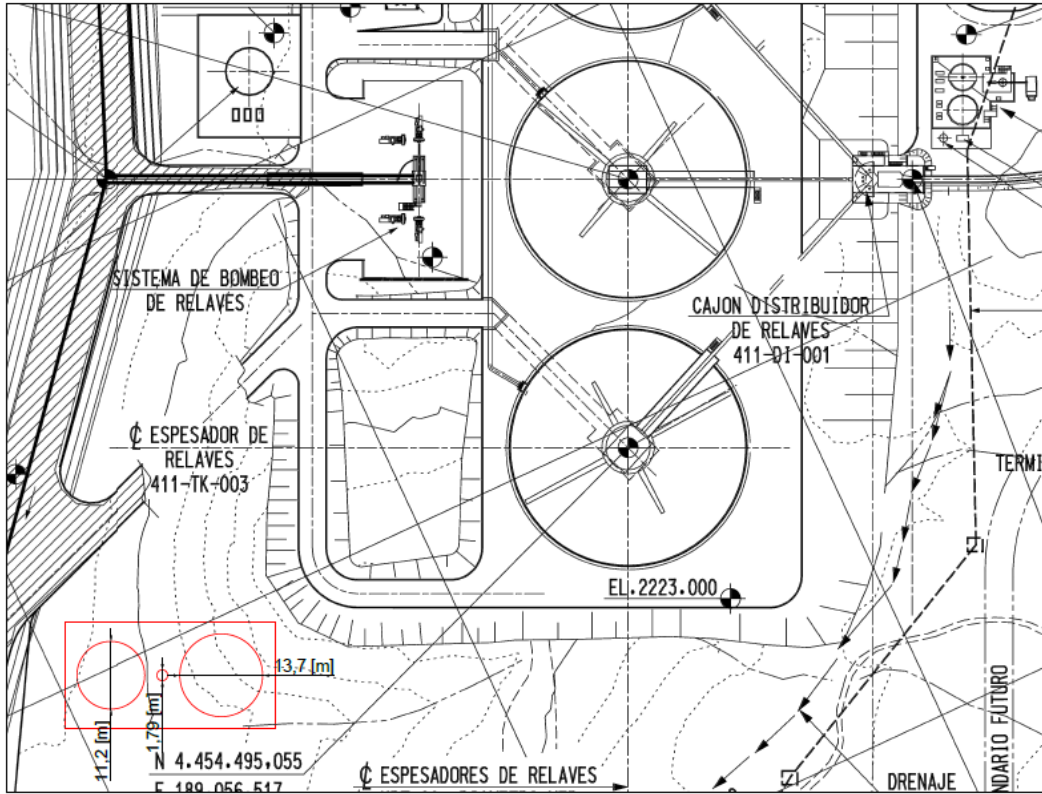


Figura 37. Instalaciones en faena para aditivo 3, considerando caso grande.

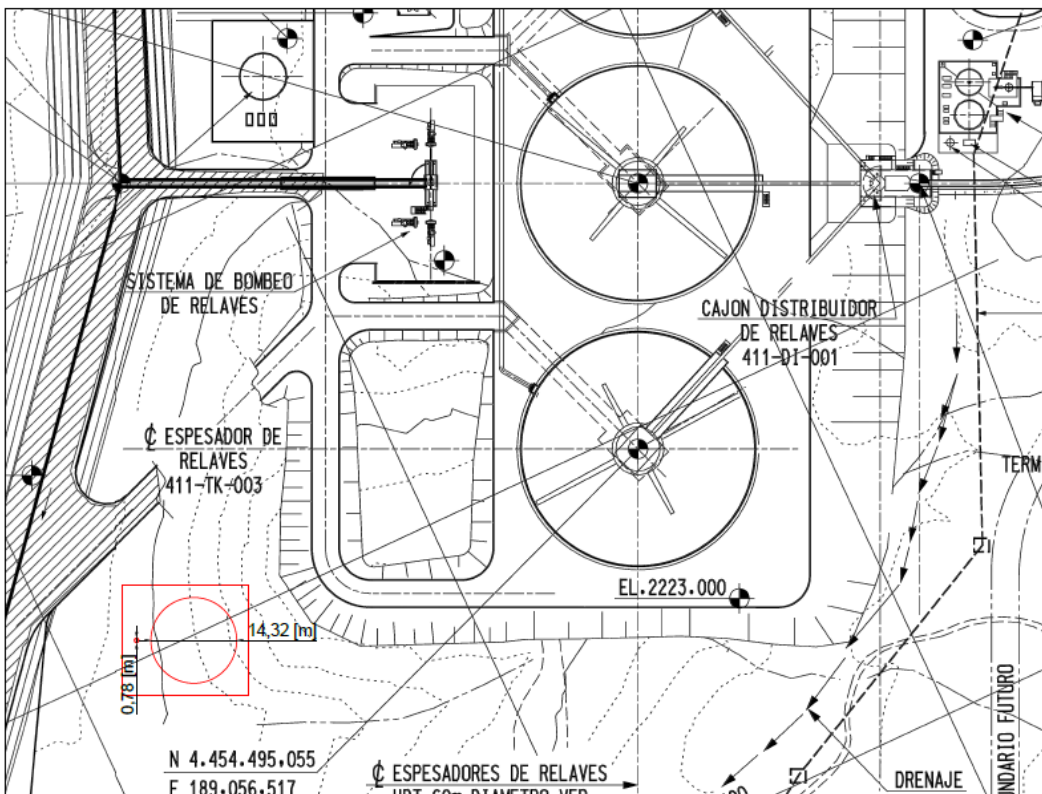


Figura 38. Instalaciones en faena para aditivo 4, considerando caso pequeño.

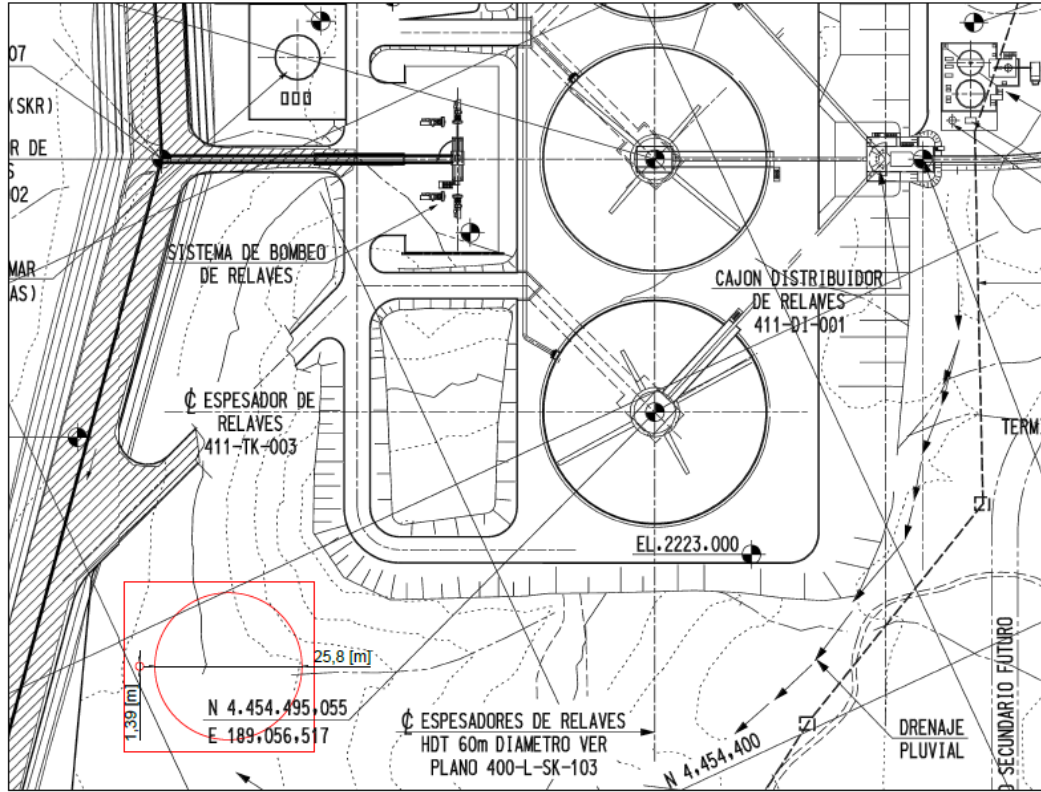


Figura 39. Instalaciones en faena para aditivo 4, considerando caso mediano.

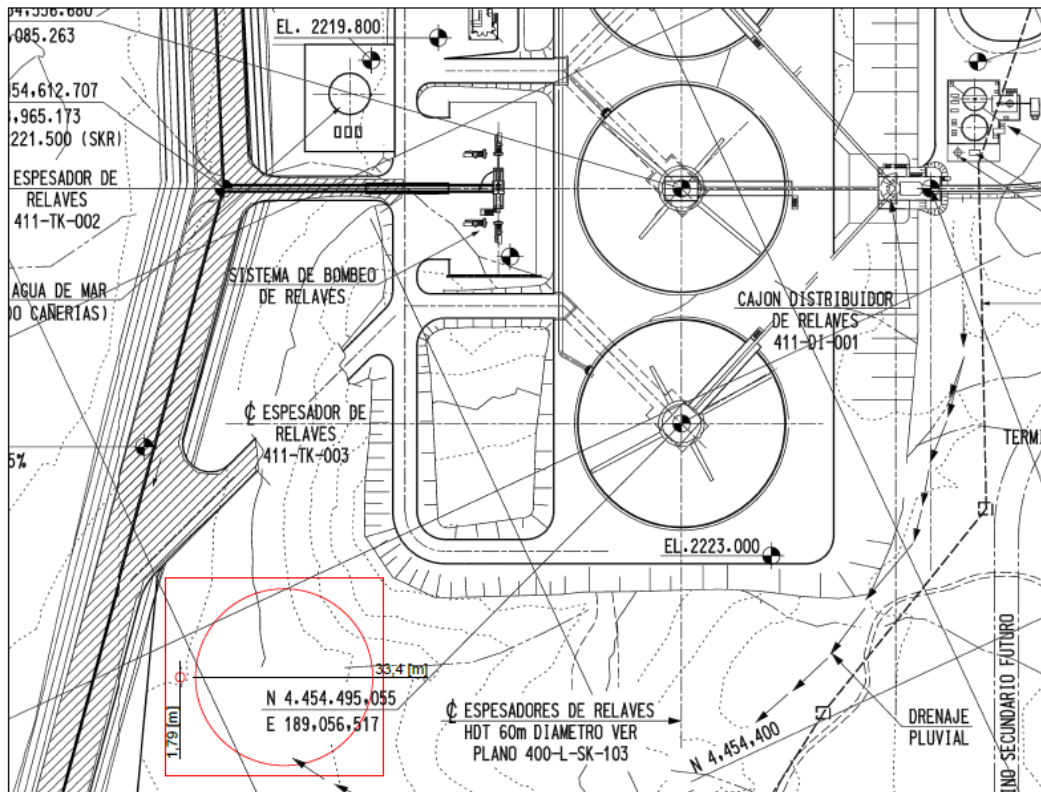


Figura 40. Instalaciones en faena para aditivo 4, considerando caso grande.

f. Balance de energía

Según la información provista por el personal del CI-JRI, se tienen los siguientes datos para las materias primas:

Tabla 36. Resumen de propiedades termoquímicas de las materias primas.

