

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL
QUIMICO

**AUMENTO DE HUMEDAD EN LA
CARRAGENINA USANDO NITRÓGENO EN EL
AIRE DE LA MOLIENDA**

Camilo Nicolás Angel Meza

Profesor Guía:

Javier Silva Campino

2014

A Francisca Muñoz, el amor de mi vida. Que este trabajo sea uno de los primeros ladrillos con los que construyamos nuestro futuro y que nunca nada nos separe.

Agradecimientos

El terminar mi memoria marca un hito muy importante en mi vida, el cual no habría alcanzado de no ser por las personas que en esta sección agradezco.

Agradezco a mi padre Rodrigo, por darme el la inspiración y el apoyo que hizo que nunca quisiera rendirme y que nada pareciese imposible de hacer. Gracias por siempre darme el empujón hacia delante cuando lo necesité.

A mi madre Sandra, por sacrificar tanto de su vida por hacerme el hombre que soy y por darme una espectacular crianza, sin la cual no habría llegado hasta donde estoy simplemente siendo yo mismo.

A mi hermana Javiera, quien pese a ser menor siempre me dio su consejo cuando lo necesité y quien siempre se preocupó de mi bienestar.

A mi abuela y a mi tía Vero y toda su familia, quienes me recibieron y apoyaron cuando lo necesité y gracias a eso pude tomar la oportunidad que me fue ofrecida para mi práctica, la cual derivó en todo esto.

Pero en especial agradezco a mi prometida, Francisca, sin su incondicional apoyo, compañía, confianza y sobre todo amor durante estos últimos 8 años, mi vida no sería lo que es ahora.

También agradezco a mi profesor guía, Javier Silva, quien me dio su apoyo, guía y ejemplo, todo con una gran confianza y excelente relación.

Finalmente agradezco a todas las personas de la empresa Danisco Chile S.A. (DuPont), quienes me apoyaron y brindaron ayuda cada vez que lo necesité. Especialmente agradezco a Renata Gutiérrez por la increíble confianza y apoyo, los cuales abrieron puertas para mí con las que nunca soñé.

Resumen

La carragenina es un agente gelificante y espesante ampliamente usado en la industria de los alimentos, la cual es extraída de las algas rojas. En la planta de Danisco Pargua (X región, Chile), el alga una vez que se ha transformado en carragenina se debe moler, proceso en el cual pierde gran parte de su humedad. La carragenina tiene como especificación no tener una humedad superior a un 10% en peso. Actualmente la humedad del producto terminado que se tiene es de un 6,5% en promedio, pero si se aumentase la humedad del producto en un 3% (para mantener un margen seguro del límite), se aumentaría de esta forma la eficiencia de producción.

Al observar el comportamiento de la humedad del producto terminado se notó que durante el invierno se tenían mayores valores, por lo que se optó por abordar el problema enfriando el aire que entra al sistema de molienda para simular las condiciones de invierno. Con este fin, se analizó con un balance de masa y energía si sería viable usar nitrógeno líquido para lograr la disminución de temperatura, lo cual mostró un resultado positivo. Finalmente en la planta se usó una inyección de nitrógeno líquido en la línea de entrada del aire del molino, tomando muestras del producto terminado para ver su efecto sobre la humedad. No se consideran en este trabajo otros acercamientos pues el nitrógeno es un insumo de fácil control y disponibilidad, y aumentar la humedad del producto al saturar con agua el aire presenta una limitación tanto en el control como en el aumento máximo de humedad.

Como resultado de las pruebas en planta, se logró aumentar la humedad del producto en 1,51% en el mejor de los casos, sin embargo el costo del nitrógeno líquido que toma este aumento hace que la operación no sea viable económicamente, teniendo costos de operación mayores a los beneficios que entrega el aumento de humedad. De esta forma se comprueba que la hipótesis “Es posible disminuir rentablemente las pérdidas de humedad en la molienda de la carragenina por medio de la inyección directa de nitrógeno en la línea de aire del molino” es falsa. Sin embargo, paralelamente se realizaron otros proyectos con la misma meta que tuvieron mejores resultados en el aumento de humedad.

Índice de contenidos

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Antecedentes generales.....	1
1.1.1 Reseña histórica de la empresa	1
1.1.2 Objetivos de la empresa	2
1.1.3 Carragenina ¹	3
1.1.4 Proceso de molienda utilizado en la planta.....	5
1.1.5 Tipos de carragenina producidas en la planta.....	9
1.1.6 Especificaciones del producto	10
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.2.1 Humedad histórica para carragenina gruesa.	12
1.2.2 Humedad histórica para carragenina fina.	14
1.2.3. Posibilidad de mejora.....	16
1.2.4. Relación entre la humedad del producto y la época del año.....	16
1.2.5 Método seleccionado	21
1.3 Planteamiento del proyecto.....	21
1.3.1 Hipótesis	21
1.3.2 Objetivo General del proyecto	22
1.3.3 Objetivos específicos del proyecto	22
1.4 Plan de trabajo general.....	22
1.4.1 Descripción del plan de trabajo (tareas)	22
1.5 Riesgos principales.	23
Capítulo 2: Caracterización del sistema actual	25
2.1 Instrumentación disponible.....	25
2.2 Variadores de frecuencia y otros controles manuales del sistema.	28
2.3 Pérdidas de humedad en la molienda.....	29
2.4 Conclusión	31

Capítulo 3: Planteamiento del problema.....	32
3.1 Explicación	32
3.2 Acercamiento teórico al problema.....	35
3.3 Métodos a utilizar	35
Capitulo 4: Pruebas con arco de aspersores en la toma de aire.	36
4.1 Diseño del equipo para la prueba.....	36
4.1.1 Arco de aspersores	36
4.1.2 Pre-cámara	36
4.2 Funcionamiento teórico del equipo.....	38
4.3 Diseño de las pruebas a realizar.....	39
4.4 Contingencias antes de las pruebas.....	39
4.5 Desarrollo de la prueba	40
4.6 Contingencias durante la prueba.....	42
4.7 Resultados.....	43
4.8 Conclusiones.....	43
Capítulo 5: Pruebas con inyector en tolva de la entrada de aire.	44
5.1 Diseño del equipo para la prueba.....	44
5.1.1 Inyector	44
5.1.2 Tapa de prueba.....	50
5.2 Contenedores de las sustancias facilitadas por Praxair.....	51
5.3 Funcionamiento teórico del equipo.....	51
5.4 Diseño de las pruebas a realizar.....	52
5.5 Contingencias antes de las pruebas.....	56
5.6 Desarrollo de la prueba	56
5.7 Contingencias durante la prueba.....	59
5.8 Resultados.....	60
5.8.1 Resultados de Humedad.....	60
5.8.2 Resultados de capacidad de molienda	63
5.8.3 Resultados de temperaturas	63

5.8.3 Resultados de temperatura del molino.....	65
5.9 Conclusiones.....	65
Capítulo 6: Evaluación económica	67
6.1 Consideraciones.....	67
6.2 Estado actual del flujo de caja.	67
6.3 Ganancia económica con el aumento de humedad en el producto terminado.	69
6.3.1 Caso 1: 0,56% de aumento de humedad y 1,2 kg de LN2/kg de carragenina de consumo.	70
6.3.2 Caso 2: 1,51% de aumento de humedad y 1,2 kg de LN2/kg de carragenina de consumo.	71
6.4 Análisis de sensibilidad de la variación del VAN.	72
6.4.1 Efecto del aumento de humedad sobre el VAN al mantener el consumo de LN2 en 1,2 kg/kg de carragenina.	72
6.4.2 Efecto del consumo de LN2 sobre el VAN si se alcanza un aumento en la humedad del producto terminado del 2,9%.	74
6.4.3 Relación entre aumento de humedad y consumo de nitrógeno líquido.	75
6.4.4 Efecto de la variación del precio del nitrógeno líquido sobre el VAN.....	77
6.5 Conclusión	78
Capitulo 7: Conclusiones.....	79
Bibliografía	80
Glosario de Términos.....	81
Anexos	83
Anexo A Datos de humedad registrados desde el 01 de diciembre del 2010 hasta el 31 de abril del 2013 para la carragenina gruesa y fina.	83
Anexo A.1 Humedad registrada para carragenina gruesa desde 01 de diciembre del 2010 hasta el 07 de agosto del 2011.	83
Anexo A.2. Datos de humedad registrados para carragenina gruesa entre el 09 de agosto del 2011 hasta el 23 de septiembre del 2012.	84

Anexo A.3. Datos de humedad registrados para carragenina gruesa entre el 25 de septiembre del 2012 hasta el 31 de marzo del 2013.	85
Anexo A.4. Datos de humedad registrados para carragenina fina entre el 14 de mayo del 2012 hasta el 28 de febrero del 2013.	86
Anexo B. Datos de climáticos históricos en base a Datos reportados por la estación meteorológica: 857990 (SCTE).....	87
Anexo B.1. Datos registrados para Diciembre del 2010.....	87
Anexo B.2. Datos registrados para Enero del 2011.....	88
Anexo B.3. Datos registrados para Febrero del 2011.....	89
Anexo B.4. Datos registrados para Marzo del 2011.....	90
Anexo B.5. Datos registrados para Abril del 2011.....	91
Anexo B.6. Datos registrados para Mayo del 2011.....	92
Anexo B.7. Datos registrados para Junio del 2011.....	93
Anexo B.8. Datos registrados para Julio del 2011.....	94
Anexo B.9. Datos registrados para Agosto del 2011.....	95
Anexo B.10. Datos registrados para Septiembre del 2011.....	96
Anexo B.11. Datos registrados para Octubre del 2011.....	97
Anexo B.12. Datos registrados para Noviembre del 2011.....	98
Anexo B.13. Datos registrados para Diciembre del 2011.....	99
Anexo B.14. Datos registrados para Enero del 2012.....	100
Anexo B.15. Datos registrados para Febrero del 2012.....	101
Anexo B.16. Datos registrados para Marzo del 2012.....	102
Anexo B.17. Datos registrados para Abril del 2012.....	103
Anexo B.18. Datos registrados para Mayo del 2012.....	104
Anexo B.19. Datos registrados para Junio del 2012.....	105
Anexo C. Balances de Masa y energía.....	106
Anexo C.1. Diagrama de flujo y definición del sistema a simular.....	106
Anexo C.2. Balance de masa y energía del sistema actual.....	108
Anexo C.3. Balance de masa y energía del sistema necesario con nitrógeno líquido....	124

Anexo C.4. Macro para el tanteo de la cantidad de nitrógeno necesario para obtener una humedad de 9,5% en el producto terminado.....	131
Anexo C.5. Factibilidad económica del sistema propuesto.	133

Índice de tablas

Tabla 1. Principales propiedades de los tipos de carragenina, incluida la carragenina híbrida que produce la planta.	5
Tabla 2 Especificaciones de la carragenina según la “Food and Agriculture Organization of the United Nations”.	10
Tabla 3. Especificaciones de la carragenina según la “Official Journal of the European Union”.	11
Tabla 4. Datos de condiciones climáticas para el aire ¹ ,.....	17
Tabla 5. Porcentaje de operación del variador de frecuencia para el motor del tornillo de alimentación 14.2007 según los tipos de carragenina.....	29
Tabla 6. Temperaturas internas del molino según los distintos tipos de carragenina.....	29
Tabla 7. Valores de humedad usados para determinar donde se produce la mayor pérdida de humedad.....	30
Tabla 8. Valores de humedad registrados en la prueba y en el control del experimento.....	43
Tabla 9. Pérdidas de humedad relativas a la prueba.	43
Tabla 10. Valores de humedad de las muestras tomadas a los tiempos señalados en la tabla durante la prueba y durante el control.	60
Tabla 11. Valores calculados de pérdidas de humedad durante las pruebas y el control, en función del tiempo transcurrido durante la molienda.	61
Tabla 12. Temperaturas de las muestras tomadas.....	63
Tabla 13. Aumento de temperatura del producto tras la molienda.	64
Tabla 14. Temperaturas con las que se monitoreo el ingreso de nitrógeno líquido.	65
Tabla 15. Flujo de Caja para 10 años en la situación actual de la planta ¹	68
Tabla 16. Tabla para el valor de la tasa de descuento del inversionista ²	69
Tabla 17. Flujo de caja para el caso 1, con un 0,56% de aumento de humedad y 1,2 kg/kg de consumo de LN2.....	70
Tabla 18. Flujo de caja para el caso 2, con un 1,51% de aumento de humedad y 1,2 kg/kg de consumo de LN2.....	71
Tabla 19. Efecto del aumento de humedad sobre el VAN al mantener el consumo de LN2 constante.	72

Tabla 20. Efecto del consumo de LN2 sobre el VAN con un aumento de humedad de 1,51 puntos.....	74
Tabla 21. Consumos de LN2 obtenidos a partir de valores de aumento de humedad para obtener un VAN igual al original.	76
Tabla 22. Efecto sobre el VAN al modificar el precio del nitrógeno líquido.....	78
Tabla 23. Comparación del VAN en base a los valores de aumento de humedad y consumo .	78
Tabla 24. Resumen de datos medidos en la planta.	108
Tabla 25. Valor de calor específico que aporta cada elemento para la regla de Kopp ¹ , en Joule/átomo-°C.	110
Tabla 26. Cálculo con los valores de calor específico para carragenina Iota y Kappa.....	110
Tabla 27. Parámetros calculados en el bloque 1.....	112
Tabla 28. Resumen de parámetros de F1 y F20 para el balance de masa del bloque 2.....	113
Tabla 29. Valores contenido de humedad por kg de aire seco en función a la temperatura de la corriente del aire, cuando la humedad relativa es del 100%.....	114
Tabla 30. Parámetros calculados en el bloque 3.....	116
Tabla 31. Resumen de parámetros de las corrientes del bloque 4.	118
Tabla 32. Resumen de parámetros de las corrientes del bloque 5.	120
Tabla 33. Constantes para evaluar en la ecuación 17.	122
Tabla 34. Valores de Entalpía de cada corriente.	123
Tabla 35. Transferencias de energía al sistema.	123
Tabla 36. Razones de rechazo obtenidas a partir del balance de masa del sistema actual.	128
Tabla 37. Flujo de caja para el caso estudiado en la sección Anexo C. Balances de Masa y energía.....	133

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura molecular de la Carragenina tipo Kappa.....	3
Figura 2. Estructura molecular de la Carragenina tipo Iota.....	4
Figura 3. Estructura molecular de la Carragenina tipo Lambda.....	4
Figura 4. Parte inferior del silo del producto pre molido. También se aprecia el tornillo sin fin con el que se alimenta este producto al molino Long Gap.....	6
Figura 5. Plano del proceso de molienda, desde el molino principal hasta la salida del filtro de mangas.....	7
Figura 6. Diagrama de entradas y salidas del molino Septú.....	8
Figura 7. Análisis de Capacidad para los valores de humedad registrados en la carragenina gruesa desde el 01-12-2010 al 31-03-2013.....	13
Figura 8. Gráfico y resultados de prueba de normalidad para los datos de humedad del producto terminado de carragenina gruesa que se registraron entre el 01-12-2010 al 31-03-2013.....	13
Figura 9. Análisis de Capacidad para los valores de humedad registrados en la carragenina fina desde el 07-12-2010 al 09-02-2013.....	14
Figura 10. Gráfico y resultados de prueba de normalidad para los datos de humedad del producto terminado de carragenina gruesa que se registraron entre el 07-12-2010 al 09-02-2013.....	15
Figura 11. Comportamiento de los promedios mensuales de temperatura entre diciembre del 2010 hasta mayo del 2013.....	18
Figura 12. Análisis en minitab de la comparación entre el comportamiento de la humedad para la carragenina gruesa en verano (etiquetada como “Before”) y en invierno (etiquetada como “After”).....	19
Figura 13. Análisis de normalidad, comparando entre la humedad en verano (etiquetada como “Before”) y en invierno (etiquetada como “After”).....	19
Figura 14. Análisis en minitab de la comparación entre el comportamiento de la humedad para la carragenina fina en verano (etiquetada como “Before”) y en invierno (etiquetada como “After”).....	20

Figura 15. Análisis de normalidad, comparando entre la humedad en verano (etiquetada como “Before”) y en invierno (etiquetada como “After”).....	20
Figura 16. Toma de aire del sistema de molienda con dimensiones anotadas.....	26
Figura 17. Transmisor de temperatura en la toma de aire.	26
Figura 18. A: Entrada de aire. B: Tolva donde se alimenta el producto a reprocesar, la tapa se sostiene solo producto de la succión del aire. C: Ubicación del filtro microbiológico. D: Tornillo sin fin que alimenta el producto pre molido al sistema. E: Molino. F: Salida del molino hacia el clasificador. G: Recolección de partículas rechazadas por el imán autolimpiante.	27
Figura 19. Diagrama del proceso de molienda donde se ilustra la instrumentación útil para la investigación.	28
Figura 20. Puntos donde se tomaron muestras para caracterizar las muestras de humedad.....	30
Figura 21. Gráfica de la humedad del producto terminado y de la humedad relativa del aire en función de la fecha. Ambas expresadas como porcentaje en escalas distintas.	32
Figura 22. Gráfica de la humedad del producto terminado y de la temperatura del aire en función de la fecha. En porcentaje y en °C respectivamente.	33
Figura 23. Comportamiento del efecto del aumento de temperatura del aire de transporte, asumiendo que con esto agua se evaporará y mantendrá la humedad relativa constante. ¹	34
Figura 24. Fotografía de la parte externa de la toma de aire, con las medidas del espacio libre expresadas.	37
Figura 25. Fotografía de la pre-cámara instalada en la toma de aire del molino principal.....	38
Figura 26. Fotografía del arco de aspersores montado en el interior de la pre-cámara.	40
Figura 27. Fotografía del técnico de Indura abriendo la válvula de ingreso de nitrógeno líquido.	41
Figura 28. Fotografía del nitrógeno siendo inyectado por medio del arco de aspersores.....	42
Figura 29. Fotografía de una de las piezas de cerámica con micro-poros facilitadas por Praxair.	44
Figura 30. Fotografía de referencia entregada por Praxair con las piezas del inyector por separado.	45
Figura 31. Fotografía de referencia entregada por Praxair con el inyector montadas.	45