Materia prima	Calor específico C_p	Δh_{dis}	PM
	$\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$	$\frac{kJ}{mol}$	$\frac{g}{mol}$
MC3	0,71	-	-
MCL	1,12	-82	56,08
MMC2	0,88	-	-
MEL	1,12	-	-
MH	3,4	-44,51	39,99
Agua	4,18	-	18,02

1. Balance de energía para mezclador batch de MEL:MH

Realizando un balance de energía, como un sistema abierto:

$$-Q = m_i c_{p,i} \Delta T + m_{aire} \cdot \Delta h$$

Donde Q corresponde al calor producido por la disolución del MH en la solución. Utilizando los valores de la Tabla 36:

$$\begin{aligned} Q &= m_{MH} \cdot \Delta h_{dis} = 4.794,7 \frac{kg}{batch} \cdot -44,51 \frac{kJ}{mol} \cdot \frac{1}{0,04 \frac{kg}{mol}} \\ &= -5.335.265 \frac{kJ}{batch} \end{aligned}$$

La masa se obtuvo a partir del balance de masa presentado en la Tabla 30.

$$Q = \Delta H = m_i c_{p,i} \Delta T + m_{aire} \cdot \Delta h$$

Con m_{aire} es el aire que se encuentra en el reactor al final del llenado con materias primas.

$$\begin{aligned} m_{aire} &= n_m \cdot PM_{aire} = \frac{P_s V}{RT} \cdot PM_{aire} \\ &= \frac{101.325 Pa \cdot 7 m^3 \cdot \frac{1}{1.000 \frac{J}{kJ}}}{8,3145 \frac{kJ}{kmol \cdot K} \cdot 298 K} \cdot 29 \frac{kg}{kmol} = 8,3[kg] \end{aligned}$$

Luego, considerando el aire como un gas ideal e iterando sobre la temperatura y la entalpía del aire [53] en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
& 5.335.265[kJ] \\
& = 4.794,7 \text{ kg} \cdot 3,4 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot T - 25 \text{ } ^\circ C + 4.794,7 \text{ kg} \\
& \cdot 1,12 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot T - 25 \text{ } ^\circ C + 29.066,7 \text{ kg} \cdot 4,1819 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \\
& \cdot T - 25 \text{ } ^\circ C + 8,3 \text{ kg} \cdot h - 273,1 \frac{kJ}{kg}
\end{aligned}$$

Se tiene que:

$$T_{final} = 62,3 [^\circ C]$$

Por lo que no sería necesario incorporar un sistema de enfriamiento continuo.

2. Balance de energía para mezcladores en faena

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para determinar la temperatura alcanzada dentro de un reactor en faena.

Planteando el balance de energía se tiene que:

$$m_i \cdot C_{p,i} \frac{dT}{dt} = -m_{MCL} \cdot \Delta h_{dis} - \sum_i m_i \cdot C_{p,i} \cdot \Delta T$$

En estacionario:

$$\sum_i m_i \cdot C_{p,i} \cdot \Delta T = -m_{MCL} \cdot \Delta h_{dis}$$

Reemplazando con los datos correspondientes al aditivo 1 abasteciendo a una minera mediana, se tiene que:

$$\begin{aligned}
m_{MC3} \cdot C_{p,MC3} + m_{MCL} \cdot C_{p,MCL} + m_{agua} \cdot C_{p,agua} \cdot T_f - T_i &= -m_{MCL} \cdot \Delta h_{dis} \\
1.349 \frac{kg}{h} \cdot 0,71 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} + 450 \frac{kg}{h} \cdot 1,12 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} + 5.395 \frac{kg}{h} \cdot 4,18 \\
\cdot T_f - 25 \text{ } ^\circ C &= -450 \frac{kg}{h} \cdot \frac{-82 \frac{kJ}{mol} \cdot 1000 \frac{g}{kg}}{56,08 \frac{g}{mol}} \\
T_f &= 52,4 \text{ } ^\circ C
\end{aligned}$$

Entonces, la temperatura en estado estacionario para el mezclador en faena sería de aproximadamente 52 [°C].

D. Evaluación económica

a. Costos de inversión (CAPEX)

Las siguientes secciones detallan los costos del terreno, edificación y equipos, para el caso en que se producen todos los aditivos en paralelo. Sólo se tomó en cuenta el caso mediano de producción. El costo de inversión de los casos en que se produce un único aditivo fue determinado considerando sólo los equipos necesarios y un porcentaje del terreno total.

1. Costos de equipos

Tabla 37. Costo de equipos de planta multiproducto.

Equipo	Dimensión	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo de equipos [USD]	Referencia
Estanque	500 [m ³]	1	383.298	383.298	[54]
	900 [m ³]	2	545.425	1.090.850	-
	1.500 [m ³]	4	750.285	3.001.142	[54]
	3.000 [m ³]	0	1.451.639	-	[54]
	7.500 [m ³]	2	3.653.564	7.307.128	[54]
Tanque agitado	0,3 [m ³]	0	7.340	-	[54]
	2 [m ³]	6	13.864	83.184	[54]
	4 [m ³]	0	17.126	-	[54]
	40 [m ³]	1	68.178	68.178	-
Ensacador	-	6	116.996	701.974	-
Tornillo sinfín	10-15 [Ton/h]	6	11.251	67.506	[55]
	5-10 [Ton/h]	9	11.251	112.510	[55]
	0-5 [Ton/h]	3	11.251	45.004	[55]
Tolvas	-	20	2.000	40.000	[56]
Mezclador doble conos	4 [m ³]	2	58.201	116.402	[55]
	2 [m ³]	2	46.499	92.998	[55]
TOTAL				13.110.174	

El precio del ensacador se obtuvo a partir de la información provista por la empresa. Para el estanque de 900 [m³] se utilizó la regla de Williams respecto al estanque de 500 [m³], mientras que para el tanque de 40 [m³] se hizo respecto al tanque de 4 [m³] [57]. A continuación se muestra un ejemplo de cálculo:

$$C_A = C_B \cdot \frac{I_A}{I_B} \cdot \frac{X_A}{X_B}^{n_w}$$

Dónde C_i es el costo del equipo i , I_i es el índice de costos a la fecha indicada para el equipo i (CEPCI), X_i es la capacidad del equipo i y n_w es el factor de Williams (generalmente 0,6).

De esta forma:

$$C_{900} = C_{500} \cdot \frac{I_{900}}{I_{500}} \cdot \frac{X_{900}}{X_{500}}^{0,6}$$

Debido a que el precio de ambos equipos son para el mismo periodo se tiene que $I_{900} = I_{500}$, entonces:

$$C_{900} = C_{500} \cdot \frac{X_{900}^{0,6}}{X_{500}^{0,6}} = 235.000.000 \text{ CLP} \cdot \frac{900 \text{ m}^3}{500 \text{ m}^3}^{0,6} \approx 334.400.000 \text{ [CLP]}$$

Adicionalmente, se consideraron algunos costos extras para los equipos en base a los factores y criterios encontrados en bibliografía.

Tabla 38. Factor de aumento en el precio de equipo sin instalar [57].

Equipo	Costo instalación	Costo Instrumentación	Cañerías instaladas	Instalación eléctrica	Costo edificación	Costo pavimentación	Costo por inst. auxiliares
Estanque	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
Tanque agitado	0,39	0,13	0,31	0,1	0,29	0,1	0,55
	0,39	0,13	0,31	0,1	0,29	0,1	0,55
	0,39	0,13	0,31	0,1	0,29	0,1	0,55
	0,39	0,13	0,31	0,1	0,29	0,1	0,55
Ensacador	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
Tornillo sinfín	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
Tolvas	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
Mezclador doble conos	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4
	0,45	0,09	0	0,1	0,25	0,13	0,4

A modo de ejemplo, se calcula el costo total de un estanque de 500 [m³] como:

$$CT_{500} = 383.298[USD] \cdot 0,45 + 0,09 + 0 + 0,1 + 0,25 + 0,13 + 0,4 + 1 = 927.581[USD]$$

Los valores obtenidos a partir de la bibliografía [55] en la Tabla 37, fueron actualizados a la fecha considerando los siguientes datos:

$$\text{CEPCI (1985)} = 325,0 \text{ [55]}$$

$$\text{CEPCI (2014)} = 580,2 \text{ [58]}$$

Mediante la siguiente ecuación:

$$CT_{t2} = CT_{t1} \frac{I_{t2}}{I_{t1}}$$

Donde CT_t es el costo del equipo en el periodo t e I_t es el índice en el periodo t.

2. Costos de terreno

Tabla 39. Precios de terrenos.

Ciudad	Área [m^2]	Precio [UF]	Relación [UF/ m^2]	Precio [CLP]	Referencia
Calama	10.000	22.943	2,3	565.019.555	[59]
	56.400	166.483	3,0	4.100.000.000	[60]
	5.100	11.735	2,3	289.000.000	[61]
	10.000	44.666	4,5	1.100.000.000	[62]
	5.100	14.212	2,8	350.000.000	[63]
	5.000	6.091	1,2	150.000.000	[64]

A partir de la Tabla 39 se obtuvo el precio promedio por metro cuadrado. Para obtener el precio del terreno, se multiplico este promedio con el área calculada en el layout (ver Figura 27).

3. Acondicionamiento del terreno [65]

Tabla 40. Costos asociados a la limpieza del terreno.

	Valor por área [HH/acre]	Área [acre]	Horas Hombre	Valor HH [USD/HH]	Costo total [USD]
Costo de limpieza	40	9,88	395,2	2,5	988

Tabla 41. Costos asociados a la preparación del terreno.