Figura 32. Vista interna de la toma del aire en el área 14, con acercamiento de la tolva a reemplazar para la prueba.	46
Figura 33. Diagrama del diseño de la pieza a fabricar para la prueba.	47
Figura 34. Inyector conectado al flexible, armado una vez se recibió de la maestranza de SARMAR.....	48
Figura 35. Partes por separado del inyector con las piezas corregidas en taller de soldadura.	49
Figura 36. Inyector terminado.	49
Figura 37. Diseño entregado en taller de soldadura para la construcción de la tapa de prueba. Las cotas que no se especifican y líneas de centro se omitieron para facilitar el entendimiento del diagrama por parte de los soldadores.	50
Figura 38. Tapa de prueba con flexible, inyector y termocupla conectados.	50
Figura 39. Fotografía del termo de nitrógeno líquido, almacenado junto al tanque de nitrógeno líquido de la planta, en el lugar de contención de sustancias criogénicas.	51
Figura 40. Tapa de prueba con flexible conectada al sistema.	57
Figura 41. Pantalla del PLC del molino. Muestra la temperatura actual del molino de 61 °C.	57
Figura 42. Contratista de Praxair regulando el ingreso de nitrógeno al sistema.	58
Figura 43. Muestras rotuladas y envasadas por el operador del área de molienda.	59
Figura 44. Detector de niveles de oxígeno, mostrando el nivel normal de 20,8% de Oxígeno.	60
Figura 45. Gráfico del comportamiento de la humedad del producto final durante las pruebas y durante el control.	61
Figura 46. Gráfico de la humedad perdida en el proceso de molienda en función del tiempo de la prueba o control.	62
Figura 47. Temperatura que gana el producto en la molienda en función del tiempo, para prueba y para control.	64
Figura 48. Gráfico de la variación del VAN en función del aumento de humedad en el producto final que genere el proyecto.	73
Figura 49. Gráfico de la variación del VAN en función del consumo de nitrógeno líquido para alcanzar el 1,51% de humedad.	75
Figura 50. Gráfico con la relación entre aumento de humedad y el consumo de nitrógeno líquido.	77
Figura 51. Diagrama de flujo del proceso de molienda de la carragenina.	106

Figura 52. Bloque 1, sección de separación del producto final del producto a recircular y a descartar.	112
Figura 53. Flujos de entrada y salida del sistema completo.	113
Figura 54. Bloque 3, el cual representa el proceso de premolienda.	114
Figura 55. Bloque 4, representa la molienda en el molino long-gap más la clasificación externa del reciclo.....	117
Figura 56. Bloque 5, filtro de mangas con inyección de aire y extractor para el sistema de transporte neumático.....	119
Figura 57. Recorrido para los balances de energía desde un punto 1 hasta un punto 2 cualquiera.....	121
Figura 58. Sistema de molienda con inyección de nitrógeno criogénico en la entrada de aire al molino M2.....	124
Figura 59. Macro donde se tantea un valor para la temperatura T7,5 (celda N52); para que la Ecuación 21 evaluada (ingresada en la celda N70) entregue un valor de 0.....	127
Figura 60. Macro donde se tantea un valor para el flujo de agua en carragenina de la corriente 11 (celda J58); para que la Ecuación 22 evaluada (ingresada en la celda J70) entregue un valor de 0.....	127
Figura 61. Macro donde se tantea un valor para la humedad de la carragenina de la corriente 8 (celda K56); para que la Ecuación 24 evaluada (ingresada en la celda K70) entregue un valor de 0.....	128
Figura 62. Caracterización de flujos 1 a 10.	129
Figura 63. Caracterización de Flujos 11 a 20.	130

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes generales

1.1.1 Reseña histórica de la empresa

Danisco Chile S.A. es una planta productora de carragenina. La historia de la planta se remonta al año 1994, cuando fue inaugurada con el nombre de Danalg S.A., luego conocido como Grindsted, posteriormente como Danisco Ingredients y Danisco Cultor, esto como resultado de la adquisición de la empresa Danisco. Más adelante, la empresa estableció el nombre de su oficina principal y el país de operación como nombre de la planta, desde entonces se le conoce como Danisco Chile S.A. Si bien la empresa fue adquirida por DuPont el año 2011, su nombre legal sigue siendo Danisco Chile S.A., conociéndose dentro de la compañía como “DuPont Pargua”.

La planta está ubicada en Pargua, y produce Carragenina, un importante hidrocoloide que se extrae del alga Luga roja, la cual se caracteriza por ser una fuente natural de carragenina híbrida Kappa, Iota y Lambda, lo que la hace un ingrediente muy funcional. La carragenina es usada por sus propiedades como estabilizante, espesante y como agente gelificante.

Pargua presenta una población de alrededor de 2000 habitantes. Se ubica 58 km al sudeste de la ciudad de Puerto Montt, en la X región de Chile; latitud 41°48' y longitud 73°28', aproximadamente 1,100 km al sur de Santiago. El clima en Pargua es de tipo oceánico, fresco y húmedo. La zona se caracteriza por ser el punto de unión con la isla de Chiloé, que es el principal proveedor de la materia prima que la planta utiliza¹.

¹: Intranet Danisco.

1.1.2 Objetivos de la empresa

Danisco Chile S.A. es una planta productora de carragenina. Está ubicada en Pargua, X Región de Chile, donde opera bajo un Sistema Integrado de Gestión de salud y seguridad, medioambiente, calidad y seguridad de producto, por lo que sus objetivos son:

- Proveer los volúmenes de carragenina pactados con sus clientes, considerando la calidad (parámetros de sabor y propiedades físico-químicas) y seguridad de sus productos como uno de sus puntos fuertes a la hora de cumplir las expectativas de sus clientes y lograr su total satisfacción.
- Reducir al mínimo cualquier efecto medioambiental nocivo, mediante la gestión de residuos, el uso responsable de materias primas y recursos naturales, además se comprometen a mantener un diálogo abierto y transparente con la comunidad y autoridades locales.
- Mantener y mejorar la salud y seguridad laboral, controlando los riesgos durante el proceso productivo, elaborando productos seguros de alta calidad, desarrollando sus conocimientos y experiencia mediante la formación y el diálogo abierto con nuestros trabajadores.
- Cumplir con la legislación y normas vigentes relacionadas al Sistema de Integración de Gestión. En los casos en que nuestras normas corporativas superen los requisitos legales locales, prevalecerán los requerimientos corporativos.
- Promover la mejora continua del Sistema Integrado de Gestión así como el cumplimiento de sus valores corporativos.¹

¹: Alejandro Martínez M. (Site Manager): Política Integrada del sistema de Gestión de Danisco Chile S.A. Septiembre del 2011.

1.1.3 Carragenina¹

La carragenina es un polisacárido de alto peso molecular, soluble en agua, con propiedades altamente gelificantes y espesante. Es derivada de algas rojas, encontradas a lo largo de todas costas del mundo.

El nombre carragenina proviene de un pueblo llamado Carragheen ubicado en Irlanda, el cual fuera famoso por un postre producido de un hervido de leche y algas, conocido como “Irish Moss”.

La carragenina puede dividirse en 3 tipos según sus propiedades, los cuales son kappa, iota y lambda. Las principales características de cada uno de estos tipos de carragenina son:

La carragenina del tipo Kappa tiene una estructura molecular como se muestra en la Figura 1, Esto ocasiona que en presencia del ion potasio K^+ , la kappa carragenina forma un gel termorreversible, rígido, brillante y con alta *sinéresis*.

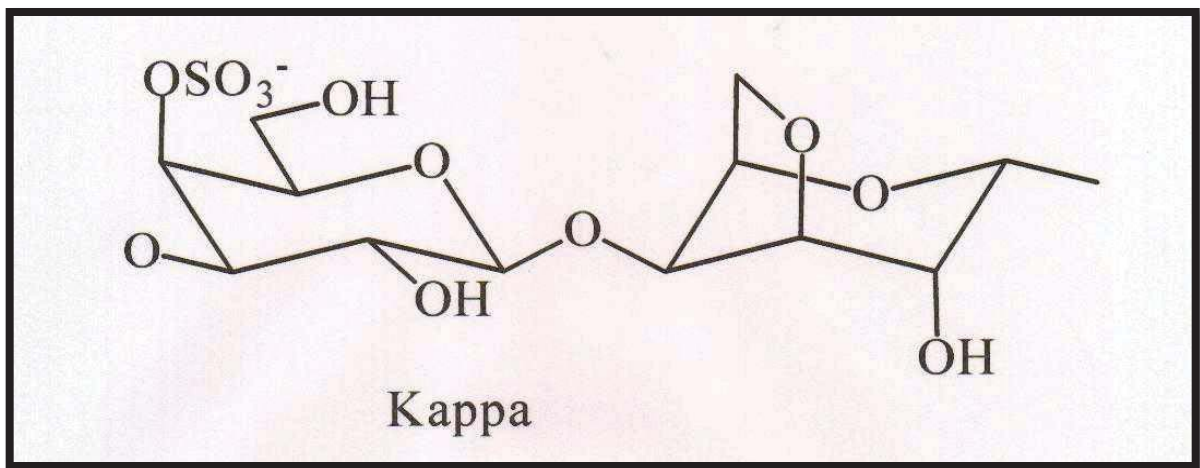


Figura 1. Estructura molecular de la Carragenina tipo Kappa.

La carragenina del tipo iota tiene una estructura molecular como se muestra en la Figura 2. Esto ocasiona que en presencia del ion calcio Ca^{++} , la carragenina iota forma un gel fuerte y muy elástico. Además es un excelente ligador de agua a muy bajas concentraciones. Solamente este tipo de carragenina es capaz de formar un gel estable al congelarse y no pierde sus propiedades al descongelarse.

1: Grindsted Carrageenan. Presentación de la planta para inducción a personal. 2013.

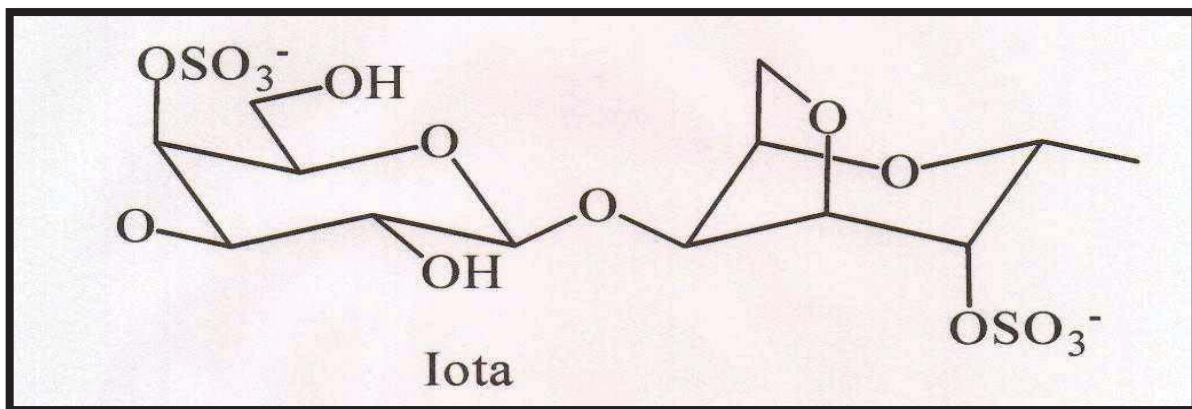


Figura 2. Estructura molecular de la Carragenina tipo Iota.

La carragenina del tipo lambda tiene una estructura molecular como se muestra en la Figura 3. Este tipo de carragenina tiene un uso limitado debido a que no forma gel, ésta se disuelve en agua fría y caliente formando una solución viscosa.

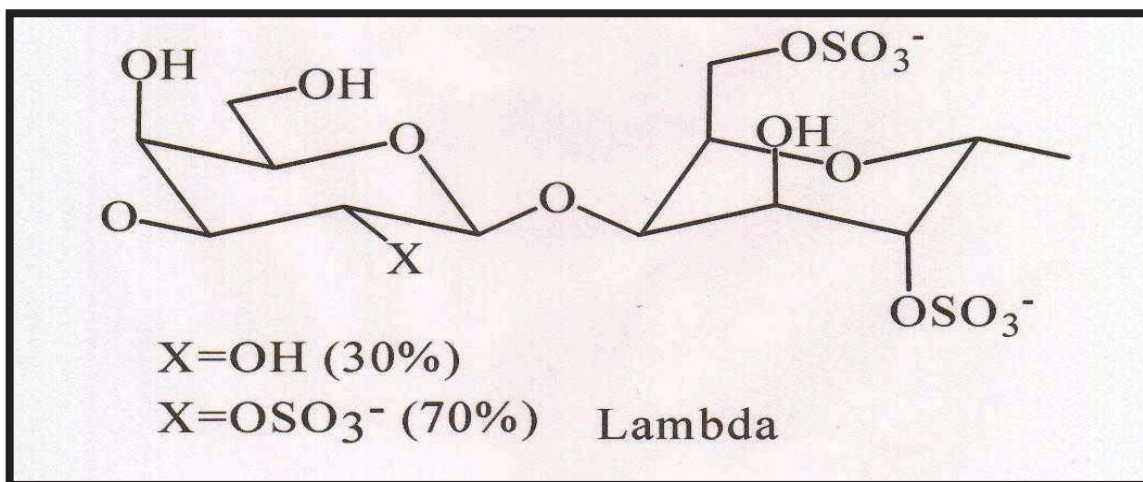


Figura 3. Estructura molecular de la Carragenina tipo Lambda.

La combinación especial de los tipos de carragenina en alga roja chilena proporciona un número de propiedades funcionales únicas, lo cual puede apreciarse en la Tabla 1 que resume las propiedades de los tipos de carragenina y los compara con la carragenina híbrida, que es la que se obtiene en la planta.

Tabla 1. Principales propiedades de los tipos de carragenina, incluida la carragenina híbrida que produce la planta.

Propiedades	Kappa	Iota	Lambda	Híbrida
Esteres Sulfatos [%]	23-27	31-35	45-50	30-34
2, 6 anhidro galactosa [% mol]	48-50	48-50	0	38-45
Efectos de cationes	Geles más fuertes con K ⁺	Geles más fuertes con Ca ⁺		Geles más fuertes con Ca ⁺ y K ⁺
Tipo de gel	Brillante con sinéresis	Brillante sin sinéresis	Brillante sin sinéresis	Fuerte y elástico sin sinéresis

Las Carrageninas tienen diversas aplicaciones en la industria alimentaria. Por ejemplo: estabilizante en helados, suspendiendo cocoa en leche chocolatada, como gelificante en flanes y pudines, o como espesante en crema de leche y yogurt; también pueden aplicarse como gelificantes en postres tipo gelatina, jaleas, malvaviscos y gomitas.

1.1.4 Proceso de molienda utilizado en la planta.

El alga usada para la carragenina (luga roja y broad leaf) llega a la planta desde plantas de secado, donde se almacena antes de ser usada en bodegas. Generalmente pasa seca por al menos 3 meses antes de ser procesada.

Al comenzar el proceso se lava el alga por medio de una línea de transporte líquido de solución de KCl para retirar la arena y otros contaminantes sin perder la carragenina del alga. Luego llega a los reactores donde pasa por un proceso de modificación y se convierte en carragenina. Después de los reactores pasa a secadores donde se baja la humedad del producto hasta un máximo de 32%, lo cual se regula por motivos de actividad biológica y porque el alga muy húmeda se endurece, aglomera y genera problemas en la dosificación a la molienda. De los reactores se saca el producto manualmente en bolsas, desde donde se almacena en un área y posteriormente se adiciona a la molienda.

El proceso de molienda se lleva a cabo en un molino del tipo Long Gap, comúnmente conocido en la planta como molino Septú debido a la marca del mismo.

Sin embargo, antes de llegar al proceso de molienda, la carragenina pasa por un proceso de premolienda en un molino de martillos. El producto de esta pre-molienda se almacena en un silo al ser transportado desde el pre molino por medio de aire. Desde este silo es alimentado al molino Long Gap por medio de un tornillo sin fin de acero al carbono, el cual se muestra en la Figura 4. El tornillo de alimentación trabaja normalmente con un 30% de su velocidad máxima, alimenta aproximadamente unos 700 kg/h.



Figura 4. Parte inferior del silo del producto pre molido. También se aprecia el tornillo sin fin con el que se alimenta este producto al molino Long Gap.

Luego de la alimentación desde el tornillo, el producto cae por gravedad hacia el molino mediante una cañería de acero al carbono, en donde se acumula en una tolva. En esta tolva se encuentra un sensor de nivel capacitivo, el cual controla el motor del tornillo sin fin de alimentación a modo de no sobrecargar la tolva.

Es después de esta alimentación donde el proceso de molienda en si comienza según lo que se indica en el diagrama de proceso de la Figura 5.