	Valor por área		Área [acres]	Valor		Valor/unidad		Costo [USD]
Material relleno	532	[yd^3 /acre]	9,88	5.256	[yd^3]	22,94	[USD/ yd^3]	120.576
Horas hombre	5	[HH/acre]	9,88	49,4	[HH]	2,5	[USD/HH]	124
Maquinaria	9400	[USD/acre]	9,88	92.872	[USD]	-	-	92.872
Costo total								213.572

Tabla 42. Costos asociados a cercar el terreno.

	Valor por área		Longitud [ft]	Valor		Valor [USD/HH]	Costo [USD]
Cierre perimetral	15,5	[USD/ft]	2.707	41.959	[USD]	-	41.959
MH cierre perimetral	0,35	[HH/ft]	2.707	947	[HH]	2,5	2.369
Costo total							44.327

4. Costos de edificaciones

Tabla 43. Costos de construir oficinas, laboratorio, bodegas y otros [66].

Emplazamiento	Cantidad [m ²]	Costo unitario [USD/m ²]	Costo total [USD]
Bodega	16.917	60	1.015.020
Oficinas y laboratorios	4.936	10	49.360
Implementación oficinas	4.936	6	29.616
TOTAL			1.093.996

27. Las áreas de los emplazamientos fueron calculadas a partir del layout expuesto en la Figura

5. Costos indirectos

Tabla 44. Costos indirectos del proyecto [66].

	Factor porcentual [%]	De:	Costo [USD]
Administración de la construcción	35	Construcción y montaje	3.635.654
Servicios de la ingeniería	3	Costos directos	1.113.389
Contrato EPCM	10	Costos directos	3.711.296
Repuestos	5	Suministros	1.336.269
Asistencia proveedores en terrenos	2	Suministros	534.508
TOTAL			10.331.114

6. Otros costos

Los supuestos para estimar los otros costos fueron los siguientes:

- Costos del Dueño: Se estimaron como un 5% de la suma de costos directos e indirectos [66].
- Contingencias: Se calcularon como un 20% de la suma de costos directos e indirectos.

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 45. Otros costos asociados.

Ítem	Costo [USD]
Utilidades del contratista	2.372.204
Contingencias	9.963.255
TOTAL	12.335.459

b. Costos de operación (OPEX)

En las siguientes secciones se detallan por separado los distintos costos de operación considerados para la planta.

1. Sueldos personal contratado

Para estimar el monto a pagar mensualmente en sueldos se determinó la cantidad de empleados requeridos por la empresa, considerando la cantidad de turnos (en la empresa se realizarán turnos de 8 horas) en que se debe contar con un cargo específico. Por ejemplo, solo se tendrá un turno de personal administrativo y operarios, mientras que se debe contar con 4 turnos de guardias (3 turnos por día más uno en descanso).

Posteriormente, se definió el sueldo bruto que se le pagará a cada persona de acuerdo al cargo que ocupa dentro de la empresa. Para esto se buscaron datos de los sueldos pagados en el mercado con el fin de definir un sueldo bruto acorde a este. Cabe mencionar que por decisión personal, los empleados recibirán un sueldo bruto mínimo de \$ 300.000, que equivale a un sueldo líquido de aproximadamente \$ 240.000 (considerando un descuento del 20% entre salud y fondos de pensión).

En la Tabla 46 se detallan los sueldos del personal contratado por la empresa y en la Tabla 47 el costo monetario que conlleva. Es importante señalar que se incorporó un laboratorio con el fin de realizar controles tanto a los aditivos como a las materias primas. Esto debido a que es sabido que el MCL tiende a deteriorarse si se expone a humedad.

Tabla 46. Sueldos del personal contratado.

Cargo	N° personas primer turno	N° personas turnos siguientes	Sueldos individual [CLP]	Referencia
Gerente General	1	0	5.000.000	[67]
Secretaria G. General	1	0	450.000	[68]
Gerente de Operaciones	1	0	3.000.000	[69]
Ingeniero de Procesos	1	0	1.500.000	[69]
Prevencionista	2	0	840.000	[67]
Jefe de Producción	1	0	1.200.000	[67]
Operarios planta	14	0	300.000	-
Peonetas	8	0	300.000	-
Conductor de camiones	8	0	500.000	[69]

Cargo	N° personas primer turno	N° personas turnos siguientes	Sueldos individual [CLP]	Referencia
Control de proceso	2	0	600.000	[67]
Gerente de mantención	1	0	3.000.000	[67]
Electricista	1	0	800.000	[68]
Mecánico industrial	1	0	800.000	[68]
Jefe control de calidad	1	0	1.000.000	[67]
Laboratorista	2	0	650.000	[67]
Jefe de bodega	1	0	750.000	[67]
Operarios en bodega	4	0	300.000	-
Gerente Comercial	1	0	3.000.000	[67]
Encargado de marketing	1	0	600.000	[69]
Gerente de recursos humanos	1	0	3.000.000	[67]
RR.HH.	3	0	500.000	[69]
Secretarias	2	0	450.000	[68]
Contador	1	0	1.800.000	[67]
Enfermería	1	0	500.000	[68]
Guardias	2	6	300.000	-
Encargados de compra y venta	2	0	700.000	[68]

Tabla 47. Resumen costo de sueldos a empleados.

Total de trabajadores	70
Máximo de trabajadores en un turno	64
Total sueldo del personal contratado [CLP/mes]	48.580.000
Total sueldo del personal contratado [CLP/año]	582.960.000

A partir de la tabla anterior y otros supuestos, se determinó la superficie mínima de los distintos espacios de la empresa, los cuales se indican en la Tabla 48.

Tabla 48. Superficie de los distintos espacios de la empresa.

Emplazamiento	m ² /persona [70]	N° de personas	Área de layout [m ²]	Pisos	Referencia
Casino (comedor)	1	60	60	1	Símil a casino de colegio (Artículo 4.2.4 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), diciembre 2013).
Casino (cocina)	15	2	30	1	Símil a cocina de colegio (OGUC diciembre 2013)
Casino (bodega)			30	1	-
Edificio administrativo	7	19	133	1	Símil a oficina de colegio

Emplazamiento	m ² /persona [70]	N° de personas	Área de layout [m ²]	Pisos	Referencia
					(Artículo 4.2.4 , OGUC diciembre 2013)
Camarines	4	21	84	1	Símil a camarines de colegio (Artículo 4.2.4 , OGUC diciembre 2013). Incluyen baños de acuerdo a los Artículos 23 y 25 del Decreto 594 (2014). [71]
Zona de seguridad 1	0,25	60	15	1	Símil a área para espectadores de pie (Artículo 4.2.4 , OGUC diciembre 2013)
Zona de seguridad 2	0,25	60	15	1	Símil a área para espectadores de pie (Artículo 4.2.4 , OGUC diciembre 2013)
Enfermería	6	1	6	1	Instalación obligatoria en función del Artículo 4.14.12, OGUC diciembre 2013. Símil a área de servicio ambulatorio en Saludos (Artículo 4.2.4 , OGUC diciembre 2013)
Sala de control		2	80	1	-
Baños		60	20	1	-
Laboratorio	5	2	10	1	Símil a laboratorio de colegio (Artículo 4.2.4, OGUC diciembre 2013)

2. Costo de insumos de producción y materias primas

Tomando como referencia el balance de masa realizado durante el dimensionamiento del proceso, se estimó la cantidad de insumos requerido para cumplir con el caso base. En la Tabla 49 se presenta los costos asociados a la compra de insumos.

Tabla 49. Costos mensuales de insumos y materias primas. * Costo de una unidad. ** Unidades anuales

		Costo unitario [USD/ton]	Flujo masico [ton/año]	Costo anual [USD/año]
Materia prima	MC3	10,00	23.640	236.400
	MCL	200,00	16.625	3.325.000
	MEL	10,00	18.042	180.420
	MMC2	250,00	8.768	2.192.000
	MH	600,00	5.250	3.150.000
Insumos	agua	1,44 [72]	26250	37.816
	Maxisacos	17,86 [73]*	27.756**	495.633
	contenedor IBC	490,00 [74]*	2.989**	1.464.610

Es importante señalar que los maxisacos cotizados son capaces de transportar hasta 2 toneladas de material, mientras que los contenedores IBC pueden contener 1.000 litros de solución. El precio de las materias primas fue entregado por personal de la empresa.

3. Costos de servicios

Electricidad:

Tabla 50. Potencia utilizada por los equipos en la planta.

Equipo	kW	Uso diario [hr]	[kWh/día]	[kWh/mes]
Mezclador doble cono	64,75	4	259,00	
Mezclador de cintas	90,00	4	360,00	
Tornillos sin fin	26,52	8	212,16	
Otros (25%)	45,32	20	906,35	
TOTAL	226,59		1.737,51	502.125,3

Tabla 51. Total de costos por electricidad.

Cargo fijo [75]	1.788	[\$]
Energía base [75]	59,73	[\$/kWh]
TOTA	3.115.232	[CLP]

Agua:

El costo por el agua utilizada por el proceso ya fue determinado en la sección de materias primas e insumos, por lo que falta por determinar el agua utilizada para el consumo humano. En promedio, una persona consume entre 150 y 200 litros al día de agua para ducharse, cocinar, regar, etc. [76]. Como una persona solo permanece 8 horas en la planta, se considerará que su consumo de agua será de aproximadamente 70 litros (0,07 m³) al día, por lo que el consumo mensual será de:

$$\text{Consumo Agua} = 0,07 \frac{m^3}{\text{persona}} \cdot 70 \frac{\text{persona}}{\text{día}} \cdot 30 \frac{\text{día}}{\text{mes}} = 147 \frac{m^3}{\text{mes}}$$

Si bien en un día de operación no habrán trabajado las 70 personas (personal total contemplado), ya que hay turnos que están en descanso, se sobrestimó el personal para no subestimar este costo. Luego, considerando que el costo del agua es de 1,44 [US\$/Ton] [72] y una densidad del agua igual a 1 [Ton/m³], se tiene que el costo de agua por consumo humano es de:

$$\text{Costo Agua} = 222,6 \frac{m^3}{\text{mes}} \cdot 1 \frac{\text{ton}}{m^3} \cdot 1,44 \frac{\text{USD}}{\text{ton}} = 211,7 \frac{\text{USD}}{\text{mes}} \approx 2.540 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Como el costo es bastante bajo respecto a los costos de sueldos e insumos, este costo podría no haber sido sobrestimado, ya que la variación no afecta de manera significativa el valor final del OPEX.

Costo de Patente [77]:

El costo patente fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo patente} = \frac{5 \cdot \text{CAPEX}}{1.000} = \frac{5 \cdot 60.626.683 \text{ [USD]}}{1.000} \approx 303.134 \text{ [USD]}$$

Costo de casino [78]:

Se cotizó en la empresa Sodexo para estimar el costo asociado al servicio alimenticio de los trabajadores. Se asumió que el servicio era para 64 trabajadores (número máximo por turno), y el gasto individual se definió en \$ 100 000 mensuales. En base a lo anterior se obtuvo un costo anual aproximado de 175.000 dólares.

Mantenición:

Se definió que el costo anual en la mantención de los equipos sería un 1% del costo inicial de los equipos utilizados en planta, es decir que no se consideran las instalaciones en faena. De esta forma, el costo anual para este apartado es cercano a los 17.680 dólares.

4. Costos de transporte

Materias Primas:

Tabla 52. Datos suministrados por la empresa para el cálculo del costo en transporte.

Costo de transporte	0,11 [USD/km*Ton]
Distancia para MC3	253 [km]
Distancia para MCL	210 [km]
Distancia para MMC2	1.837 [km]
Distancia para MEL	1.680 [km]
Distancia para MH	158 [km]

Tabla 53. Costo de transportar materias primas.

Aditivo	Producción anual [Ton/año]	Costo unitario [USD/Ton]	Costo aditivos [USD/año]
1	10.500	26,65	279.799
2	10.500	174,54	1.832.639
3	10.500	85,12	893.778
4	10.500	196,26	2.060.751
5	10.500	25,47	267.383
6	10.500	112,59	1.182.143
TOTAL			6.516.491

Aditivos:

En esta sección se detalla el costo de transportar el aditivo hacia la faena Centinela, la cual se encuentra a 100 [km] (aprox.) de Calama.

Tabla 54. Costo de transporte de aditivos.

Aditivo	Producción anual [Ton/año]	Costo aditivos [USD/año]
1	10.500	115.500
2	14.220	156.420
3	10.500	115.500
4	42.325	465.575
5	10.500	115.500
6	10.500	115.500
	TOTAL	1.083.995

La diferencia en la producción de aditivo 2 y 4 se debe al porcentaje de agua que existe en estos. Ambos aditivos contienen MEL, el cual tiene un contenido de agua cercano al 51,5%. Además, el aditivo 4 se produce por vía húmeda.

En este caso también se ocupó el costo de transporte presentado en la Tabla 52.

c. Flujo de caja y análisis de sensibilidad

Desde la Tabla 55 hasta la Tabla 81, se pueden ver los flujos de cajas para todos los casos expuestos en las secciones 5.4 y 5.5.

Para calcular las depreciaciones, se consideró la “Tabla de Vida Útil de los Bienes Físicos del Activo Inmovilizado”, del Servicio de Impuestos Internos. Además, se asumió que los bienes se deprecian linealmente [79].

Tabla 55. Flujo de caja para planta multiproducto. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	5.129.873	5.530.020	11.219.367	25.609.216	43.483.535	65.239.764	77.473.044	85.867.292	97.331.297	106.410.023
Intereses	-	-9.094.002	-8.646.104	-8.131.021	-7.538.675	-6.857.478	-6.074.101	-5.173.217	-4.137.201	-2.945.782	-1.575.651
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-1.639.243	-1.671.816	-3.208.892	-6.929.597	-11.131.702	-15.800.619	-17.751.594	-18.613.992	-19.961.321	-20.646.399
Depreciaciones	-	-8.124.787	-8.004.616	-7.764.273	-3.328.618	-3.208.446	-590.966	-495.171	-375.000	-435.085	-555.257
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-13.728.160	-26.520.676	-34.405.494	-26.593.169	-4.307.260	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-13.728.160	-26.520.676	-34.405.494	-26.593.169	-4.307.260	38.466.818	54.053.061	62.741.100	73.989.108	83.632.716
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-7.693.364	-10.810.612	-12.548.220	-14.797.822	-16.726.543
Utilidades después de impuestos	-	-13.728.160	-26.520.676	-34.405.494	-26.593.169	-4.307.260	30.773.454	43.242.449	50.192.880	59.191.287	66.906.173
Depreciaciones	-	8.124.787	8.004.616	7.764.273	3.328.618	3.208.446	590.966	495.171	375.000	435.085	555.257
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	13.728.160	26.520.676	34.405.494	26.593.169	4.307.260	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-5.603.373	-4.787.900	-120.545	11.140.943	25.494.355	35.671.680	43.737.620	50.567.879	59.626.372	67.461.430
Inversión	-50.946.793	-	-	-100.984	-	-	-252.461	-	-252.461	-100.984	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.709.227
IVA de la inversión (-)	-9.679.891	-	-	-19.187	-	-	-47.968	-	-47.968	-19.187	-
Recuperación IVA de la inversión	-	9.679.891	-	-	19.187	-	-	47.968	-	47.968	19.187
Capital de trabajo	-5.032.888	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.032.888
Préstamo	60.626.683	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-2.985.989	-3.433.888	-3.948.971	-4.541.316	-5.222.514	-6.005.891	-6.906.774	-7.942.791	-9.134.209	-10.504.341
Flujo de capitales	-5.032.888	6.693.901	-3.433.888	-4.069.142	-4.522.129	-5.222.514	-6.306.319	-6.858.807	-8.243.219	-9.206.413	-3.743.039
Flujo de caja	-5.032.888	1.090.529	-8.221.787	-4.189.687	6.618.814	20.271.841	29.365.361	36.878.813	42.324.660	50.419.959	63.718.391

Tabla 56. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 2. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-1.132.651	-1.076.865	-1.012.712	-938.936	-854.093	-756.524	-644.320	-515.285	-366.895	-196.246
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-267.211	-272.521	-523.079	-1.129.587	-1.814.569	-2.575.645	-2.893.671	-3.034.250	-3.253.877	-3.365.551
Depreciaciones	-	-1.071.096	-1.054.377	-1.020.940	-442.352	-425.634	-83.361	-69.964	-53.245	-61.604	-78.323
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.615.979	-3.098.073	-3.784.910	-2.027.583	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.615.979	-3.098.073	-3.784.910	-2.027.583	2.125.378	7.457.764	9.304.219	10.708.435	12.539.507	14.094.884
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-425.076	-1.491.553	-1.860.844	-2.141.687	-2.507.901	-2.818.977
Utilidades después de impuestos	-	-1.615.979	-3.098.073	-3.784.910	-2.027.583	1.700.302	5.966.211	7.443.375	8.566.748	10.031.605	11.275.907
Depreciaciones	-	1.071.096	1.054.377	1.020.940	442.352	425.634	83.361	69.964	53.245	61.604	78.323
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.615.979	3.098.073	3.784.910	2.027.583	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-544.883	-427.717	334.104	2.199.679	4.153.518	6.049.572	7.513.339	8.619.993	10.093.210	11.354.230
Inversión	-6.345.382	-	-	-14.049	-	-	-35.123	-	-35.123	-14.049	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	244.237
IVA de la inversión (-)	-1.205.623	-	-	-2.669	-	-	-6.673	-	-6.673	-2.669	-
Recuperación IVA de la inversión	-	1.205.623	-	-	2.669	-	-	6.673	-	6.673	2.669
Capital de trabajo	-820.406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	820.406
Préstamo	7.551.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-371.903	-427.688	-491.841	-565.617	-650.460	-748.029	-860.233	-989.268	-1.137.658	-1.308.307
Flujo de capitales	-820.406	833.720	-427.688	-508.560	-562.948	-650.460	-789.825	-853.560	-1.031.065	-1.147.704	-240.994
Flujo de caja	-820.406	288.837	-855.405	-174.456	1.636.731	3.503.058	5.259.747	6.659.779	7.588.929	8.945.506	11.113.236

Tabla 57. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 4. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-4.785.375	-4.549.685	-4.278.642	-3.966.943	-3.608.488	-3.196.266	-2.722.210	-2.177.045	-1.550.107	-829.127
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-659.490	-672.594	-1.290.981	-2.787.872	-4.478.436	-6.356.805	-7.141.709	-7.488.664	-8.030.713	-8.306.329
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-9.074.490	-17.845.193	-25.985.990	-30.307.565	-32.967.684	-31.961.032	-29.079.476	-24.586.157	-18.104.536
Utilidades antes de impuestos	-	-9.074.490	-17.845.193	-25.985.990	-30.307.565	-32.967.684	-31.961.032	-29.079.476	-24.586.157	-18.104.536	-9.678.943
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-	-9.074.490	-17.845.193	-25.985.990	-30.307.565	-32.967.684	-31.961.032	-29.079.476	-24.586.157	-18.104.536	-9.678.943
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	9.074.490	17.845.193	25.985.990	30.307.565	32.967.684	31.961.032	29.079.476	24.586.157	18.104.536
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-4.589.886	-4.300.609	-3.699.728	-2.486.612	-839.668	1.320.223	3.048.255	4.645.506	6.641.064	8.599.548
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.024.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.024.800
Préstamo	31.902.497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.571.264	-1.806.953	-2.077.996	-2.389.696	-2.748.150	-3.160.373	-3.634.429	-4.179.593	-4.806.532	-5.527.512
Flujo de capitales	-2.024.800	3.522.412	-1.806.953	-2.092.508	-2.387.379	-2.748.150	-3.196.652	-3.628.636	-4.215.872	-4.815.251	-2.652.574
Flujo de caja	-2.024.800	-1.067.473	-6.107.563	-5.792.237	-4.873.990	-3.587.818	-1.876.429	-580.381	429.634	1.825.813	5.946.974

Tabla 58. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-799.527	-760.149	-714.864	-662.786	-602.896	-534.023	-454.819	-363.735	-258.988	-138.528
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-183.819	-187.472	-359.834	-777.062	-1.248.272	-1.771.828	-1.990.604	-2.087.310	-2.238.395	-2.315.218
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.063.429	-2.009.719	-2.105.419	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.063.429	-2.009.719	-2.105.419	348.391	5.036.264	8.512.833	10.412.655	11.820.797	13.677.766	15.219.802
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-69.678	-1.007.253	-1.702.567	-2.082.531	-2.364.159	-2.735.553	-3.043.960
Utilidades después de impuestos	-	-1.063.429	-2.009.719	-2.105.419	278.713	4.029.011	6.810.267	8.330.124	9.456.638	10.942.213	12.175.842
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.063.429	2.009.719	2.105.419	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-128.368	-25.951	795.196	2.758.677	4.388.835	6.864.876	8.384.219	9.496.011	10.988.947	12.237.298
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-564.371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564.371
Préstamo	5.330.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-262.522	-301.901	-347.186	-399.264	-459.153	-528.026	-607.230	-698.315	-803.062	-923.522
Flujo de capitales	-564.371	588.515	-301.901	-361.908	-396.913	-459.153	-564.831	-601.354	-735.120	-811.908	-186.810
Flujo de caja	-564.371	460.147	-327.852	433.288	2.361.763	3.929.681	6.300.044	7.782.865	8.760.891	10.177.039	12.050.488