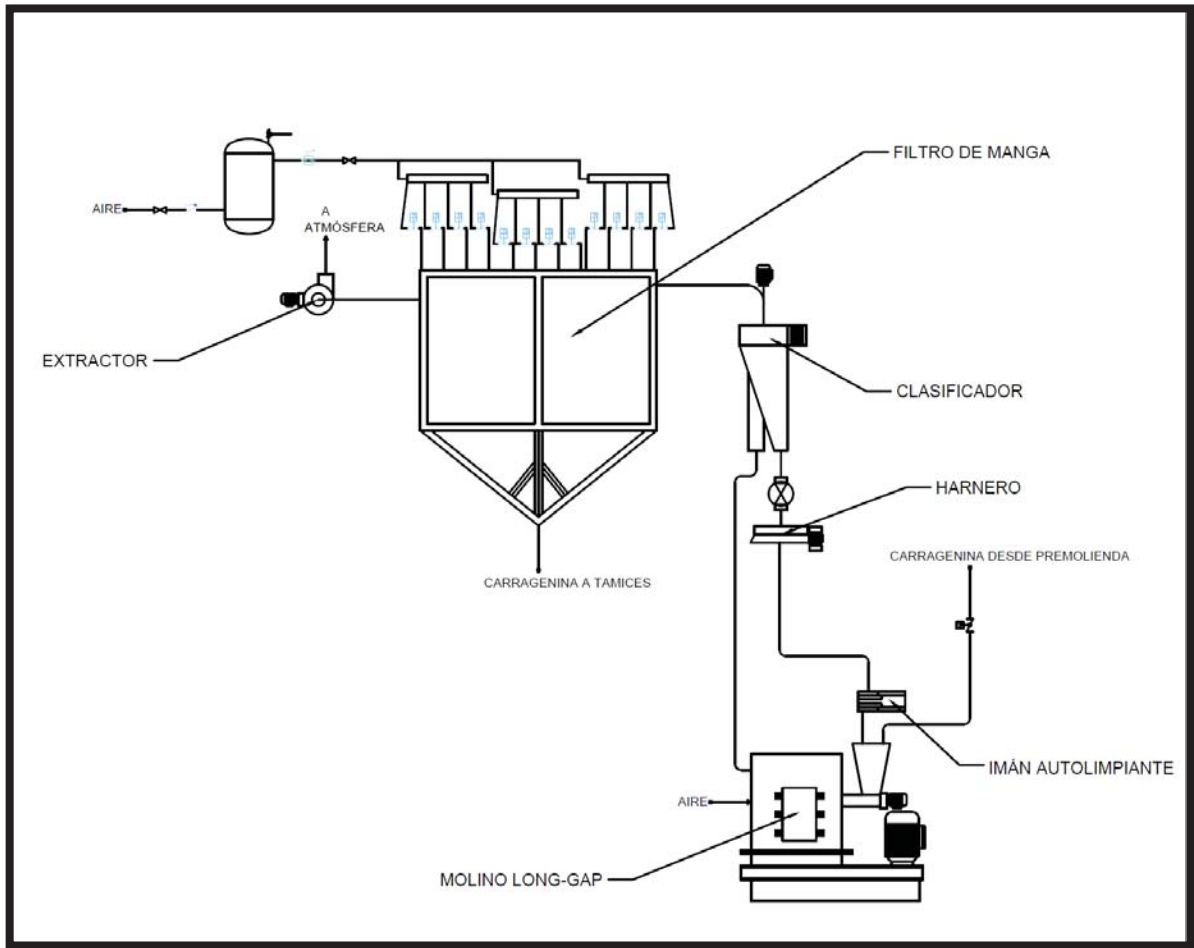


Figura 5. Plano del proceso de molienda, desde el molino principal hasta la salida del filtro de mangas.

El molino en si funciona de la siguiente forma, según se puede apreciar en la Figura 6:

- El producto entra al molino desde la tolva de alimentación por gravedad, compuesto por una mezcla de producto pre molido y de producto que se recircula al ser rechazado por el clasificador (partículas con un tamaño mayor a 150 μm para el producto grueso y mayor a 75 μm para el producto fino).
- Al mismo tiempo entra aire, el cual es succionado desde el aire atmosférico y solo pasa por filtros microbiológicos antes de llegar al molino.
- Dentro del molino, el producto se muele debido a los siguientes principios:
 - Golpes al producto, producidos por los martillos y los Liners.

- Roce entre las partículas que son molidas debido a la formación de torbellinos producto de la dinámica de las partículas que son elevadas por el movimiento de las piezas del molino y el caudal de aire que lo atraviesa.
- El producto sube por el molino cuando su tamaño de partícula es lo suficientemente pequeño como para que el aire que atraviesa el molino lo eleve (como máximo 5 mm, pero en promedio un tamaño de 270 μm).
- El producto sale del molino transportado por aire, dirigiéndose a la siguiente etapa del proceso.
- Por diseño, el molino incluye un reciclado interno, el cual tiene como función reprocesar partículas que llegan a cierta altura del molino, pero a causa de su tamaño el aire no es capaz de transportarlas hacia la salida del molino.

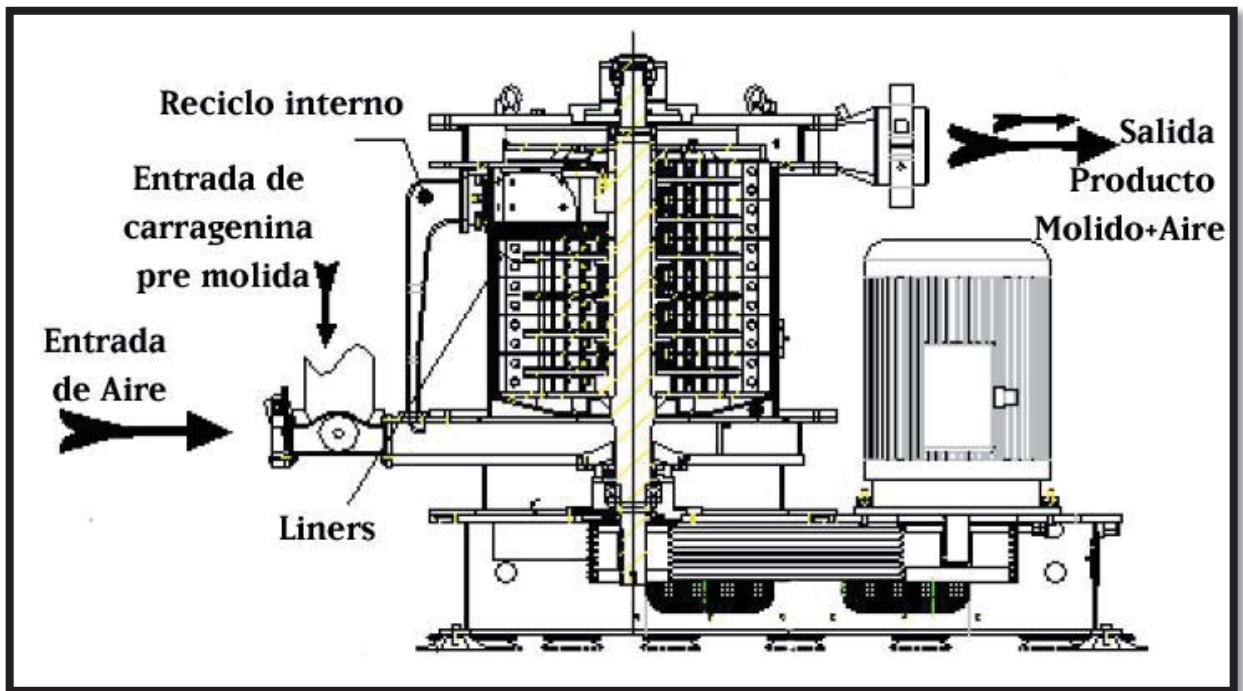


Figura 6. Diagrama de entradas y salidas del molino Septú.

Una vez sale del molino el producto pasa por un clasificador, el cual está configurado para que solo pasen las partículas cuyo tamaño está dentro de las especificaciones y el resto sea recirculado hacia el molino, donde se vuelve a moler.

En este reciclado se encuentra un harnero que despeluzo el producto rechazado, es decir, quita parte de las contaminaciones que vienen con las algas y que por proceso aún no han sido

retiradas del producto; y luego pasa por un imán auto limpiante, el cual retiene las partículas con alto contenido magnético, las cuales están fuera de las especificaciones permitidas para el producto.

El producto que no chocó con las aspas del clasificador pasa a un filtro de mangas. Aquí el producto es atrapado en el exterior de filtros cilíndricos mientras el aire limpio es llevado al exterior. Así mismo, intermitentemente se activan inyecciones de aire comprimido por diversas válvulas, limpiando así el filtro de la carragenina, la cual cae a una tolva desde donde es transportada por un tornillo sin fin hacia el tamiz principal.

En esta etapa de tamizado se separan las partículas cuyo tamaño es mayor al de la especificación del producto en proceso.

El rechazo de los tamices se vuelve a alimentar al molino manualmente, siendo recolectado en bolsas plásticas amarillas a la salida del último tamiz y alimentado al molino en una tolva que se encuentra en la toma de aire.

El producto que está dentro de especificaciones se almacena en un silo pulmón. Desde este silo es enviado por transporte neumático hacia el proceso de envasado.

1.1.5 Tipos de carragenina producidas en la planta

En la planta se preparan distintos tipos de mezclas de algas, los cuales producen distintos tipos de carragenina. Los tipos producidos son los siguientes.

- Carragenina Gruesa: Carragenina cuyo tamaño de partícula queda definido al pasar por una malla de 150 micrones. Este tipo de carragenina que es más gruesa se usa principalmente en las aplicaciones relacionadas con la industria de la leche.
- Carragenina Fina: Carragenina cuyo tamaño de partícula queda definido al pasar por una malla de 75 micrones. Este tipo de carragenina que es más fina se usa principalmente en las aplicaciones relacionadas con la industria de la carne.

1.1.6 Especificaciones del producto

La carragenina como producto terminado debe cumplir con ciertos parámetros en cuanto a sus características para ser reconocida como tal. Estos parámetros dependen del lugar a donde se venda el producto. Para la carragenina vendida dentro de Latino América se deben seguir las especificaciones expuestas en la Tabla 2¹, mientras que para la carragenina vendida hacia Europa se deben seguir las especificaciones expuestas en la Tabla 3².

Tabla 2 Especificaciones de la carragenina según la “Food and Agriculture Organization of the United Nations”.

Especificación	Requisitos.
Humedad	No mayor a 12 % (secando a 105 °C hasta alcanzar peso constante).
pH	Entre 8 y 11.
Viscosidad	No menor a 5 cp a 75° (1,5% en suspensión).
Sulfato	No menor a 15 % y no mayor a 40 % (como SO ₄ ²⁻) en base seca.
Cenizas Totales	No menor a 15 % y no mayor a 40 % en base seca.
Ceniza insoluble en ácido	No mayor a 1 % (usar las cenizas de la prueba de Cenizas Totales).
Materia insoluble en ácido	No mayor a 2 %.
Solventes residuales	No mayor a 0.1% de etanol, isopropanol, o metanol, ya sea por separado o una combinación de éstos.
Conteo total en placa de microorganismos aerobios	No mayor a 5000 cfu/g.
Salmonella spp.	Negativo.
E. coli	Negativo en 1 g.
Plomo	No mayor a 5 mg/kg.
Cadmio	No mayor a 2 mg/kg.
Mercurio	No mayor a 2 mg/kg.

1. FAO JECFA Monographs 4. 2007. Aditivo 117: Food and Agriculture Organization of the United Nations, disponible en: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/monograph4/additive-117-m4.pdf>; Internet; visitada el 26 junio 2013.
2. Commission Directive 2010/67/EU. 2010. *Official Journal of the European Union; Seventh Schedule, Purity Criteria*, disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:113:0019:0023:EN:PDF>; Internet; visitada el 26 Junio 2013.

Tabla 3. Especificaciones de la carragenina según la “Official Journal of the European Union”.

Especificación	Requisitos.
Contenido de Metanol, etanol, propano-2-ol	No mayor a 0,1% individualmente o en combinación.
Viscosidad	No menor a 5 mPa.s a 75° (1,5% en suspensión).
Humedad	No mayor a 12 % (secando a 105 °C hasta alcanzar peso constante).
Sulfato	No menor a 15 % y no mayor a 40 % en base seca (como SO ₄ ²⁻).
Cenizas Totales	No menor a 15 % y no mayor a 40 % en base seca a 550°C.
Ceniza insoluble en ácido	No mayor a 1 % (insoluble en ácido clorhídrico al 10%).
Materia insoluble en ácido	No mayor a 2 % en base seca (insoluble en ácido sulfúrico al 1% v/v).
Carragenina de bajo peso molecular	No mayor a 5%
Arsénico	No mayor a 3 mg/kg.
Plomo	No mayor a 5 mg/kg.
Mercurio	No mayor a 1 mg/kg.
Cadmio	No mayor a 2 mg/kg.
Conteo total en placa de microorganismos aeróbicos	No mayor a 5000 colonias por gramo.
levadura y moho	No mayor a 3000 colonias por gramo.
E. coli	Negativo en 1 g.
Salmonella spp.	Negativo.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Humedad histórica para carragenina gruesa.

Con el fin de estudiar los parámetros que afectan la humedad del producto, se buscaron los datos históricos disponibles de humedades de producto final, los cuales son registrados en el sistema en red de la planta (SAP). De estos registros se puede extraer el valor de la humedad del producto final para cada tipo de carragenina. Esta humedad es determinada al secar el producto en una estufa a 105 °C y ver cuánto peso se perdió (de acuerdo a lo que exigen las normas citadas en la Tabla 2 y en la Tabla 3), por lo que su valor está registrado como “loss on drying”, es decir, lo perdido al secar; y se mide en % en peso.

Se tienen 299 datos de humedad para la carragenina gruesa, registrados entre el 01 de diciembre del 2010 hasta el 31 de abril del 2013 (Anexo A Datos de humedad registrados desde el 01 de diciembre del 2010 hasta el 31 de abril del 2013 para la carragenina gruesa y fina.). Al analizar estos datos con el software minitab (Figura 7) se tiene un promedio de 6,69% de humedad. Además, la distribución de los datos no es normal, lo que se comprueba al analizar estos valores con la prueba de normalidad de Anderson-Darling, donde el valor p es 0,04, lo que es menor a 0,05 (Figura 8).

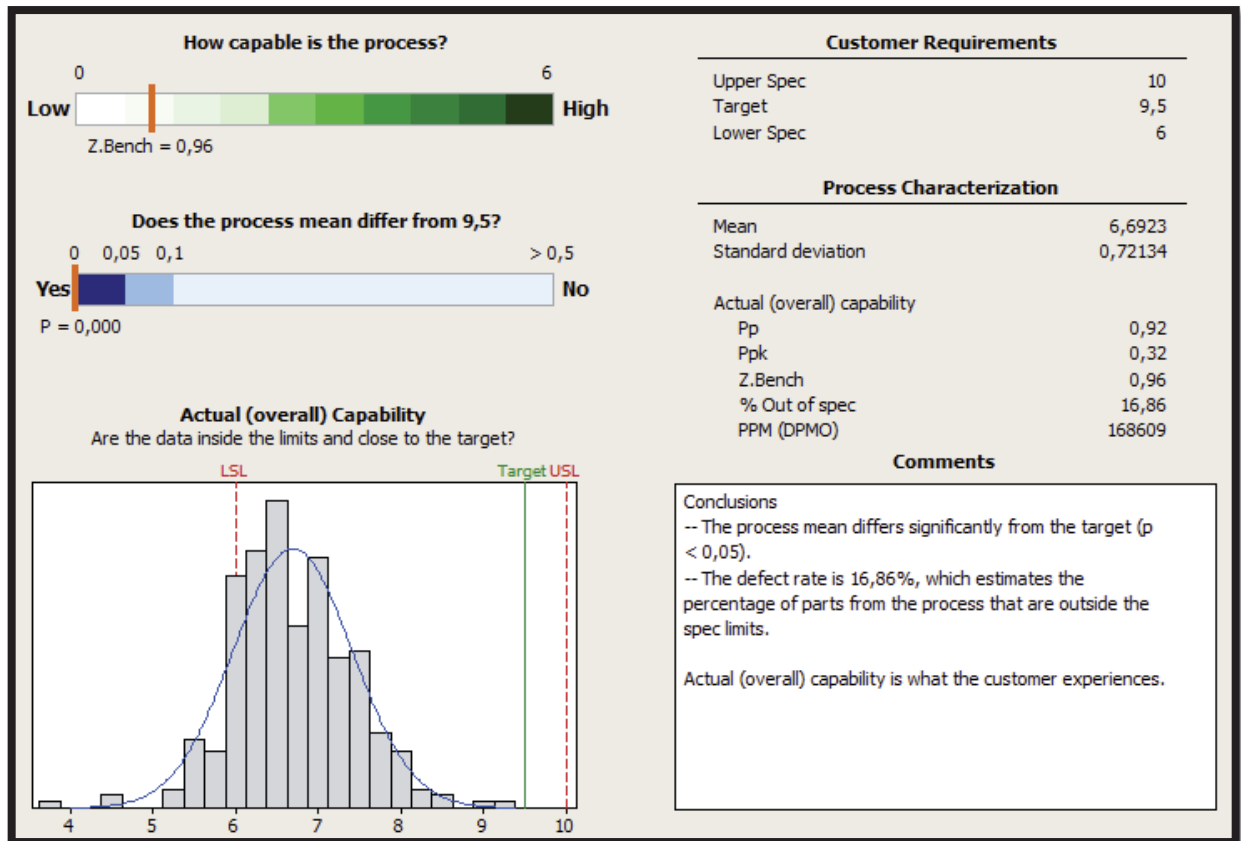


Figura 7. Análisis de Capacidad para los valores de humedad registrados en la carragenina gruesa desde el 01-12-2010 al 31-03-2013.