Tabla 59. Flujo de caja cuando sólo se produce el aditivo 6. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-799.527	-760.149	-714.864	-662.786	-602.896	-534.023	-454.819	-363.735	-258.988	-138.528
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-361.123	-368.299	-706.915	-1.526.581	-2.452.299	-3.480.856	-3.910.653	-4.100.638	-4.397.453	-4.548.375
Depreciaciones	-	-626.949	-613.128	-585.486	-261.909	-248.088	-54.609	-52.518	-38.697	-45.608	-59.429
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-932.620	-1.752.526	-1.889.896	-72.970	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-932.620	-1.752.526	-1.889.896	-72.970	3.871.002	6.803.806	8.494.183	9.808.145	11.519.834	12.988.672
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-774.200	-1.360.761	-1.698.837	-1.961.629	-2.303.967	-2.597.734
Utilidades después de impuestos	-	-932.620	-1.752.526	-1.889.896	-72.970	3.096.801	5.443.045	6.795.347	7.846.516	9.215.868	10.390.938
Depreciaciones	-	626.949	613.128	585.486	261.909	248.088	54.609	52.518	38.697	45.608	59.429
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	932.620	1.752.526	1.889.896	72.970	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-305.672	-206.778	448.116	2.078.835	3.417.860	5.497.654	6.847.865	7.885.213	9.261.475	10.450.366
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-29.035	-	-29.035	-11.614	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-1.449	-	-	-5.517	-	-5.517	-2.207	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	1.449	-	-	5.517	-	5.517	2.207
Capital de trabajo	-1.108.739	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.108.739
Préstamo	5.330.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-262.522	-301.901	-347.186	-399.264	-459.153	-528.026	-607.230	-698.315	-803.062	-923.522
Flujo de capitales	-1.108.739	588.515	-301.901	-361.007	-397.814	-459.153	-562.579	-601.714	-732.867	-811.366	357.414
Flujo de caja	-1.108.739	282.843	-508.679	87.109	1.681.021	2.958.706	4.935.075	6.246.151	7.152.346	8.450.109	10.807.780

Tabla 60. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-869.948	-827.101	-777.827	-721.162	-655.998	-581.059	-494.879	-395.772	-281.799	-150.729
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-184.010	-187.667	-360.208	-777.870	-1.249.570	-1.773.671	-1.992.674	-2.089.481	-2.240.723	-2.317.625
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.134.040	-2.147.477	-2.306.514	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.134.040	-2.147.477	-2.306.514	88.111	4.981.865	8.463.956	10.370.526	11.786.590	13.652.627	15.205.193
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-17.622	-996.373	-1.692.791	-2.074.105	-2.357.318	-2.730.525	-3.041.039
Utilidades después de impuestos	-	-1.134.040	-2.147.477	-2.306.514	70.489	3.985.492	6.771.164	8.296.421	9.429.272	10.922.102	12.164.155
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.134.040	2.147.477	2.306.514	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-198.979	-93.098	731.859	2.751.548	4.345.315	6.825.774	8.350.516	9.468.645	10.968.836	12.225.611
Inversión	-4.873.656	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-925.995	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	925.995	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-564.958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564.958
Préstamo	5.799.651	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-285.645	-328.491	-377.765	-434.430	-499.594	-574.534	-660.714	-759.821	-873.794	-1.004.863
Flujo de capitales	-564.958	640.350	-328.491	-392.487	-432.079	-499.594	-611.338	-654.837	-796.625	-882.639	-267.564
Flujo de caja	-564.958	441.371	-421.589	339.372	2.319.469	3.845.721	6.214.435	7.695.679	8.672.020	10.086.197	11.958.047

Tabla 61. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-729.107	-693.197	-651.901	-604.410	-549.795	-486.988	-414.760	-331.698	-236.177	-126.327
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-183.628	-187.277	-359.460	-776.254	-1.246.974	-1.769.986	-1.988.534	-2.085.140	-2.236.068	-2.312.810
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-992.818	-1.871.961	-1.904.323	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-992.818	-1.871.961	-1.904.323	608.671	5.090.664	8.561.711	10.454.785	11.855.004	13.702.904	15.234.410
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-121.734	-1.018.133	-1.712.342	-2.090.957	-2.371.001	-2.740.581	-3.046.882
Utilidades después de impuestos	-	-992.818	-1.871.961	-1.904.323	486.936	4.072.531	6.849.369	8.363.828	9.484.003	10.962.323	12.187.528
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	992.818	1.871.961	1.904.323	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-57.756	41.196	858.534	2.765.805	4.432.355	6.903.978	8.417.923	9.523.376	11.009.057	12.248.984
Inversión	-4.084.634	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-776.081	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	776.081	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-563.784	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	563.784
Préstamo	4.860.715	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-239.400	-275.310	-316.607	-364.098	-418.712	-481.519	-553.747	-636.809	-732.331	-842.180
Flujo de capitales	-563.784	536.680	-275.310	-331.329	-361.747	-418.712	-518.324	-547.871	-673.614	-741.176	-106.055
Flujo de caja	-563.784	478.924	-234.114	527.205	2.404.058	4.013.642	6.385.654	7.870.052	8.849.762	10.267.881	12.142.929

Tabla 62. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-799.527	-760.149	-714.864	-662.786	-602.896	-534.023	-454.819	-363.735	-258.988	-138.528
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-203.282	-207.321	-397.933	-859.337	-1.380.438	-1.959.429	-2.201.369	-2.308.314	-2.475.396	-2.560.352
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.082.892	-2.049.032	-2.182.830	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.082.892	-2.049.032	-2.182.830	188.704	4.904.097	8.325.233	10.201.891	11.599.793	13.440.765	14.974.667
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-37.741	-980.819	-1.665.047	-2.040.378	-2.319.959	-2.688.153	-2.994.933
Utilidades después de impuestos	-	-1.082.892	-2.049.032	-2.182.830	150.963	3.923.278	6.660.186	8.161.513	9.279.834	10.752.612	11.979.734
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.082.892	2.049.032	2.182.830	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-147.831	-45.800	757.097	2.708.339	4.283.102	6.714.795	8.215.608	9.319.208	10.799.346	12.041.190
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-624.127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	624.127
Préstamo	5.330.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-262.522	-301.901	-347.186	-399.264	-459.153	-528.026	-607.230	-698.315	-803.062	-923.522
Flujo de capitales	-624.127	588.515	-301.901	-361.908	-396.913	-459.153	-564.831	-601.354	-735.120	-811.908	-127.054
Flujo de caja	-624.127	440.685	-347.701	395.189	2.311.426	3.823.948	6.149.964	7.614.254	8.584.088	9.987.438	11.914.136

Tabla 63. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-799.527	-760.149	-714.864	-662.786	-602.896	-534.023	-454.819	-363.735	-258.988	-138.528
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-164.356	-167.622	-321.735	-694.787	-1.116.105	-1.584.228	-1.779.839	-1.866.306	-2.001.395	-2.070.083
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.043.966	-1.970.407	-2.028.007	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.043.966	-1.970.407	-2.028.007	508.077	5.168.431	8.700.434	10.623.420	12.041.801	13.914.767	15.464.937
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-101.615	-1.033.686	-1.740.087	-2.124.684	-2.408.360	-2.782.953	-3.092.987
Utilidades después de impuestos	-	-1.043.966	-1.970.407	-2.028.007	406.462	4.134.745	6.960.347	8.498.736	9.633.441	11.131.813	12.371.949
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.043.966	1.970.407	2.028.007	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-108.905	-6.101	833.296	2.809.015	4.494.568	7.014.956	8.552.831	9.672.814	11.178.547	12.433.405
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-504.616	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	504.616
Préstamo	5.330.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-262.522	-301.901	-347.186	-399.264	-459.153	-528.026	-607.230	-698.315	-803.062	-923.522
Flujo de capitales	-504.616	588.515	-301.901	-361.908	-396.913	-459.153	-564.831	-601.354	-735.120	-811.908	-246.565
Flujo de caja	-504.616	479.610	-308.002	471.388	2.412.101	4.035.415	6.450.125	7.951.477	8.937.694	10.366.640	12.186.840

Tabla 64. Flujo de caja cuando se transporta el aditivo 5 a Teniente. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-799.527	-760.149	-714.864	-662.786	-602.896	-534.023	-454.819	-363.735	-258.988	-138.528
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-332.414	-339.020	-650.716	-1.405.221	-2.257.346	-3.204.135	-3.599.764	-3.774.646	-4.047.864	-4.186.788
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.212.024	-2.309.863	-2.696.444	-870.794	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.212.024	-2.309.863	-2.696.444	-870.794	3.156.395	7.080.527	8.803.495	10.133.462	11.868.297	13.348.231
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-631.279	-1.416.105	-1.760.699	-2.026.692	-2.373.659	-2.669.646
Utilidades después de impuestos	-	-1.212.024	-2.309.863	-2.696.444	-870.794	2.525.116	5.664.421	7.042.796	8.106.769	9.494.637	10.678.585
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.212.024	2.309.863	2.696.444	870.794	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-276.963	-177.499	504.314	2.200.196	3.755.734	5.719.030	7.096.891	8.146.143	9.541.372	10.740.041
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-1.020.596	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.020.596
Préstamo	5.330.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-262.522	-301.901	-347.186	-399.264	-459.153	-528.026	-607.230	-698.315	-803.062	-923.522
Flujo de capitales	-1.020.596	588.515	-301.901	-361.908	-396.913	-459.153	-564.831	-601.354	-735.120	-811.908	269.415
Flujo de caja	-1.020.596	311.552	-479.400	142.406	1.803.282	3.296.580	5.154.199	6.495.537	7.411.023	8.729.464	11.009.457

Tabla 65. Flujo de caja cuando hay un 75% de préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-599.646	-570.112	-536.148	-497.089	-452.172	-400.518	-341.115	-272.801	-194.241	-103.896
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-183.819	-187.472	-359.834	-777.062	-1.248.272	-1.771.828	-1.990.604	-2.087.310	-2.238.395	-2.315.218
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-863.547	-1.619.800	-1.536.784	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-863.547	-1.619.800	-1.536.784	1.082.722	5.186.988	8.646.339	10.526.360	11.911.731	13.742.513	15.254.434
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-216.544	-1.037.398	-1.729.268	-2.105.272	-2.382.346	-2.748.503	-3.050.887
Utilidades después de impuestos	-	-863.547	-1.619.800	-1.536.784	866.178	4.149.591	6.917.071	8.421.088	9.529.385	10.994.010	12.203.547
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	863.547	1.619.800	1.536.784	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	71.514	164.086	973.912	2.777.507	4.509.414	6.971.680	8.475.183	9.568.758	11.040.744	12.265.003
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-564.371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564.371
Préstamo	3.997.637	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-196.892	-226.426	-260.389	-299.448	-344.365	-396.020	-455.423	-523.736	-602.297	-692.641
Flujo de capitales	-1.896.917	654.146	-226.426	-275.111	-297.097	-344.365	-432.825	-449.546	-560.541	-611.142	44.071
Flujo de caja	-1.896.917	725.660	-62.339	698.801	2.480.410	4.165.049	6.538.856	8.025.637	9.008.217	10.429.602	12.309.074

Tabla 66. Flujo de caja cuando hay un 50% de préstamo bancario para el aditivo 5. Cifrasen USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-399.764	-380.075	-357.432	-331.393	-301.448	-267.012	-227.410	-181.867	-129.494	-69.264
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-183.819	-187.472	-359.834	-777.062	-1.248.272	-1.771.828	-1.990.604	-2.087.310	-2.238.395	-2.315.218
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-663.665	-1.229.881	-968.149	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-663.665	-1.229.881	-968.149	1.817.054	5.337.712	8.779.845	10.640.065	12.002.664	13.807.260	15.289.066
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-363.411	-1.067.542	-1.755.969	-2.128.013	-2.400.533	-2.761.452	-3.057.813
Utilidades después de impuestos	-	-663.665	-1.229.881	-968.149	1.453.643	4.270.170	7.023.876	8.512.052	9.602.131	11.045.808	12.231.253
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	663.665	1.229.881	968.149	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	271.396	354.124	1.152.628	2.796.337	4.629.994	7.078.485	8.566.147	9.641.505	11.092.542	12.292.709
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-564.371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564.371
Préstamo	2.665.091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-131.261	-150.950	-173.593	-199.632	-229.577	-264.013	-303.615	-349.158	-401.531	-461.761
Flujo de capitales	-3.229.462	719.776	-150.950	-188.315	-197.281	-229.577	-300.818	-297.739	-385.962	-410.377	274.951
Flujo de caja	-3.229.462	991.172	203.173	964.313	2.599.056	4.400.417	6.777.667	8.268.408	9.255.542	10.682.165	12.567.660

Tabla 67. Flujo de caja cuando hay un 25% de préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-199.882	-190.037	-178.716	-165.696	-150.724	-133.506	-113.705	-90.934	-64.747	-34.632
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-183.819	-187.472	-359.834	-777.062	-1.248.272	-1.771.828	-1.990.604	-2.087.310	-2.238.395	-2.315.218
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-463.784	-839.962	-399.513	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-463.784	-839.962	-399.513	2.551.385	5.488.436	8.913.351	10.753.770	12.093.598	13.872.006	15.323.698
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-510.277	-1.097.687	-1.782.670	-2.150.754	-2.418.720	-2.774.401	-3.064.740
Utilidades después de impuestos	-	-463.784	-839.962	-399.513	2.041.108	4.390.749	7.130.681	8.603.016	9.674.878	11.097.605	12.258.958
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	463.784	839.962	399.513	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	471.278	544.161	1.331.344	2.815.167	4.750.573	7.185.290	8.657.111	9.714.252	11.144.339	12.320.414
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-564.371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564.371
Préstamo	1.332.546	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-65.631	-75.475	-86.796	-99.816	-114.788	-132.007	-151.808	-174.579	-200.766	-230.880
Flujo de capitales	-4.562.008	785.407	-75.475	-101.518	-97.465	-114.788	-168.811	-145.931	-211.384	-209.611	505.832
Flujo de caja	-4.562.008	1.256.685	468.686	1.229.826	2.717.702	4.635.784	7.016.478	8.511.180	9.502.868	10.934.728	12.826.246

Tabla 68. Flujo de caja cuando no hay préstamo bancario para el aditivo 5. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-183.819	-187.472	-359.834	-777.062	-1.248.272	-1.771.828	-1.990.604	-2.087.310	-2.238.395	-2.315.218
Depreciaciones	-	-935.061	-920.339	-890.896	-374.546	-359.824	-54.609	-54.095	-39.373	-46.734	-61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-263.902	-450.043	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-263.902	-450.043	169.122	3.116.595	5.639.161	9.046.857	10.867.475	12.184.532	13.936.753	15.358.330
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-33.824	-623.319	-1.127.832	-1.809.371	-2.173.495	-2.436.906	-2.787.351	-3.071.666
Utilidades después de impuestos	-	-263.902	-450.043	135.297	2.493.276	4.511.328	7.237.485	8.693.980	9.747.625	11.149.403	12.286.664
Depreciaciones	-	935.061	920.339	890.896	374.546	359.824	54.609	54.095	39.373	46.734	61.456
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	263.902	450.043	-	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	671.160	734.198	1.476.236	2.867.822	4.871.152	7.292.094	8.748.075	9.786.999	11.196.137	12.348.120
Inversión	-4.479.145	-	-	-12.371	-	-	-30.928	-	-30.928	-12.371	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	169.990
IVA de la inversión (-)	-851.038	-	-	-2.351	-	-	-5.876	-	-5.876	-2.351	-
Recuperación IVA de la inversión	-	851.038	-	-	2.351	-	-	5.876	-	5.876	2.351
Capital de trabajo	-564.371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	564.371
Préstamo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capitales	-5.894.554	851.038	-	-14.722	2.351	-	-36.805	5.876	-36.805	-8.846	736.712
Flujo de caja	-5.894.554	1.522.197	734.198	1.461.514	2.870.172	4.871.152	7.255.290	8.753.951	9.750.194	11.187.291	13.084.832

Tabla 69. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 5. El aditivo se comercializa a 1.000 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-4.221.511	-4.013.593	-3.774.487	-3.499.515	-3.183.298	-2.819.648	-2.401.450	-1.920.523	-1.367.457	-731.430
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-665.673	-678.900	-1.303.085	-2.814.009	-4.520.423	-6.416.403	-7.208.666	-7.558.873	-8.106.004	-8.384.204
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-8.516.810	-16.757.726	-24.406.472	-28.286.756	-30.563.672	-29.240.000	-26.104.641	-21.425.008	-14.836.029
Utilidades antes de impuestos	-	-8.516.810	-16.757.726	-24.406.472	-28.286.756	-30.563.672	-29.240.000	-26.104.641	-21.425.008	-14.836.029	-6.390.614
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-	-8.516.810	-16.757.726	-24.406.472	-28.286.756	-30.563.672	-29.240.000	-26.104.641	-21.425.008	-14.836.029	-6.390.614
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	8.516.810	16.757.726	24.406.472	28.286.756	30.563.672	29.240.000	26.104.641	21.425.008	14.836.029
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-4.032.205	-3.770.823	-3.207.677	-2.045.322	-456.465	1.637.243	3.302.058	4.831.820	6.748.423	8.619.370
Inversión	-23.649.921	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-4.493.485	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	4.493.485	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.043.783	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.043.783
Préstamo	28.143.407	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.386.121	-1.594.039	-1.833.145	-2.108.117	-2.424.334	-2.787.984	-3.206.182	-3.687.109	-4.240.175	-4.876.202
Flujo de capitales	-2.043.783	3.107.364	-1.594.039	-1.847.657	-2.105.799	-2.424.334	-2.824.263	-3.200.389	-3.723.388	-4.248.895	-1.982.281
Flujo de caja	-2.043.783	-924.841	-5.364.862	-5.055.334	-4.151.121	-2.880.799	-1.187.020	101.669	1.108.431	2.499.528	6.637.088

Tabla 70. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 4. El aditivo se comercializa en 1.000[USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-4.785.375	-4.549.685	-4.278.642	-3.966.943	-3.608.488	-3.196.266	-2.722.210	-2.177.045	-1.550.107	-829.127
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-581.961	-593.525	-1.139.214	-2.460.132	-3.951.955	-5.609.505	-6.302.136	-6.608.303	-7.086.629	-7.329.844
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-8.996.961	-17.688.594	-25.677.625	-29.671.459	-31.805.097	-30.051.144	-26.330.015	-20.956.335	-13.530.630
Utilidades antes de impuestos	-	-8.996.961	-17.688.594	-25.677.625	-29.671.459	-31.805.097	-30.051.144	-26.330.015	-20.956.335	-13.530.630	-4.128.551
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Utilidades después de impuestos	-	-8.996.961	-17.688.594	-25.677.625	-29.671.459	-31.805.097	-30.051.144	-26.330.015	-20.956.335	-13.530.630	-4.128.551
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	8.996.961	17.688.594	25.677.625	29.671.459	31.805.097	30.051.144	26.330.015	20.956.335	13.530.630
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-4.512.356	-4.221.540	-3.547.962	-2.158.872	-313.187	2.067.524	3.887.828	5.525.867	7.585.148	9.576.033
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-1.786.766	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.786.766
Préstamo	31.902.497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.571.264	-1.806.953	-2.077.996	-2.389.696	-2.748.150	-3.160.373	-3.634.429	-4.179.593	-4.806.532	-5.527.512
Flujo de capitales	-1.786.766	3.522.412	-1.806.953	-2.092.508	-2.387.379	-2.748.150	-3.196.652	-3.628.636	-4.215.872	-4.815.251	-2.890.608
Flujo de caja	-1.786.766	-989.944	-6.028.493	-5.640.470	-4.546.251	-3.061.337	-1.129.128	259.192	1.309.995	2.769.897	6.685.425