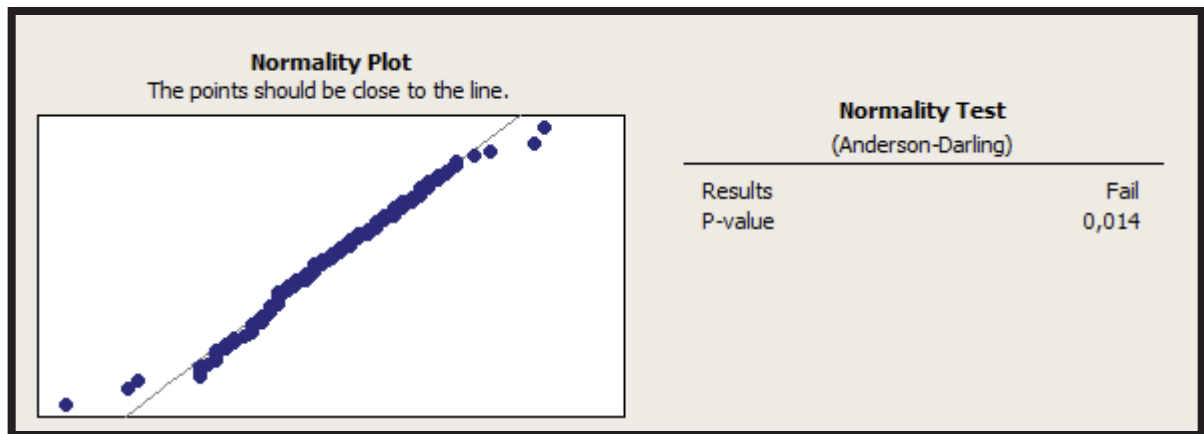


Figura 8. Gráfico y resultados de prueba de normalidad para los datos de humedad del producto terminado de carragenina gruesa que se registraron entre el 01-12-2010 al 31-03-2013.

1.2.2 Humedad histórica para carragenina fina.

Se tienen 89 datos de humedad para la carragenina gruesa, registrados entre el 07 de diciembre del 2010 hasta el 09 de febrero del 2013 (Anexo A Datos de humedad registrados desde el 01 de diciembre del 2010 hasta el 31 de abril del 2013 para la carragenina gruesa y fina.). Al analizar estos datos con el software minitab (Figura 9) se puede ver que el promedio de estos datos es de 5,51%. Además, la distribución de los datos no es normal, lo que se comprueba al analizar estos valores con la prueba de normalidad de Anderson-Darling, donde el valor p es 0,024, lo que es menor a 0,05 (Figura 10).

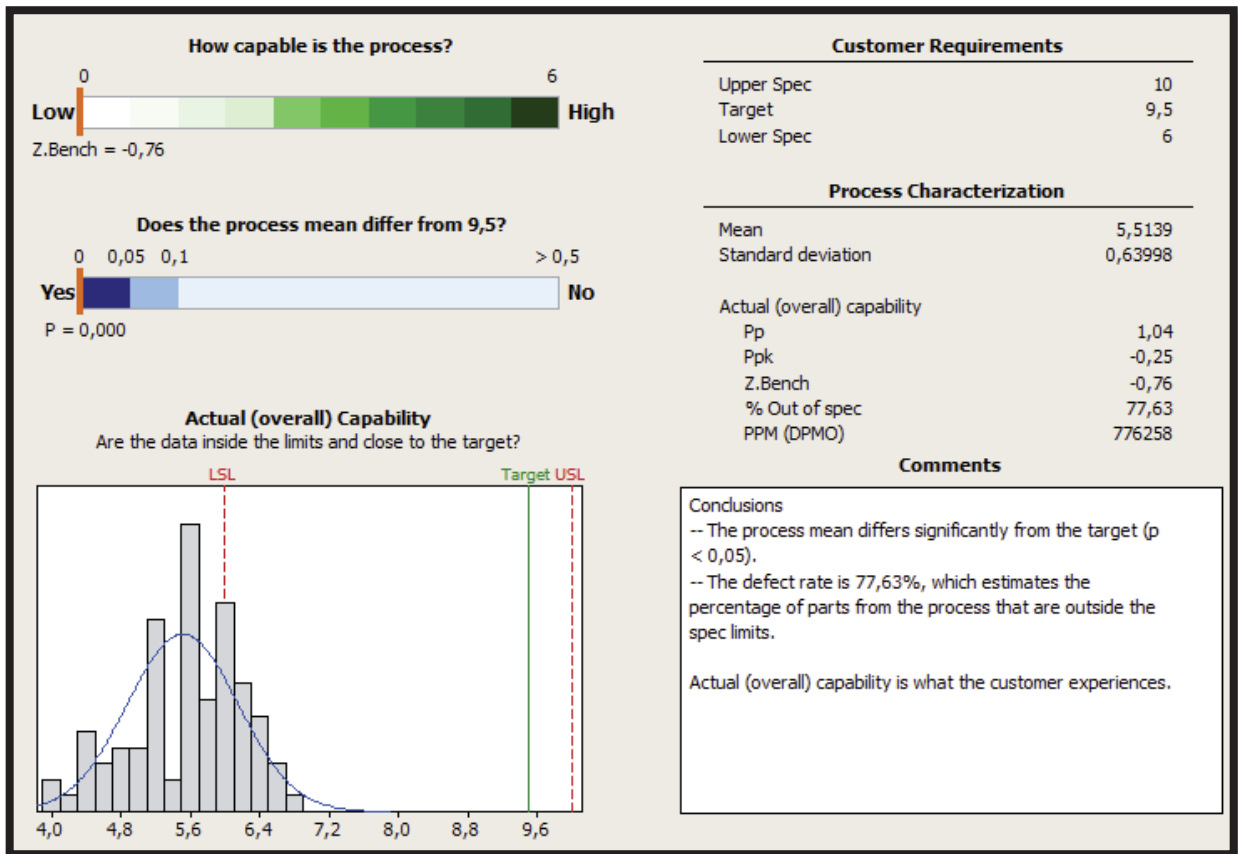


Figura 9. Análisis de Capacidad para los valores de humedad registrados en la carragenina fina desde el 07-12-2010 al 09-02-2013.

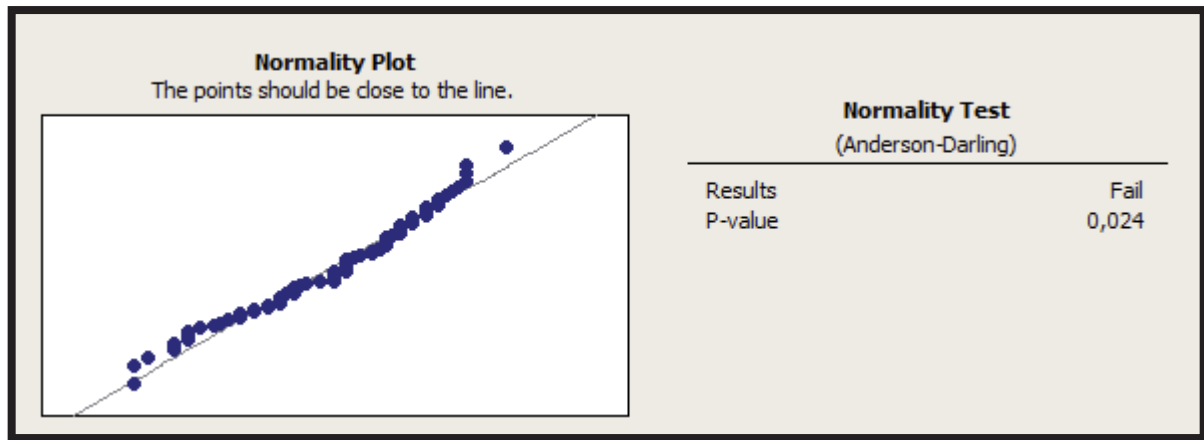


Figura 10. Gráfico y resultados de prueba de normalidad para los datos de humedad del producto terminado de carragenina gruesa que se registraron entre el 07-12-2010 al 09-02-2013.

1.2.3. Posibilidad de mejora

Un aumento en la humedad del producto final se traduce directamente en un aumento en la eficiencia de producción, pues a partir de la misma cantidad de materia prima se obtendría mayor cantidad de producto terminado.

Para los análisis anteriores realizados en minitab es importante mencionar que se agregó un límite inferior de 6% para establecer un mínimo de referencia (si bien los requisitos de calidad no establecen un mínimo de humedad, se incluye uno para poder contabilizar la cantidad de valores que están bajo este mínimo); y se fijó el límite superior del 10% pues es el máximo valor que se acepta en la planta (si bien la especificación dice que el máximo es 12%, el producto que se hace en la planta es mezclado en posteriormente en otras plantas con otros productos que podrían subir su humedad, por lo que como medida interna se deja el máximo de humedad en 10%). Finalmente se agregó como valor objetivo el 9,5% de humedad (valor máximo que se debería aumentar el promedio para que las desviaciones de estos valores sigan dentro de especificaciones), este valor se agregó para poder evaluar que tan alejado está el promedio actual del objetivo.

En base a lo mencionado anteriormente, si consideramos una ponderación de los promedios obtenidos de humedad para la carragenina gruesa y la fina, donde el 20% de la producción anual es carragenina fina y el 80% es de carragenina gruesa, tendríamos un valor de humedad de referencia de 6,6% de humedad. Tomando el 9,5% de humedad en el producto final al que se quiere llegar, tendríamos un aumento del 2,9% en la eficiencia.

Considerando ahora el Baseline de producción, para el año 2013 se tiene que se producen 1780 Mton/año de carragenina. Si se aumenta en un 2,9% habría una ganancia de 51,62 Mton/año extra en la producción.

1.2.4. Relación entre la humedad del producto y la época del año

En base a observaciones del personal de la planta (operadores de molienda, laboratoristas, jefes de turno, etc), la principal diferencia entre los niveles de humedad puede apreciarse entre verano e invierno, por lo que un análisis de las diferencias de temperatura a lo largo del año debe realizarse.

Tabla 4. Datos de condiciones climáticas para el aire ¹,

Mes	T ^a prom. [°C]	T ^a máx. [°C]	T ^a mín. [°C]	Humedad relativa media [%]	Precipitaciones totales [mm]
01-12-2010	12,4	12,7	8,0	83,1	60,72
01-01-2011	14,3	20,6	9,2	81,5	102,64
01-02-2011	14,3	21,9	8,4	82,3	22,61
01-03-2011	12,2	18,5	7,5	87,7	171,72
01-04-2011	10,2	15,2	6,7	91,9	115,32
01-05-2011	8,2	13	5,0	95,2	121,92
01-06-2011	7,2	11,5	4,1	91,1	162,81
01-07-2011	6,1	10,4	3,1	89,0	249,43
01-08-2011	6,3	10,8	2,9	87,5	199,39
01-09-2011	8,4	13,3	4,9	88,4	169,14
01-10-2011	9,2	14,7	4,6	84,8	68,09
01-11-2011	11,5	17,1	6,9	84,1	132,33
01-12-2011	13,9	20,2	8,4	81,7	30,75
01-01-2012	15,6	22,3	10,1	79,5	47,25
01-02-2012	13,4	19,4	8,4	86,2	139,44
01-03-2012	13	19,1	8,6	86,8	34,05
01-04-2012	10	15,8	5,7	90,1	76,20
01-05-2012	8,9	13,6	5,6	92,9	207,50
01-06-2012	6,0	10,4	2,8	93,1	261,10
01-07-2012	5,0	9,6	1,7	94,2	181,11
01-08-2012	7,2	11,6	3,7	91,5	136,16
01-09-2012	8,5	14,6	4,7	89,7	74,68
01-10-2012	9,4	14,7	5,0	88,9	49,78
01-11-2012	11,7	18,3	6,4	84,1	23,12
01-12-2012	12,4	16,9	8,9	90,5	232,15
01-01-2013	16,1	23,5	9,8	79,5	29,72
01-02-2013	14,5	20,4	10,1	85,8	118,87
01-03-2013	12,7	19,1	8,1	80,2	105,41
01-04-2013	11,6	17,2	7,7	86,1	87,36
01-05-2013	9,8	13,3	7,2	88,7	258,10

¹: Datos reportados por la estación meteorológica: 857990 (SCTE) para el período citado. <http://www.tutiempo.net/clima/PuertoMontt/857990.htm>; Internet; Visitada el 30 junio 2013.

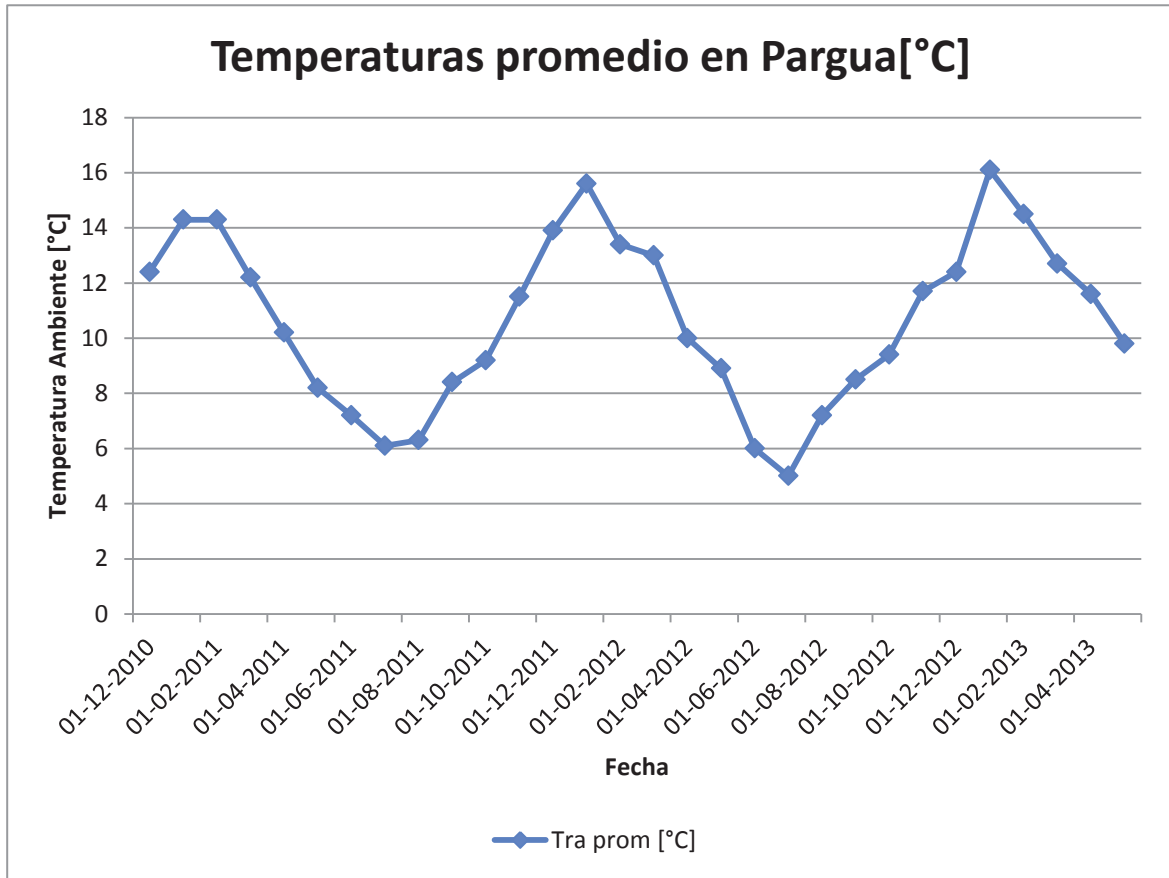


Figura 11. Comportamiento de los promedios mensuales de temperatura entre diciembre del 2010 hasta mayo del 2013.

En base a los datos presentados en la Tabla 4, se puede analizar el comportamiento de la temperatura por medio del gráfico que se ve en la Figura 11. En base a esto se definirá como temporada de temperatura alta o “verano” de octubre a marzo, mientras que se definirá como temporada fría o “invierno” de abril a octubre. Separando los datos de humedad de carragenina gruesa y fina en dos grupos de invierno y verano cada uno, se vuelven a analizar los datos.

En la Figura 12 y en la Figura 14 puede verse como en verano se tiene un promedio de humedad menor que en invierno, además en la Figura 13 y en la Figura 15 se puede apreciar que los valores de la humedad para el invierno tienen una distribución normal, por lo que se puede esperar que al simular estas condiciones se mantenga un comportamiento normal para todo el año.