Tabla 71. Flujo de caja para el aditivo 4, comercializándolo a 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-4.785.375	-4.549.685	-4.278.642	-3.966.943	-3.608.488	-3.196.266	-2.722.210	-2.177.045	-1.550.107	-829.127
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-659.490	-672.594	-1.290.981	-2.787.872	-4.478.436	-6.356.805	-7.141.709	-7.488.664	-8.030.713	-8.306.329
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-7.963.018	-15.535.549	-21.245.484	-20.018.395	-13.257.082	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-7.963.018	-15.535.549	-21.245.484	-20.018.395	-13.257.082	1.884.853	19.667.382	23.097.899	27.570.068	31.481.098
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-376.971	-3.933.476	-4.619.580	-5.514.014	-6.296.220
Utilidades después de impuestos	-	-7.963.018	-15.535.549	-21.245.484	-20.018.395	-13.257.082	1.507.882	15.733.906	18.478.319	22.056.055	25.184.879
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	7.963.018	15.535.549	21.245.484	20.018.395	13.257.082	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-3.478.413	-3.102.438	-1.268.866	3.062.052	8.581.764	15.078.535	15.900.605	18.630.506	22.215.498	25.358.834
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.024.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.024.800
Préstamo	31.902.497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.571.264	-1.806.953	-2.077.996	-2.389.696	-2.748.150	-3.160.373	-3.634.429	-4.179.593	-4.806.532	-5.527.512
Flujo de capitales	-2.024.800	3.522.412	-1.806.953	-2.092.508	-2.387.379	-2.748.150	-3.196.652	-3.628.636	-4.215.872	-4.815.251	-2.652.574
Flujo de caja	-2.024.800	43.999	-4.909.392	-3.361.374	674.673	5.833.614	11.881.883	12.271.969	14.414.634	17.400.247	22.706.259

Tabla 72. Flujo de caja cuando disminuye un 20% el costo de los equipos para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-4.235.616	-4.027.004	-3.787.099	-3.511.208	-3.193.934	-2.829.069	-2.409.474	-1.926.940	-1.372.026	-733.874
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-657.998	-671.072	-1.288.060	-2.781.564	-4.468.303	-6.342.423	-7.125.550	-7.471.720	-8.012.542	-8.287.535
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-7.411.768	-14.460.096	-19.675.567	-17.986.435	-10.800.435	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-7.411.768	-14.460.096	-19.675.567	-17.986.435	-10.800.435	4.723.078	19.996.277	23.364.948	27.766.320	31.595.145
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-944.616	-3.999.255	-4.672.990	-5.553.264	-6.319.029
Utilidades después de impuestos	-	-7.411.768	-14.460.096	-19.675.567	-17.986.435	-10.800.435	3.778.463	15.997.021	18.691.959	22.213.056	25.276.116
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	7.411.768	14.460.096	19.675.567	17.986.435	10.800.435	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-2.927.163	-2.578.235	-774.401	3.524.094	9.006.451	14.892.469	16.163.720	18.844.146	22.372.499	25.450.071
Inversión	-23.728.944	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-4.508.499	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	4.508.499	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.020.218	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.020.218
Préstamo	28.237.443	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.390.752	-1.599.365	-1.839.270	-2.115.160	-2.432.434	-2.797.300	-3.216.895	-3.699.429	-4.254.343	-4.892.495
Flujo de capitales	-2.020.218	3.117.747	-1.599.365	-1.853.782	-2.112.843	-2.432.434	-2.833.579	-3.211.102	-3.735.708	-4.263.062	-2.022.139
Flujo de caja	-2.020.218	190.584	-4.177.600	-2.628.183	1.411.250	6.574.017	12.058.890	12.952.618	15.108.438	18.109.436	23.427.932

Tabla 73. Flujo de caja cuando disminuye en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-4.785.375	-4.549.685	-4.278.642	-3.966.943	-3.608.488	-3.196.266	-2.722.210	-2.177.045	-1.550.107	-829.127
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-581.961	-593.525	-1.139.214	-2.460.132	-3.951.955	-5.609.505	-6.302.136	-6.608.303	-7.086.629	-7.329.844
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-7.885.489	-15.378.950	-20.937.119	-19.382.290	-12.094.495	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-7.885.489	-15.378.950	-20.937.119	-19.382.290	-12.094.495	3.794.740	20.506.956	23.978.260	28.514.152	32.457.584
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-758.948	-4.101.391	-4.795.652	-5.702.830	-6.491.517
Utilidades después de impuestos	-	-7.885.489	-15.378.950	-20.937.119	-19.382.290	-12.094.495	3.035.792	16.405.565	19.182.608	22.811.322	25.966.067
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	7.885.489	15.378.950	20.937.119	19.382.290	12.094.495	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-3.400.884	-3.023.369	-1.117.099	3.389.792	9.108.246	15.443.858	16.572.264	19.334.795	22.970.765	26.140.022
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-1.786.766	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.786.766
Préstamo	31.902.497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.571.264	-1.806.953	-2.077.996	-2.389.696	-2.748.150	-3.160.373	-3.634.429	-4.179.593	-4.806.532	-5.527.512
Flujo de capitales	-1.786.766	3.522.412	-1.806.953	-2.092.508	-2.387.379	-2.748.150	-3.196.652	-3.628.636	-4.215.872	-4.815.251	-2.890.608
Flujo de caja	-1.786.766	121.528	-4.830.322	-3.209.607	1.002.413	6.360.095	12.247.206	12.943.627	15.118.923	18.155.514	23.249.414

Tabla 74. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de las materias primas para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-4.785.375	-4.549.685	-4.278.642	-3.966.943	-3.608.488	-3.196.266	-2.722.210	-2.177.045	-1.550.107	-829.127
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-737.019	-751.664	-1.442.748	-3.115.612	-5.004.917	-7.104.106	-7.981.283	-8.369.025	-8.974.797	-9.282.814
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-8.040.547	-15.692.148	-21.553.850	-20.654.500	-14.419.668	-25.035	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-8.040.547	-15.692.148	-21.553.850	-20.654.500	-14.419.668	-25.035	18.802.774	22.217.538	26.625.984	30.504.613
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-3.760.555	-4.443.508	-5.325.197	-6.100.923
Utilidades después de impuestos	-	-8.040.547	-15.692.148	-21.553.850	-20.654.500	-14.419.668	-25.035	15.042.219	17.774.030	21.300.787	24.403.691
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	8.040.547	15.692.148	21.553.850	20.654.500	14.419.668	25.035	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-3.555.942	-3.181.508	-1.420.632	2.734.312	8.055.283	14.708.204	15.233.953	17.926.217	21.460.231	24.577.645
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.262.833	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.262.833
Préstamo	31.902.497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.571.264	-1.806.953	-2.077.996	-2.389.696	-2.748.150	-3.160.373	-3.634.429	-4.179.593	-4.806.532	-5.527.512
Flujo de capitales	-2.262.833	3.522.412	-1.806.953	-2.092.508	-2.387.379	-2.748.150	-3.196.652	-3.628.636	-4.215.872	-4.815.251	-2.414.541
Flujo de caja	-2.262.833	-33.530	-4.988.461	-3.513.140	346.933	5.307.133	11.511.552	11.605.317	13.710.345	16.644.979	22.163.105

Tabla 75. Flujo de caja cuando aumenta en un 20% el costo de los equipos para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-5.335.133	-5.072.366	-4.770.185	-4.422.677	-4.023.042	-3.563.462	-3.034.945	-2.427.151	-1.728.187	-924.379
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-660.982	-674.116	-1.293.902	-2.794.180	-4.488.569	-6.371.188	-7.157.868	-7.505.608	-8.048.883	-8.325.123
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-8.514.268	-16.611.003	-22.815.402	-22.050.354	-15.713.728	-953.373	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-8.514.268	-16.611.003	-22.815.402	-22.050.354	-15.713.728	-953.373	18.385.115	22.830.850	27.373.817	31.367.052
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-3.677.023	-4.566.170	-5.474.763	-6.273.410
Utilidades después de impuestos	-	-8.514.268	-16.611.003	-22.815.402	-22.050.354	-15.713.728	-953.373	14.708.092	18.264.680	21.899.054	25.093.642
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	8.514.268	16.611.003	22.815.402	22.050.354	15.713.728	953.373	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-4.029.663	-3.626.641	-1.763.330	2.600.010	8.157.077	15.073.926	15.828.164	18.416.867	22.058.497	25.267.596
Inversión	-29.888.698	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.678.853	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.678.853	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.029.381	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.029.381
Préstamo	35.567.551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.751.775	-2.014.542	-2.316.723	-2.664.231	-3.063.866	-3.523.446	-4.051.963	-4.659.757	-5.358.720	-6.162.529
Flujo de capitales	-2.029.381	3.927.077	-2.014.542	-2.331.235	-2.661.914	-3.063.866	-3.559.725	-4.046.170	-4.696.036	-5.367.440	-3.283.010
Flujo de caja	-2.029.381	-102.586	-5.641.183	-4.094.564	-61.904	5.093.212	11.514.201	11.781.994	13.720.831	16.691.057	21.984.586

Tabla 76. Flujo de caja cuando se transporta el aditivo 4 a Teniente. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-4.785.375	-4.549.685	-4.278.642	-3.966.943	-3.608.488	-3.196.266	-2.722.210	-2.177.045	-1.550.107	-829.127
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-1.258.470	-1.283.477	-2.463.513	-5.319.952	-8.545.969	-12.130.365	-13.628.156	-14.290.232	-15.324.596	-15.850.540
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-8.561.998	-16.745.413	-23.627.879	-24.932.871	-22.239.090	-12.870.715	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-8.561.998	-16.745.413	-23.627.879	-24.932.871	-22.239.090	-12.870.715	310.220	16.296.331	20.276.185	23.936.887
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-	-62.044	-3.259.266	-4.055.237	-4.787.377
Utilidades después de impuestos	-	-8.561.998	-16.745.413	-23.627.879	-24.932.871	-22.239.090	-12.870.715	248.176	13.037.065	16.220.948	19.149.510
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	8.561.998	16.745.413	23.627.879	24.932.871	22.239.090	12.870.715	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-4.077.394	-3.713.321	-2.441.397	529.971	4.514.231	9.681.946	13.285.590	13.189.252	16.380.391	19.323.465
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-3.863.821	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.863.821
Préstamo	31.902.497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.571.264	-1.806.953	-2.077.996	-2.389.696	-2.748.150	-3.160.373	-3.634.429	-4.179.593	-4.806.532	-5.527.512
Flujo de capitales	-3.863.821	3.522.412	-1.806.953	-2.092.508	-2.387.379	-2.748.150	-3.196.652	-3.628.636	-4.215.872	-4.815.251	-813.553
Flujo de caja	-3.863.821	-554.982	-5.520.274	-4.533.905	-1.857.408	1.766.081	6.485.294	9.656.954	8.973.380	11.565.140	18.509.911