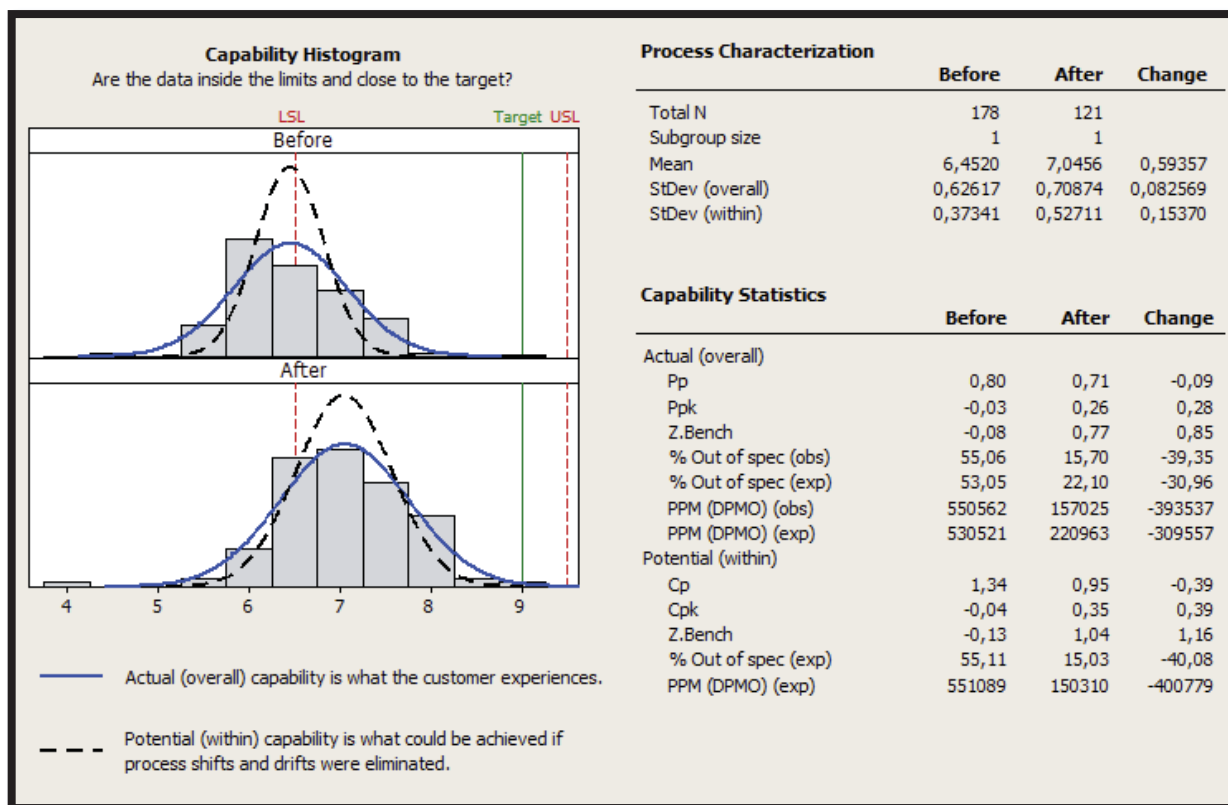


Figura 12. Análisis en minitab de la comparación entre el comportamiento de la humedad para la carragenina gruesa en verano (etiquetada como "Before") y en invierno (etiquetada como "After").

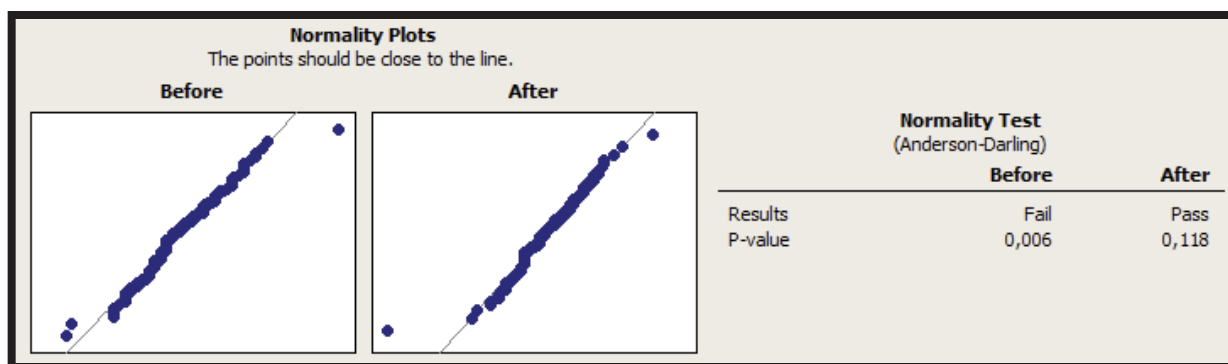


Figura 13. Análisis de normalidad, comparando entre la humedad en verano (etiquetada como "Before") y en invierno (etiquetada como "After").

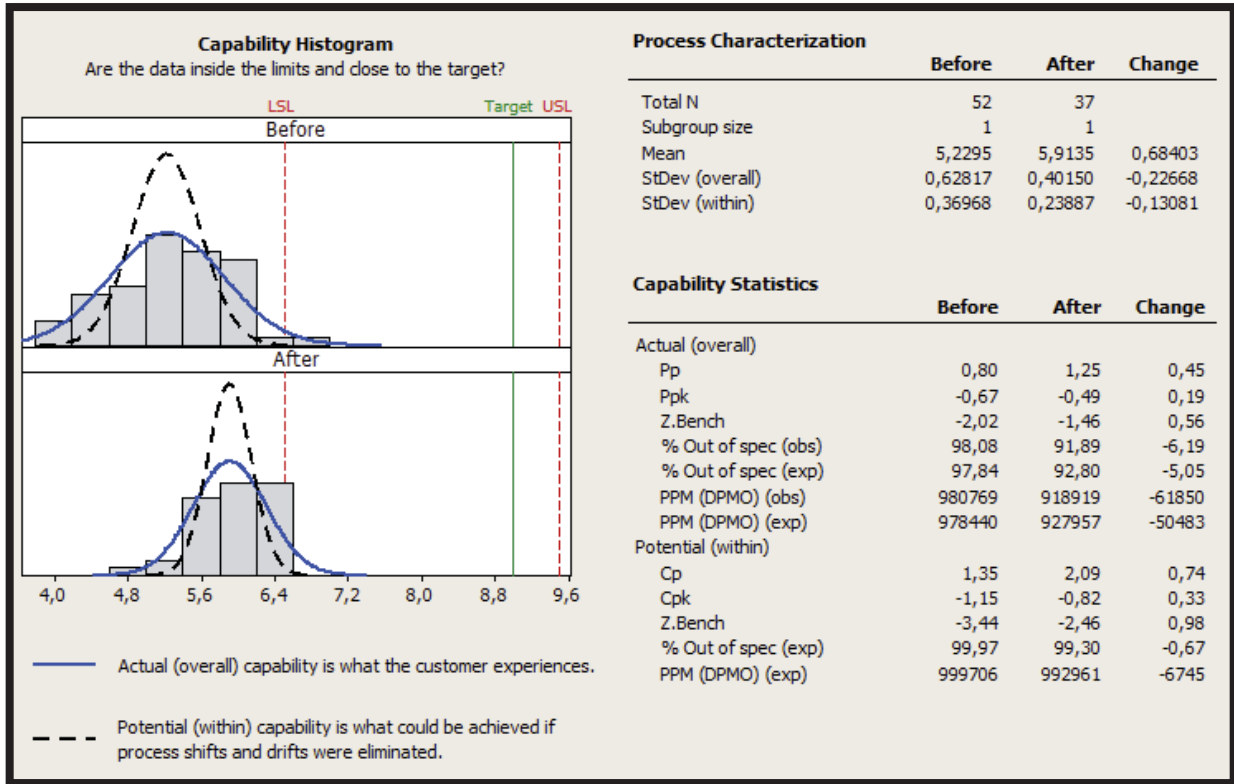


Figura 14. Análisis en minitab de la comparación entre el comportamiento de la humedad para la carragenina fina en verano (etiquetada como “Before”) y en invierno (etiquetada como “After”).

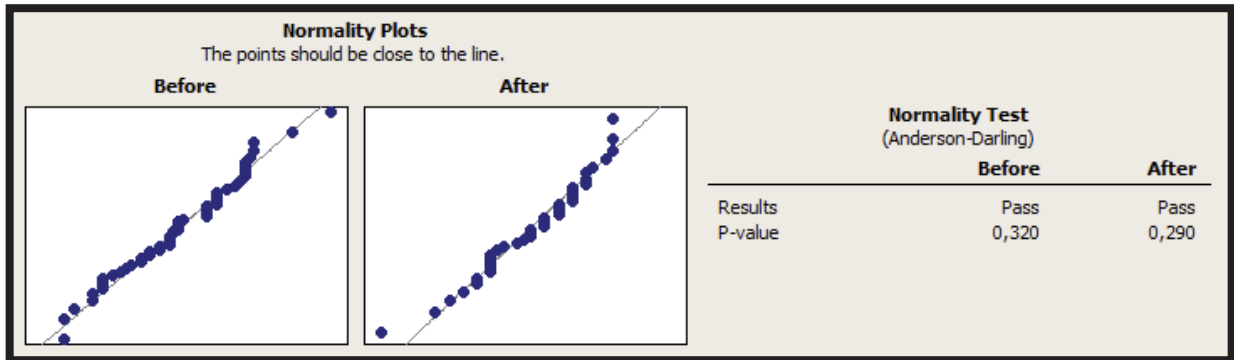


Figura 15. Análisis de normalidad, comparando entre la humedad en verano (etiquetada como “Before”) y en invierno (etiquetada como “After”).

En base a los análisis anteriores, se concluye que en “invierno” la humedad del producto final es mayor que en “verano”. Esto se debe a que en el proceso de molienda el producto se mueve por medio de aire, el cual entra al molino desde el ambiente. Al estar más frío el aire en invierno, el equilibrio en que opera el molino se alcanza a menor temperatura, lo que implica

que menos humedad del producto se evapora al aire y al mismo tiempo el aire se satura con menor cantidad de agua, por lo que el producto se seca menos al haber menor transferencia de masa.

1.2.5 Método seleccionado

Considerando el punto anterior, se optará por enfriar el aire que ingresa a la molienda para determinar si se logra aumentar la humedad del producto de esta forma. Por motivos de seguridad en la planta, el líquido criogénico considerado inicialmente es el nitrógeno líquido, el cual es más liviano que el oxígeno, por lo que su presencia en el área de molienda se puede controlar con un extractor en el techo del área, a diferencia por ejemplo del CO₂, que es más pesado que el oxígeno y podría desplazarlo en niveles peligrosos para la vida del operador o de cualquier persona que circule por el área.

Antes de decidir realizar pruebas prácticas, se realizó un balance de materia y energía para determinar si hay una cantidad de nitrógeno a usar que pudiese generar un aumento de la humedad del producto con un costo operacional menor al de las ganancias. Esto es presentado en el “Anexo C. Balances de Masa y energía.”, donde se comprueba que el estudio práctico tiene una base teórica atractiva (Aumenta el VAN analizado a 10 años en 9,73 millones de dólares con respecto al VAN del sistema actual, “Anexo C.5. Factibilidad económica del sistema propuesto.”).

También es importante mencionar que otros métodos para aumentar la humedad del producto han sido considerados (cambios en la premolienda, modificación en la recirculación, criomolienda, entre otros), pero en este trabajo solo se tomará el acercamiento de enfriar el aire de entrada pues los otros acercamientos serán tomados por otras personas o en otros proyectos.

1.3 Planteamiento del proyecto

1.3.1 Hipótesis

Es posible disminuir rentablemente las pérdidas de humedad en la molienda de la carragenina por medio de la inyección directa de nitrógeno en la línea de aire del molino.

1.3.2 Objetivo General del proyecto

Determinar si la disminución de la temperatura del aire del proceso de molienda de la carragenina, usando nitrógeno líquido, produce un aumento económicamente factible en la eficiencia del proceso.

1.3.3 Objetivos específicos del proyecto

- Conocer los parámetros de proceso el sistema actual de la molienda.
- Elaborar una metodología con la cual se estudiará la hipótesis.
- Conocer si al bajar la temperatura del aire, la humedad del producto final aumenta.
- Determinar si la operación es económicamente viable.

1.4 Plan de trabajo general

1.4.1 Descripción del plan de trabajo (tareas)

- Determinar la instrumentación existente en el sistema a estudiar:
Se identificaran los instrumentos disponibles en las líneas de operación que corresponden al sistema de molienda, anotando sus *TAGs*.
- Recopilar los datos disponibles de los instrumentos determinados:
Extraer los datos de los instrumentos determinados en la tarea anterior desde los valores almacenados por el *PLC* en el computador de sala de control, y llevarlos a un sistema en que se puedan estudiar (Planilla de Excel).
- Recopilar los datos disponibles de análisis de calidad de productos terminados:
Obtener en el sistema de *SAP* los datos históricos de humedad que se registran al realizar los exámenes de calidad de todos los batches de producción.
- Determinar los parámetros de operación del sistema que falten:
En base a los datos obtenidos desde el *PLC* y *SAP*, determinar qué parámetros faltan para caracterizar el sistema y obtenerlos mediante mediciones con instrumentos específicos o con datos inferidos de gastos que maneje el *departamento de Producción*.
- Recopilar toda la información y caracterizar el sistema:
En base a los datos obtenidos desde el *PLC*, desde *SAP*,
- Diseñar pruebas y coordinar su ejecución según la necesidad de equipos y/o materiales:
Diseñar las pruebas a realizar en la planta, considerando toda la normativa que se debe seguir según las reglas de la planta (estándares de DuPont), coordinando con los

departamentos de *Producción, Mantenición, Calidad* y Proveedores de fluidos criogénicos, diseñar y construir los equipos necesarios, etc.

➤ Realizar las pruebas:

Realizar las pruebas, siguiendo el protocolo establecido por DuPont.

➤ Analizar los resultados obtenidos a partir de las pruebas y aprobar o rechazar la hipótesis:

Recopilar los registros llevados a cabo durante las pruebas y determinar si al disminuir la temperatura de entrada del aire se disminuyen las pérdidas de humedad en el proceso de molienda.

➤ Realizar el estudio de pre factibilidad económica al enfriar el aire del proceso de molienda:

Determinar el costo de líquido criogénico consumido para enfriar el aire de entrada que genere el aumento de humedad observado y hacer la relación con las ganancias que esto produzca. Analizar si existe un retorno de capital al operar con el proceso planteado.

1.5 Riesgos principales.

Los principales riesgos de la investigación se pueden agrupar en tres grupo: riesgos a la ejecución de las pruebas, riesgos a que la hipótesis sea verdadera y riesgos a que la aplicación a escala industrial sea inviable.

Riesgos a la ejecución de las pruebas.

- Dado que la planta sigue un riguroso protocolo de seguridad, los estándares que tengan las empresas con que se realicen las pruebas podrían no ser suficientes para que se aprueben los trabajos a realizar, lo que podría retrasar las pruebas o incluso impedir las permanentemente.
- Dado que para obtener resultados con poco ruido es necesario aislar los batches en los que se realizarán las pruebas, es necesario que la producción en la planta permita que se produzcan tiempos muertos como para vaciar los silos y así poder separar los batches. En caso de no disponer de capacidad de molienda como para generar estos tiempos muertos, será necesario realizar la prueba en un momento en que no se detenga el proceso, es decir, cuando los silos necesarios estén vacíos y la prueba se tendrá que realizar a lo largo de la molienda de un batch completo, lo que requerirá una mayor cantidad de sustancia criogénica y de tiempo que si se aislara una fracción de un batch para realizar las pruebas.

Riesgos a que la hipótesis sea verdadera.

- En caso de que la temperatura del aire no sea el factor determinante si no que el factor sea otro, la hipótesis no podrá ser comprobada como verdadera.

Riesgos a que la aplicación a escala industrial sea inviable.

- El principal riesgo es que el costo de la sustancia necesaria para obtener la disminución de temperatura del aire sea mayor a la ganancia que genere el aumento de la eficiencia de molienda, lo que haría que si bien la hipótesis fuese verdadera, la aplicación de ésta fuese inviable.

Capítulo 2: Caracterización del sistema actual

Antes de intentar comprobar la hipótesis, se debe caracterizar el sistema actual de molienda, para de esta forma diseñar efectivamente las pruebas a realizar y obtener resultados representativos y de confianza. Para esto se cuenta con datos históricos de instrumentos instalados en el sistema, registros que se guardan automáticamente cuando se llenan planillas en sala de control e información de la tecnología del proceso disponible en la planta.

2.1 Instrumentación disponible

En la línea de molienda existe una instrumentación variada, aunque muy limitada para obtener datos.

En la parte externa de la planta existe una toma, que es por donde el aire entra al sistema de molienda. Esta entrada tiene las dimensiones señaladas en la Figura 16. En esta toma de aire hay un transmisor de temperatura (Figura 17), el cual registra datos en el PLC cada 1 minuto. En base a estos datos se podría obtener un perfil de la temperatura de entrada al sistema, sin embargo la capacidad del PLC solo almacena datos por 90 días, por lo que un análisis histórico (por lo menos de un año) no es posible.

Luego de esta entrada se tiene una reducción del área en la que fluye el aire, en esta entrada hay una tolva en la cual se ingresa producto que se necesite reprocesar, el cual proviene del rechazo de los tamices. Justo antes de esta tolva hay un filtro microbiológico para asegurar la inocuidad del producto. Esto se señala en la Figura 18.



Figura 16. Toma de aire del sistema de molienda con dimensiones anotadas.



Figura 17. Transmisor de temperatura en la toma de aire.

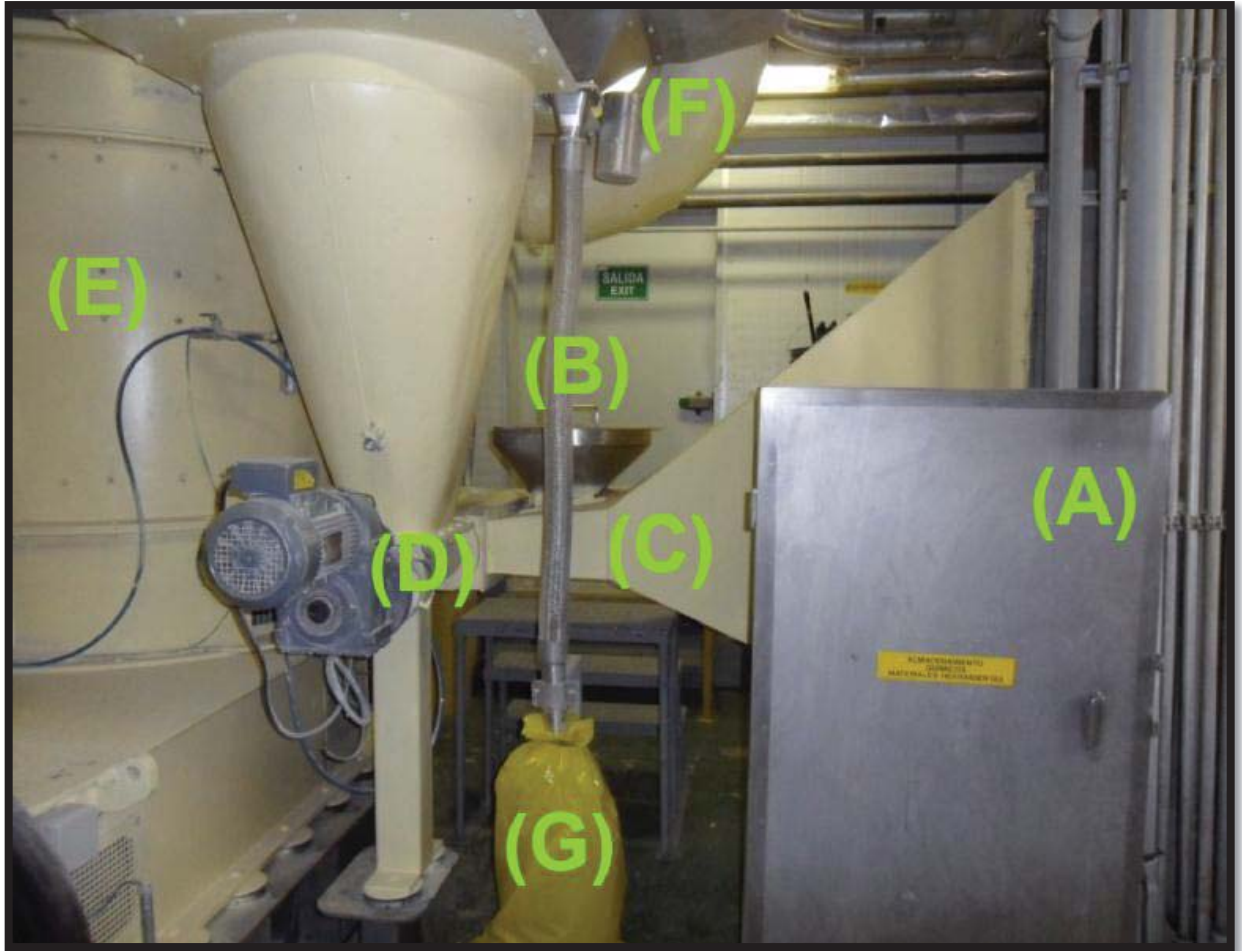


Figura 18. A: Entrada de aire. B: Tolya donde se alimenta el producto a reprocesar, la tapa se sostiene solo producto de la succión del aire. C: Ubicación del filtro microbiológico. D: Tornillo sin fin que alimenta el producto pre molido al sistema. E: Molino. F: Salida del molino hacia el clasificador. G: Recolección de partículas rechazadas por el imán autolimpiante.

Dentro del molino hay un sensor de temperatura, el cual está conectado a una pantalla que se encuentra en el PLC propio del área de molienda, donde el operador del área lo usa para controlar el variador de frecuencia del molino según el tipo de carragenina en proceso, pero no registra valores que puedan ser usados a modo de referencia histórica.

El resto de la instrumentación en la línea del sistema no presenta registros disponibles, pues están en lazos cerrados de control o bien están fuera de servicio.

2.2 Variadores de frecuencia y otros controles manuales del sistema.

Los distintos motores que definen los flujos del sistema o la eficiencia de los equipos son controlados por variadores de frecuencia (VLT). Este control se hace en función al producto que será molido. Los controles que se usan en el sistema son mostrados en la Figura 19 y funcionan como se describe a continuación.

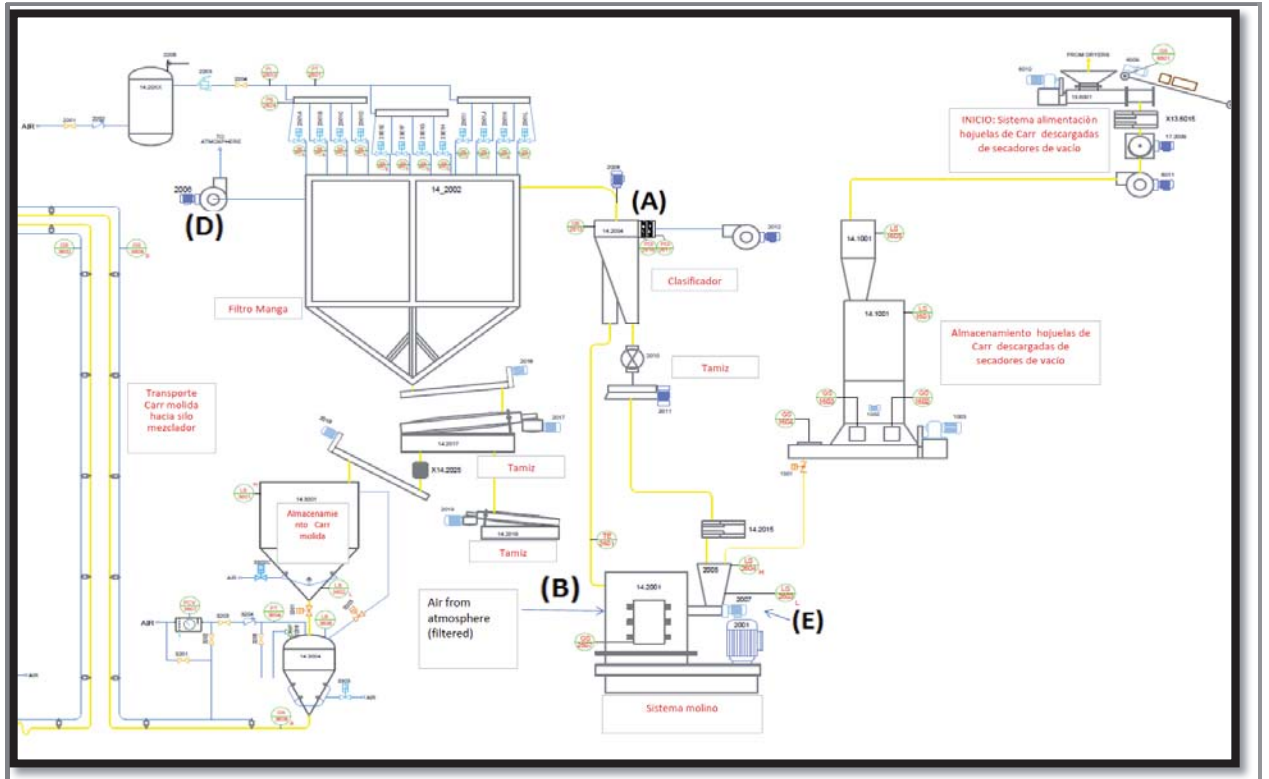


Figura 19. Diagrama del proceso de molienda donde se ilustra la instrumentación útil para la investigación.

- El soplador del clasificador (“(A)” en la Figura 19) debería funcionar dependiendo del tipo de carragenina que se esté produciendo, sin embargo este equipo se clausuró pues se producían fugas, donde el producto molido salía despedido hacia el soplador en vez de seguir hacia el filtro de mangas, por lo que actualmente su flujo puede considerarse como nulo.
- En la entrada del sistema de aire se tiene una guillotina (“(B)” en la Figura 19) que limita el área de ingreso de aire, la cual opera aproximadamente a un 75% de apertura (hay una graduación que se hizo en la planta, pero no cuenta con ninguna certificación que garantice este valor como uno exacto).

- c) En el extremo final de la línea del aire usado en la molienda se encuentra el extractor 14.2006 (“(D)” en la Figura 19), el cual opera con un variador de frecuencia por sobre un 95% de su máximo.
- d) En la alimentación (“(E)” en la Figura 19) al molino se encuentra un tornillo sin fin cuyo motor cuenta con un variador de frecuencia, el cual se controla según el tipo de carragenina a procesar según se describe en la Tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de operación del variador de frecuencia para el motor del tornillo de alimentación 14.2007 según los tipos de carragenina.

Tipo Carragenina	VLT tornillo alimentación
F1 o G3	37% a 38%
G2	46% a 47%
G4	45% a 48%
G1 o G5	35% a 38%

- e) Existe un sensor de temperatura integrado en la estructura del molino, el cual está conectado al tablero del área de molienda y allí tiene una pantalla local que puede ver el operador. En el *Departamento de Producción* se manejan los datos de temperatura según el tipo de carragenina a los cuales se debe mantener el molino, estos se muestran en la Tabla 6. La temperatura se mantiene al acelerar o disminuir la velocidad a la que funciona el molino.

Tabla 6. Temperaturas internas del molino según los distintos tipos de carragenina.

Tipo Carragenina	Temperatura interna del molino (° C)
F1 o G3	60 a 68
G2	61 a 65
G4	62 a 67
G1 o G5	63 a 68

2.3 Pérdidas de humedad en la molienda.

A modo de determinar en qué partes de la molienda se pierde la mayor parte de la humedad, se tomó una muestra en los puntos señalados en la Figura 20. A estos puntos se les midió la humedad con una máquina de infrarrojos que calienta la muestra hasta peso constante y

entrega el valor de humedad en porcentaje automáticamente. Los resultados de estas humedades se muestran en la Tabla 7.

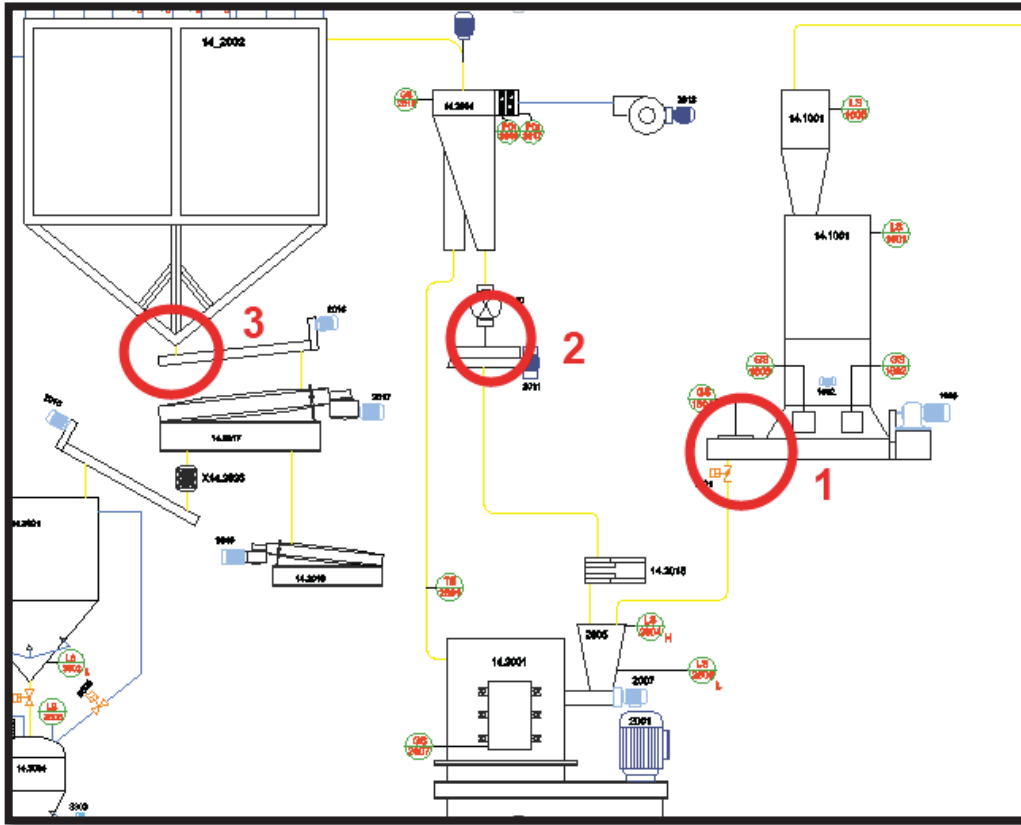


Figura 20. Puntos donde se tomaron muestras para caracterizar las muestras de humedad.

Tabla 7. Valores de humedad usados para determinar donde se produce la mayor pérdida de humedad.

Lugar	Humedad [%]			
	Inicio	Mitad	Final	Promedio
1: Silo 14.1001, producto pre-molido.	22,92	23,88	24,17	23,66
2: Reciclo en harnero despeluzador, producto molido.	8,36	7,56	9,01	8,31
3: Salida del filtro de mangas, producto molido dentro de especificaciones.	6,32	6,56	7,57	6,82

Si comparamos los puntos 1 y 2 en la Tabla 7, tendremos la humedad perdida solo en la molienda (15,35 puntos), lo cual lleva a que se debería apuntar a bajar la temperatura interna del molino. Mientras que al comparar 2 con 3 tendremos la humedad perdida en el transporte

(1,49 puntos), lo cual lleva a que se debería apuntar a enfriar el aire en general en el sistema (lo anterior se puede afirmar teniendo en consideración que la distancia entre los puntos 1 y 2 es mucho menor que la distancia entre los puntos 2 y 3 en cuanto a trayecto de cañerías).

Sin embargo, al conseguir el primer efecto mencionado, el segundo se da por consecuencia, con lo que bastaría con bajar la temperatura interna del molino para alcanzar el efecto deseado (la disminución de temperatura en °C debe ser determinada experimentalmente). De todos modos es importante hacer esta distinción, pues el molino opera a alta temperatura en comparación a la que entra el aire, por lo que si enfriamos el aire demasiado se corre el riesgo de que a la salida del molino la temperatura sea menor que la de entrada, provocando que el agua se condense en la línea de transporte neumático, ocasionando graves problemas en el proceso.

2.4 Conclusión

En base a los datos expuestos en los últimos dos capítulos, podemos afirmar que la humedad perdida en el sistema de molienda es producto de la dinámica interna del molino, que la temperatura a la que entra el aire sí es un factor determinante en la pérdida de humedad y que falta definir datos para poder caracterizar al sistema actual, los cuales no pueden ser obtenidos hasta que se implemente una instrumentación más completa en el sistema.

Capítulo 3: Planteamiento del problema.

3.1 Explicación

Dado que se estima que gran parte de la humedad que el producto pierde en el proceso de molienda pasa al aire usado para el transporte, se consideraron los factores termodinámicos que influyen en cuánta humedad puede absorber el aire antes de llegar al equilibrio.

Estos factores son:

- Humedad relativa del aire: Se analizaron los datos resumidos en la Tabla 4, y se los compararon con los valores de la humedad del producto. Se observó que el comportamiento de las tendencias de la humedad del producto final y la humedad relativa del aire de alimentación al sistema no presentaban comportamientos similares, como se puede ver en la Figura 21, descartando así una dependencia.

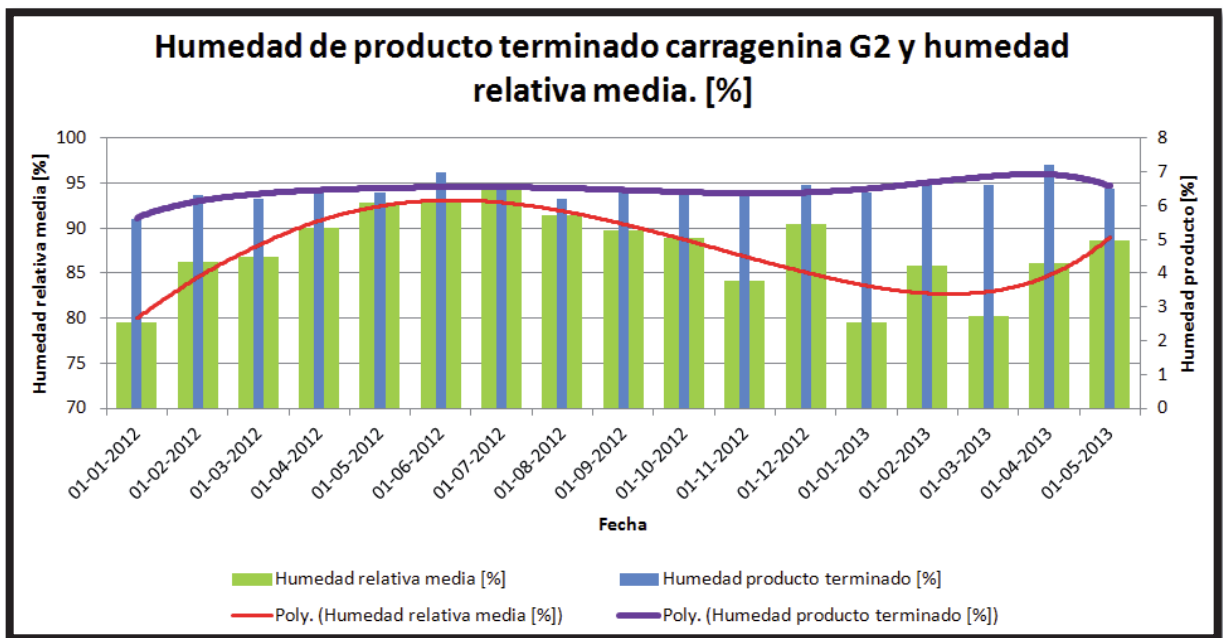


Figura 21. Gráfica de la humedad del producto terminado y de la humedad relativa del aire en función de la fecha. Ambas expresadas como porcentaje en escalas distintas.

- Presión: Para evitar que la humedad de la carragenina se evapore al aire del transporte, se podría aumentar la presión del aire al comprimirlo y así hacer que la humedad máxima del aire disminuya. Sin embargo no es posible mantener el aire comprimido en la línea de la molienda (especialmente en el molino) dado que no está diseñada para trabajar con aire

comprimido, por lo que en vez de generar aire comprimido se generaría un exceso de fugas del producto.