Tabla 77. Flujo de caja cuando se tiene un 75% de préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300[USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-3.589.031	-3.412.264	-3.208.981	-2.975.207	-2.706.366	-2.397.199	-2.041.657	-1.632.784	-1.162.580	-621.845
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-659.490	-672.594	-1.290.981	-2.787.872	-4.478.436	-6.356.805	-7.141.709	-7.488.664	-8.030.713	-8.306.329
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-6.766.674	-13.201.784	-17.842.059	-15.623.234	-7.959.799	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-6.766.674	-13.201.784	-17.842.059	-15.623.234	-7.959.799	7.981.202	20.347.935	23.642.160	27.957.595	31.688.380
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-1.596.240	-4.069.587	-4.728.432	-5.591.519	-6.337.676
Utilidades después de impuestos	-	-6.766.674	-13.201.784	-17.842.059	-15.623.234	-7.959.799	6.384.962	16.278.348	18.913.728	22.366.076	25.350.704
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	6.766.674	13.201.784	17.842.059	15.623.234	7.959.799	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-2.282.070	-1.965.017	-199.205	4.053.787	9.483.886	14.658.331	16.445.047	19.065.916	22.525.519	25.524.659
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.024.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.024.800
Préstamo	23.926.873	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-1.178.448	-1.355.215	-1.558.497	-1.792.272	-2.061.113	-2.370.280	-2.725.821	-3.134.695	-3.604.899	-4.145.634
Flujo de capitales	-10.000.424	3.915.228	-1.355.215	-1.573.009	-1.789.955	-2.061.113	-2.406.559	-2.720.029	-3.170.974	-3.613.618	-1.270.697
Flujo de caja	-10.000.424	1.633.159	-3.320.232	-1.772.214	2.263.833	7.422.774	12.251.772	13.725.018	15.894.941	18.911.901	24.253.962

Tabla 78. Flujo de caja cuando se tiene un 50% de préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo en 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-2.392.687	-2.274.842	-2.139.321	-1.983.471	-1.804.244	-1.598.133	-1.361.105	-1.088.523	-775.053	-414.563
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-659.490	-672.594	-1.290.981	-2.787.872	-4.478.436	-6.356.805	-7.141.709	-7.488.664	-8.030.713	-8.306.329
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-5.570.331	-10.868.019	-14.438.633	-11.228.073	-2.662.515	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-5.570.331	-10.868.019	-14.438.633	-11.228.073	-2.662.515	14.077.552	21.028.487	24.186.422	28.345.122	31.895.662
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-	-2.815.510	-4.205.697	-4.837.284	-5.669.024	-6.379.132
Utilidades después de impuestos	-	-5.570.331	-10.868.019	-14.438.633	-11.228.073	-2.662.515	11.262.041	16.822.790	19.349.137	22.676.097	25.516.529
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	5.570.331	10.868.019	14.438.633	11.228.073	2.662.515	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-1.085.726	-827.596	870.455	5.045.523	10.386.008	14.238.128	16.989.489	19.501.325	22.835.540	25.690.484
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.024.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.024.800
Préstamo	15.951.249	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-785.632	-903.477	-1.038.998	-1.194.848	-1.374.075	-1.580.186	-1.817.214	-2.089.796	-2.403.266	-2.763.756
Flujo de capitales	-17.976.048	4.308.044	-903.477	-1.053.510	-1.192.531	-1.374.075	-1.616.466	-1.811.422	-2.126.076	-2.411.985	111.181
Flujo de caja	-17.976.048	3.222.318	-1.731.073	-183.054	3.852.992	9.011.933	12.621.662	15.178.067	17.375.249	20.423.555	25.801.666

Tabla 79. Flujo de caja cuando se tiene un 25% de préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo a 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-1.196.344	-1.137.421	-1.069.660	-991.736	-902.122	-799.066	-680.552	-544.261	-387.527	-207.282
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-659.490	-672.594	-1.290.981	-2.787.872	-4.478.436	-6.356.805	-7.141.709	-7.488.664	-8.030.713	-8.306.329
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-4.373.987	-8.534.255	-11.035.208	-6.832.912	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-4.373.987	-8.534.255	-11.035.208	-6.832.912	2.634.768	17.539.134	21.709.039	24.730.683	28.732.648	32.102.943
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-526.954	-3.507.827	-4.341.808	-4.946.137	-5.746.530	-6.420.589
Utilidades después de impuestos	-	-4.373.987	-8.534.255	-11.035.208	-6.832.912	2.107.814	14.031.307	17.367.232	19.784.546	22.986.119	25.682.355
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	4.373.987	8.534.255	11.035.208	6.832.912	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	110.618	309.825	1.940.116	6.037.259	10.761.177	14.344.878	17.533.931	19.936.734	23.145.562	25.856.310
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.024.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.024.800
Préstamo	7.975.624	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-392.816	-451.738	-519.499	-597.424	-687.038	-790.093	-908.607	-1.044.898	-1.201.633	-1.381.878
Flujo de capitales	-25.951.672	4.700.860	-451.738	-534.011	-595.107	-687.038	-826.373	-902.815	-1.081.178	-1.210.352	1.493.059
Flujo de caja	-25.951.672	4.811.478	-141.913	1.406.105	5.442.152	10.074.139	13.518.505	16.631.116	18.855.556	21.935.209	27.349.369

Tabla 80. Flujo de caja cuando no hay préstamo bancario para el aditivo 4. Se comercializa el aditivo a 2.300 [USD/Ton]. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	1.966.451	2.119.841	4.300.758	9.816.866	16.668.688	25.008.576	29.698.000	32.915.795	37.310.331	40.790.509
Intereses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-659.490	-672.594	-1.290.981	-2.787.872	-4.478.436	-6.356.805	-7.141.709	-7.488.664	-8.030.713	-8.306.329
Depreciaciones	-	-4.484.605	-4.470.093	-4.441.069	-1.834.963	-1.820.451	-313.571	-166.699	-152.187	-159.443	-173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-3.177.643	-6.200.490	-7.631.783	-2.437.751	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-3.177.643	-6.200.490	-7.631.783	-2.437.751	7.932.051	18.338.200	22.389.592	25.274.944	29.120.175	32.310.225
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-1.586.410	-3.667.640	-4.477.918	-5.054.989	-5.824.035	-6.462.045
Utilidades después de impuestos	-	-3.177.643	-6.200.490	-7.631.783	-2.437.751	6.345.640	14.670.560	17.911.673	20.219.956	23.296.140	25.848.180
Depreciaciones	-	4.484.605	4.470.093	4.441.069	1.834.963	1.820.451	313.571	166.699	152.187	159.443	173.955
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	3.177.643	6.200.490	7.631.783	2.437.751	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	1.306.961	1.447.247	3.009.776	7.028.994	10.603.842	14.984.131	18.078.372	20.372.143	23.455.583	26.022.135
Inversión	-26.808.821	-	-	-12.195	-	-	-30.487	-	-30.487	-12.195	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	847.821
IVA de la inversión (-)	-5.093.676	-	-	-2.317	-	-	-5.793	-	-5.793	-2.317	-
Recuperación IVA de la inversión	-	5.093.676	-	-	2.317	-	-	5.793	-	5.793	2.317
Capital de trabajo	-2.024.800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.024.800
Préstamo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo de capitales	-33.927.297	5.093.676	-	-14.512	2.317	-	-36.279	5.793	-36.279	-8.719	2.874.937
Flujo de caja	-33.927.297	6.400.637	1.447.247	2.995.265	7.031.311	10.603.842	14.947.852	18.084.165	20.335.863	23.446.864	28.897.072

Tabla 81. Flujo de caja cuando se producen los aditivos 2, 5 y 6, en un 40%, 25% y 35%, respectivamente. Cifras en USD.

Ítem	Periodos										
	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	-	854.979	921.670	1.869.895	4.268.203	7.247.256	10.873.294	12.912.174	14.311.215	16.221.883	17.735.004
Intereses	-	-933.000	-887.048	-834.203	-773.431	-703.544	-623.173	-530.747	-424.457	-302.223	-161.654
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Depreciaciones	-	-1.581.163	-1.561.134	-1.491.034	-751.758	-731.730	-295.483	-207.528	-187.500	-167.471	-187.500
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	-1.659.184	-3.185.696	-3.641.038	-898.025	-	-	-	-	-
Utilidades antes de impuestos	-	-1.659.184	-3.185.696	-3.641.038	-898.025	4.913.957	9.954.638	12.173.899	13.699.259	15.752.189	17.385.850
Impuestos de primera categoría	-	-	-	-	-	-982.791	-1.990.928	-2.434.780	-2.739.852	-3.150.438	-3.477.170
Utilidades después de impuestos	-	-1.659.184	-3.185.696	-3.641.038	-898.025	3.931.166	7.963.711	9.739.119	10.959.407	12.601.751	13.908.680
Depreciaciones	-	1.581.163	1.561.134	1.491.034	751.758	731.730	295.483	207.528	187.500	167.471	187.500
Pérdidas del ejercicio anterior	-	-	1.659.184	3.185.696	3.641.038	898.025	-	-	-	-	-
Ganancias o pérdidas de capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flujo Operacional	-	-78.021	34.622	1.035.692	3.494.772	5.560.921	8.259.193	9.946.648	11.146.907	12.769.222	14.096.180
Inversión	-5.226.891	-	-	-16.831	-	-	-92.569	-	-42.077	-16.831	-
Valor residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	854.614
IVA de la inversión (-)	-993.109	-	-	-3.198	-	-	-17.588	-	-7.995	-3.198	-
Recuperación IVA de la inversión	-	993.109	-	-	3.198	-	-	17.588	-	7.995	3.198
Capital de trabajo	-855.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación capital de trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	855.000
Préstamo	6.220.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortizaciones	-	-306.348	-352.300	-405.145	-465.917	-535.804	-616.175	-708.601	-814.891	-937.125	-1.077.694
Flujo de capitales	-855.000	686.761	-352.300	-425.174	-462.719	-535.804	-726.332	-691.013	-864.963	-949.159	635.118
Flujo de caja	-855.000	608.740	-317.678	610.518	3.032.053	5.025.116	7.532.861	9.255.634	10.281.944	11.820.063	14.731.297