- **Temperatura:** Si la temperatura disminuye, el equilibrio del sistema hará que se tienda a evaporar menos agua hacia el aire. De esta forma se podría controlar el sistema, ya que una disminución de la temperatura no perjudica ningún proceso de la molienda. Además al comparar datos históricos de temperatura ambiental (recordando que el aire se saca del ambiente) contra la humedad del producto terminado, se observó que en los mínimos de la curva de tendencia de la temperatura se tenían los máximos en la curva de tendencia de la humedad del producto. Así mismo se observó que para los máximos de la curva de tendencia de la temperatura del aire, se tiene la menor humedad del producto terminado. Esto se aprecia en la Figura 22.

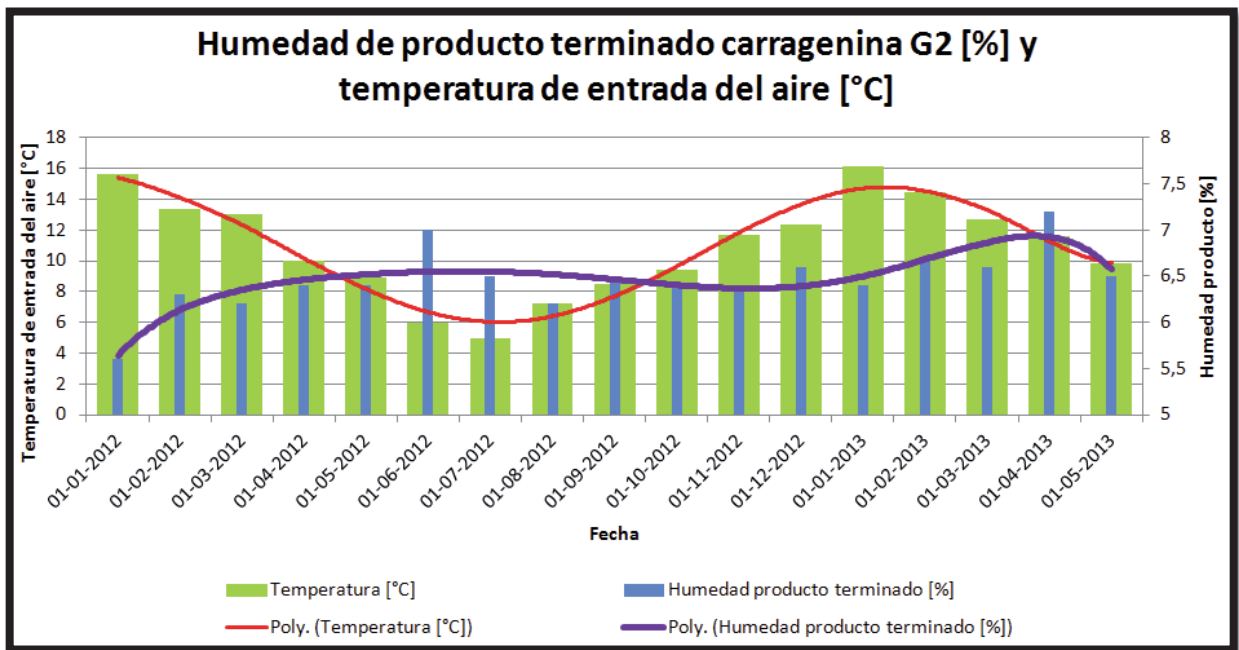


Figura 22. Gráfica de la humedad del producto terminado y de la temperatura del aire en función de la fecha. En porcentaje y en °C respectivamente.

En base a lo anterior la temperatura se reafirma como el parámetro a manipular, sin embargo un estudio más al detalle es necesario para entender a qué temperatura se debe disminuir el aire de entrada para que aumente la humedad del producto final.

En base a un análisis del sistema que se hizo con el experto en molienda, Gary Liu (DuET); se determinó que en base al funcionamiento del molino, la pérdida de humedad se daría por la energía mecánica que genera la dinámica de funcionamiento del molino (golpes martillos con

producto, roce producto con producto y roce producto con liners). Esta energía mecánica parte como energía eléctrica que pasa por el motor del molino, luego pasa a energía mecánica (cinética) que se usa para pulverizar el producto, la cual termina disipándose como energía calórica y cinética. Es esta energía calórica la que ocasiona que el agua se evapore en el transporte del producto, pues el aire aumenta su temperatura y asumiendo que se mantiene saturado (peor escenario posible), seca la carragenina al transportar más agua, produciendo un desplazo en la carta sicométrica como se muestra en la Figura 23 (suponiendo el aire saturado de agua). A su vez, la energía cinética genera un aumento en la temperatura interna del molino, lo que ocasionaría el mismo efecto que en el punto anterior. Sin embargo basta con una simple comparación de humedades del producto en tres puntos distintos del sistema y ver dónde está la diferencia de temperaturas más significativa, lo cual se comprobó en el capítulo 2, punto 5.

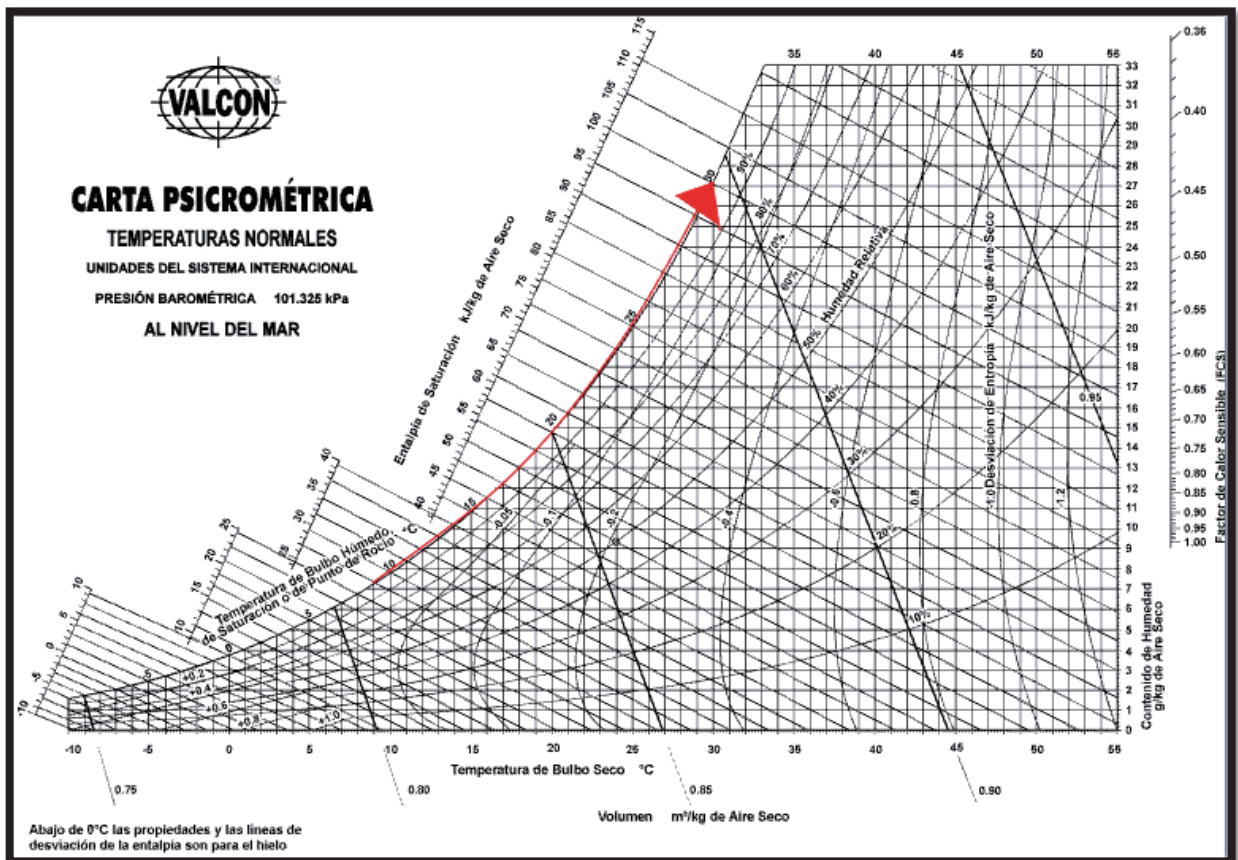


Figura 23. Comportamiento del efecto del aumento de temperatura del aire de transporte, asumiendo que con esto agua se evaporará y mantendrá la humedad relativa constante.¹

1: Carta Psicrométrica original: Encontrada en Internet en:

<http://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>. Visitada el 05 de julio del 2013.

3.2 Acercamiento teórico al problema

Con el fin de estudiar los beneficios que pudiese traer una modificación del sistema, se realiza un balance de masa y energía del sistema actual, en base a mediciones tomadas en la planta y a suposiciones; éstas se pueden ver al detalle en el “Anexo C.2. Balance de masa y energía del sistema actual.”. Con esto se logran encontrar los flujos de energía del sistema, los cuales eran desconocidos.

Una vez el sistema actual se ha identificado, y se han definido los flujos de energía, se procede a replantear las ecuaciones dejando todo en función a una inyección de nitrógeno, como se puede ver en el “Anexo C.3. Balance de masa y energía del sistema necesario con nitrógeno líquido.”. En base a esto, se tantea el flujo de nitrógeno que se requeriría para lograr el aumento de humedad deseado, lo que entrega un valor de 95 kg/hr.

Analizando las ganancias por la humedad versus el costo de nitrógeno, se hace el análisis económico en el “Anexo C.5. Factibilidad económica del sistema propuesto.” y se comprueba que en base a las suposiciones señaladas en ese capítulo, la operación sería económicamente viable y se justifica realizar pruebas prácticas en planta, las cuales tendrán el acercamiento detallado en el siguiente punto.

3.3 Métodos a utilizar

A modo de comprobar la hipótesis se realizaron dos pruebas para determinar el efecto de la disminución de la temperatura del aire que entra al sistema sobre la humedad del producto final. Para esto se hará uso de nitrógeno líquido, sustancia criogénica con la cual se obtendrá la disminución de temperatura.

La primera prueba fue una inyección de nitrógeno en la toma de aire, el cual se vaporizaba en un arco de aspersores y era succionado junto con el aire.

La segunda prueba fue una lluvia de nitrógeno líquido por medio de un inyector con micro poros, donde la vaporización ocurrió en el flujo de aire que entra al molino.

Estas pruebas serán descritas al detalle en los siguientes capítulos.

Capítulo 4: Pruebas con arco de aspersores en la toma de aire.

La primera prueba realizada para determinar el consumo de sustancia criogénica (nitrógeno) fue llevada a cabo con la empresa Indura, quienes son los proveedores actuales de nitrógeno líquido de la planta. Ellos propusieron un arco de aspersores para rociar el nitrógeno en la toma de aire del molino, en base a esta pieza se diseñó el resto de la prueba.

4.1 Diseño del equipo para la prueba.

4.1.1 Arco de aspersores

La empresa Indura propuso su equipo para la prueba, un arco de aspersores de acero inoxidable. Éste se debió colocar en la toma de aire, por lo que una pre-cámara para posicionarlo y realizar la adición de nitrógeno de manera segura fue necesaria. Este arco de aspersores cuenta con 36 aspersores repartidos en distancias iguales uno de otro en una cañería en forma de C de 1 pulgada, la cual tenía 1 [m] de ancho por 1,8 [m] de alto.

4.1.2 Pre-cámara

En base al espacio disponible en la parte externa de la toma de aire, se tomaron las medidas (Figura 24) y se mandó a construir una pre-cámara en la cual se montó el arco de aspersores. La pre-cámara se construyó con las siguientes especificaciones¹:

- A modo de base, se consideró un perfil cuadrado de 50 x 50x 3 mm fierro, anclado al cemento con pernos tipo Hilty de ½ pulgada, galvanizado.
- Las uniones fueron rematadas con soldadura 70/18.
- Se pinta la estructura con Anticorrosivo y pintura epóxica color negro.
- Se colocó una plancha lisa para revestimiento de 3 mm de espesor, soldada a la base de la estructura ya mencionada.
- La plancha fue plegada en ambas puntas para así evitar cortes a terceros
- La presente estructura se construyó con un alto de 2335 mm, ancho de 1280mm y laterales de 1000 mm. Toda la estructura fue realizada en Fe sae 10-45

1: Extracto de la cotización de SMI para el trabajo pedido.

- En frente de la estructura se consideró una entrada de aire fabricada con celosías en plancha zinc-aluminio de 5 mm, anclada y remachada a la base; fijada con pernos para así poder ser desmontada.



Figura 24. Fotografía de la parte externa de la toma de aire, con las medidas del espacio libre expresadas.

La pre-Cámara, construida e instalada se muestra en la Figura 25. Cuenta con el ingreso para el arco de aspersores y un soporte para cilindros de gas.



Figura 25. Fotografía de la pre-cámara instalada en la toma de aire del molino principal.

4.2 Funcionamiento teórico del equipo

Se inyectó nitrógeno líquido por los aspersores, el cual producto de la presión interna del cilindro (20 bar al inicio de la prueba, 5 bar al final), sale a presión y pasa de estado líquido a gaseoso absorbiendo el calor del aire, disminuyendo así su temperatura.

En teoría el aire más helado absorberá la pérdida de calor liberada por el funcionamiento del molino, previniendo que el calor sea usado por el agua de la carragenina para evaporarse y así, disminuir la pérdida de humedad del producto.

4.3 Diseño de las pruebas a realizar

Para realizar esta prueba, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se deben recibir los termos de nitrógeno en la planta y transportarlos con grúa horquilla hasta el costado de la toma de aire.
2. En el área de la prueba, el termo se debe mover con una traspaleta que conste con una pesa. Se debe registrar el peso inicial del termo con nitrógeno.
3. Se debe delimitar el área para que solo ingrese al sector personal con protección criogénica.
4. Se debe conectar el tubo flexible a la conexión del arco de aspersores. Luego se debe conectar el tubo flexible al termo de nitrógeno.
5. Se debe abrir la válvula del termo para comenzar con la adición de nitrógeno líquido, regulando la apertura de la válvula al mantener constante la temperatura que se registra en el transmisor de temperatura (Figura 17).
6. Una vez determinado el flujo de nitrógeno líquido, se debe comenzar con la molienda, habilitando el tornillo que alimenta el producto premolido al sistema.
7. Se deben tomar 4 muestras para determinar la humedad del producto. Estas muestras se deben tomar en los siguientes puntos:
 - i. En la alimentación al premolino, donde se adiciona el producto que proviene del secador. Aquí se determinará la humedad antes de la molienda.
 - ii. En el tornillo que alimenta el producto pre-molido al molino. Aquí se determinará la humedad del producto después de la premolienda y antes de la molienda.
 - iii. En la recirculación del producto rechazado por el clasificador, después de la molienda en el molino long-gap. Aquí se determinará la humedad después de la molienda y antes del filtro de mangas.
 - iv. En la válvula de toma de muestras en la salida del filtro de mangas. Aquí se determinará la humedad del producto final.
8. Una vez terminada la prueba, se debe cerrar la válvula del termo de nitrógeno y se debe desconectar el flexible de la pre-cámara. Se debe registrar el peso del termo para ver cuánto nitrógeno fue usado.
9. Cuando el aire que ingresa al molino vuelva a su temperatura normal, repetir el muestreo de la molienda, considerando los registros de humedad como datos de control.

4.4 Contingencias antes de las pruebas

La pre-cámara no contaba con la conexión para el flexible con que se introduce el nitrógeno líquido a los aspersores, por lo que se tuvo que pedir al tornero de la planta que construyera uno.

4.5 Desarrollo de la prueba

Se montó el arco de aspersores en el interior de la pre-cámara, como se ve en la Figura 26.

Se pesó el termo de nitrógeno, registrando un peso total de 246 [kg] compuestos por el peso del termo y el peso del nitrógeno.

Luego se conectó el tubo flexible y se abrió la válvula de ingreso del nitrógeno. Todo esto fue llevado a cabo por el profesional de Indura, quien contaba con la protección criogénica necesaria, como se muestra en la Figura 27.



Figura 26. Fotografía del arco de aspersores montado en el interior de la pre-cámara.



Figura 27. Fotografía del técnico de Indura abriendo la válvula de ingreso de nitrógeno líquido.

Se reguló el ingreso de nitrógeno hasta que la temperatura que originalmente estaba a 13 °C bajó a 0 °C. El nitrógeno se vaporizó como se ve en la Figura 28. Una vez se alcanzó esta temperatura, se comenzó con la molienda y se tomó la primera muestra en cada punto. Se midió su humedad en la máquina de infrarrojos que está en la sala de control de la planta, en el Departamento de Producción.



Figura 28. Fotografía del nitrógeno siendo inyectado por medio del arco de aspersores.

Cuando se agotó el nitrógeno, se registró el peso del termo, el cual fue de 187 [kg]. Se desconectó el termo de la pre-cámara y se tomaron muestras en los mismos puntos para tener los datos de control; esto fue realizado unos minutos después de que la temperatura del aire volviese a su estado normal.

4.6 Contingencias durante la prueba

El nitrógeno que se necesitaba para la disminución de temperatura fue demasiado, por lo que la prueba inicialmente diseñada para durar 1 hora solo duró 11 minutos, esto después de que se alcanzara la temperatura constante de 0 °C. En este tiempo se alcanzó a realizar el muestreo planeado solo en una ocasión, por lo que los resultados no son concluyentes. Sin embargo, el gran consumo de nitrógeno que se necesitó para disminuir la temperatura del aire de esta manera hace que sea inviable la operación constante de esta inyección de nitrógeno, por lo que el gasto monetario en más nitrógeno para repetir las pruebas no se justifica y por lo tanto no se autorizó.

4.7 Resultados

En los únicos muestreos tomados se registraron los valores de humedad que se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de humedad registrados en la prueba y en el control del experimento.

Tipo de Batch	Humedad [%]	
	Alimentación a la mollienda	Producto terminado
Prueba	28,85	6,89
Control	27,89	6,98

De los valores de las pérdidas de humedad que se ven en la Tabla 9, se puede ver que las pérdidas de humedad en la mollienda completa fueron mayores en la prueba que en el control. Si bien la diferencia en la magnitud de humedad perdida no es alta, en ningún caso es un escenario menor.

Tabla 9. Pérdidas de humedad relativas a la prueba.

Tipo de Batch	Pérdidas de Humedad [%]
Prueba	21,96
Control	21,00

En base al peso que se registró del termo de nitrógeno, se puede calcular que se consumieron 59 kg de nitrógeno líquido en 11 minutos. Esto implica un consumo de 321,82 [kg de Nitrógeno/hora].

4.8 Conclusiones

Basándonos en los resultados de pérdidas de humedad en la mollienda, se concluye que las pérdidas de humedad después del pre-molino se ven aumentadas, pero el muestreo es insuficiente como para llegar a una conclusión.

Además, dado el alto consumo de nitrógeno líquido durante la prueba, una repetición de estas se hace inviable pues no se autorizan los fondos para comprar más nitrógeno líquido a Indura para las pruebas. Por lo tanto, la hipótesis se mantiene sin ser comprobada o rechazada y esta prueba no se considerará para el análisis económico.

Capítulo 5: Pruebas con inyector en tolva de la entrada de aire.

La segunda prueba realizada para determinar el consumo de nitrógeno fue llevada a cabo con Praxair, quienes son los proveedores actuales de dióxido de carbono de la planta. Ellos propusieron el inyector de cerámica con micro-poros que se menciona más adelante y en base a esta pieza se diseñó el resto de la prueba.

5.1 Diseño del equipo para la prueba.

5.1.1 Inyector

Las pruebas siguientes se diseñaron en base al método de adición de nitrógeno sugerido por Praxair. Esto consiste en unas piezas de cerámica con micro poros, las cuales están diseñadas para generar una especie de lluvia de nitrógeno, a diferencia de la otra prueba en la cual el nitrógeno se vaporiza en los aspersores. En la Figura 29 se puede ver una de las piezas de cerámica facilitadas por Praxair. Estas correspondían a dos piezas cilíndricas huecas de 50 [mm] de largo, de 24,5 [mm] de diámetro interno y de 33 [mm] de diámetro externo.



Figura 29. Fotografía de una de las piezas de cerámica con micro-poros facilitadas por Praxair.

Además, Praxair entregó a modo de referencia las imágenes que se ven en la Figura 30 y en la Figura 31. En base a estas figuras se procede a diseñar el inyector, la pieza que lo soportará y las pruebas a realizar con este equipo.

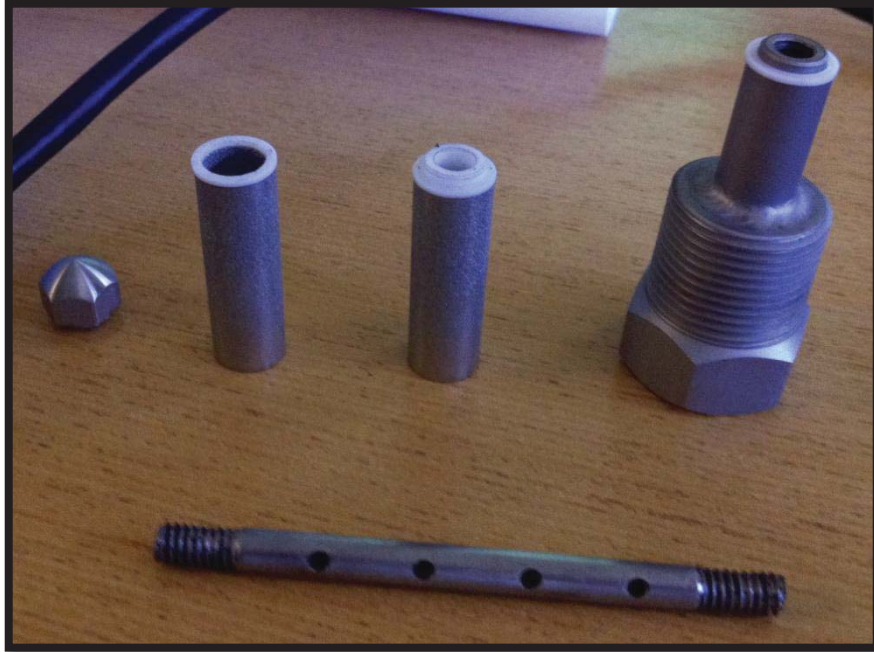


Figura 30. Fotografía de referencia entregada por Praxair con las piezas del inyector por separado.



Figura 31. Fotografía de referencia entregada por Praxair con el inyector montado.

Antes de diseñar la pieza análoga a la referencia entregada por Praxair, se buscó un lugar en la entrada al aire del molino donde se pudiese conectar este equipo sin la necesidad de intervenirlo, es decir, sin generar tiempos muertos en la molienda para conectar el equipo. Al ver la toma de aire del molino, es evidente que no presenta ninguna conexión existente para incluir este inyector. Sin embargo, existe una tolva (Figura 32) por la cual los operadores

adicionan producto que rechazan los tamices que debe ser reprocesado, acción que se lleva a cabo 2 a 3 veces al día. Esta tolva cuenta con una tapa que se mantiene en su lugar exclusivamente por la succión del aire, por lo que se decidió construir una tapa especial para esta prueba, la cual se construirá en taller de soldadura e incluirá las conexiones para el inyector, para el flexible que conecta el sistema al termo de nitrógeno o a los cilindros de dióxido de carbono y para una termocupla, a modo de cuantificar la entrada de gas.



Figura 32. Vista interna de la toma del aire en el área 14, con acercamiento de la tolva a reemplazar para la prueba.

En base a la pieza cerámica, se realizó el diseño que se muestra en la Figura 33, donde se incluye un espárrago hueco con 4 brocas que atraviesan la pieza, con hilo externo a ambos lados; una tapa gorro, 3 golillas de teflón y una pieza base para conectar a la tapa de prueba.

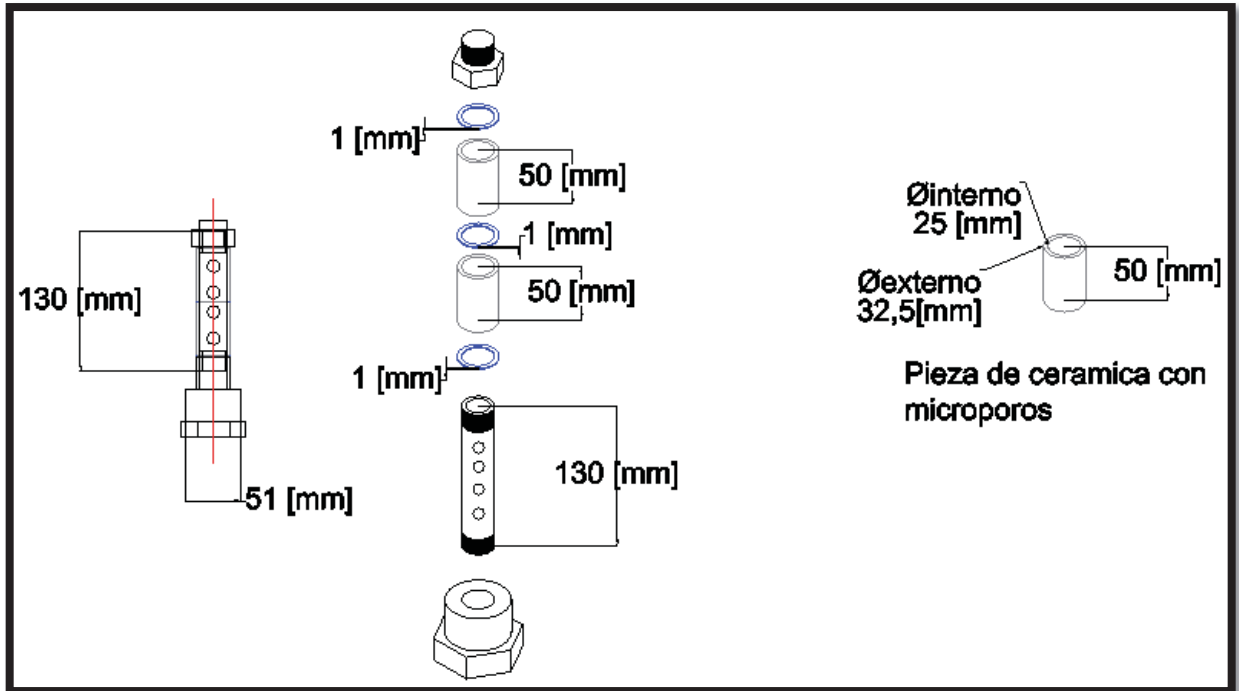


Figura 33. Diagrama del diseño de la pieza a fabricar para la prueba.

El único diámetro que se especifica es el de la pieza de cerámica, esto se debe a que el diagrama de la Figura 33 se entregó al tornero para que construyera la pieza y como las partes de cerámica eran las únicas existentes, el resto de los diámetros podía variar sin afectar la finalidad del equipo.

Debido a que el tornero de la planta no tenía disponibilidad de tiempo y para no ocupar recursos del Departamento de Mantenimiento, en una reunión para afinar detalles referentes a otro proyecto que se realiza en la planta con la empresa SARMAR, se habló con el encargado y se solicitó que hicieran la pieza. En esta reunión se solicitó que la pieza fuera de acero inoxidable 316L, que tuviese las dimensiones entregadas en el diagrama de la Figura 33.



Figura 34. Inyector conectado al flexible, armado una vez se recibió de la maestranza de SARMAR.

El problema de esto es que dejaron con hilo interno uno de los extremos del eje de la pieza, por lo que la longitud quedó sobredimensionada (como se ve en la Figura 34, en la parte izquierda del inyector en la fotografía), dejando lugar a escapes no deseados en la parte que se conectaría a la tapa de prueba. Además, las brocas fueron hechas solo por un lado de la pieza en vez de atravesarla, que fue lo que se conversó.

Por lo tanto, se solicitó en taller de soldadura que se hicieran los arreglos necesarios para terminar la pieza según el diseño, es decir, se solicitó que se soldase un trozo de 2 [cm] de cañería de acero inoxidable 304 en la pieza que une el eje con la tapa prueba y que se hicieran los agujeros correspondientes en el costado del eje en que faltaban. En la Figura 35 y en la Figura 36 se puede apreciar como quedó la pieza una vez terminada.



Figura 35. Partes por separado del inyector con las piezas corregidas en taller de soldadura.



Figura 36. Inyector terminado.

5.1.2 Tapa de prueba

Una vez obtenido el inyector, se solicitó en taller de soldadura que se construyera la tapa de prueba en base a las especificaciones señaladas en la Figura 37.

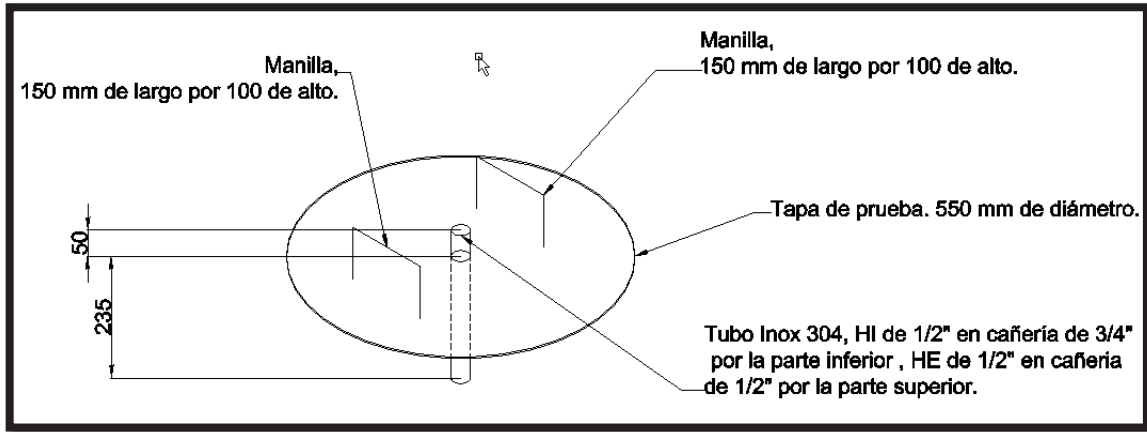


Figura 37. Diseño entregado en taller de soldadura para la construcción de la tapa de prueba. Las cotas que no se especifican y líneas de centro se omitieron para facilitar el entendimiento del diagrama por parte de los soldadores.

Esta pieza fue construida sin mayores problemas, incluyendo posteriormente la conexión para una termocupla, quedando finalmente como se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Tapa de prueba con flexible, inyector y termocupla conectados.

5.2 Contenedores de las sustancias facilitadas por Praxair.

Praxair facilitó para la prueba, sin costo, un termo de nitrógeno líquido. El termo puede apreciarse en la Figura 39.



Figura 39. Fotografía del termo de nitrógeno líquido, almacenado junto al tanque de nitrógeno líquido de la planta, en el lugar de contención de sustancias criogénicas.

5.3 Funcionamiento teórico del equipo

Las piezas de cerámica con micro poros están ideadas para generar una lluvia de nitrógeno líquido en la entrada del aire, el cual se vaporiza en esta corriente y absorbe calor suficiente como para enfriarla.

La conexión del inyector está inmediatamente al lado del molino, por lo que teóricamente se espera que la mayor parte de la transferencia de calor se dé en el interior del molino.

5.4 Diseño de las pruebas a realizar

Con el equipo diseñado se preparó un procedimiento a seguir para poder realizar las pruebas junto con personal del Departamento de Producción. Este procedimiento incluyó los siguientes puntos.

1. Preparar el área:

- a) Se debe avisar al jefe de turno y al operador del área que se realizarán las pruebas en el Área 14, dejando constancia del tiempo que demorarán las pruebas y de la toma de muestra que debe llevarse a cabo.
- b) Se debe delimitar el área donde se realizará la prueba, asegurando que nadie se acerque a la zona y aún así dejar una vía de tránsito libre para que el operador circule entre el área de secadores y el área de molienda. Para esto usar cinta facilitada por la brigada de emergencias de la planta.
- c) Se debe revisar el AST (Análisis Seguro del Trabajo) de las tareas a realizar en la prueba con todos los involucrados en esta y obtener la firma del dueño del área donde se realizarán las pruebas.
- d) Se debe ingresar la tapa de prueba y todo el equipo relativo a la prueba (contenedores de gas, conexiones, EPPs, otros) registrándolo en el permiso de intervención en planta, contando con la aprobación de operador del área y del jefe de turno. El termo de nitrógeno se debe ingresar con grúa horquilla hasta área 19 y dejar la válvula de alivio apuntando hacia un lugar seguro.
- e) Se debe registrar qué batches se encontrarán en proceso al realizar las pruebas.
- f) Se debe facilitar el termómetro a la persona encargada de tomar las muestras.
- g) Vaciar el silo de producto terminado y asegurar que hay suficiente producto en el silo de producto pre molido para poder realizar la prueba.

2. Transportar los contenedores de líquido criogénico al área de molienda.

Transportar con grúa horquilla el termo de nitrógeno hasta el área de molienda. Dentro del área transportar el termo con las ruedas que incluye la estructura de fierro del termo entre dos personas.

3. Conectar sistema de gas a la tapa de prueba

- a) Se debe conectar el inyector a la tapa de prueba. Se debe comprobar que la conexión está bien puesta y no hay lugar para fugas, además, toda conexión con hilo debe ir con teflón, para de esta forma minimizar las probabilidades de fugas o de que el inyector se desarme.
- b) Se debe comprobar que la válvula de regulación del termo de gas esté cerrada, luego se debe conectar el flexible del termo a la tapa de prueba. Se debe comprobar que la conexión esté bien puesta y que no haya lugar para fugas.

4. Cambio tapas de la tolva.

- a) Se debe comprobar que los puntos anteriores se hayan cumplido antes de conectar el sistema al proceso de molienda.
- b) Teniendo a mano la tapa de prueba, se debe retirar la tapa que normalmente va en la tolva de la entrada de aire al molino y se debe colocar inmediatamente la tapa de prueba.

5. Prueba

- a) Registrar qué batches componen el silo 14.1001 y alimentar al proceso de molienda por 60 minutos con este producto, esto será para el control de la prueba.
- b) Para el batch de control:
 - i. Registrar la hora a la que se comience a alimentar el producto.
 - ii. Registrar el peso de producto en el silo de homogeneizado que se indica en la pantalla local del PLC del área de molienda.
 - iii. Abrir la tapa del tornillo sin fin de la salida del silo 14.1001 y tomar una muestra del producto premolido. Inmediatamente después de tomar la muestra medir la temperatura y registrarla. Enviar la muestra a laboratorio para análisis de tamaño de partículas y humedad. Repetir esto cada 20 minutos hasta completar 1 hora de control. Registrar la hora en que se tome cada muestra.
 - iv. Retirar la tapa de toma de muestras del harnero despeluzador 14.2011 y tomar una muestra. Inmediatamente después de tomar estas muestras se

- debe medir la temperatura de éstas por medio de un termómetro portátil facilitado por laboratorio, registrando estos datos. Luego enviar las muestras a laboratorio para análisis de tamaño de partículas y humedad. Repetir esto cada 20 minutos hasta completar 1 hora de control. Registrar la hora en que se tome cada muestra.
- v. Abrir la válvula de toma de muestra que está a la salida del filtro de mangas y tomar una muestra de producto molido. Inmediatamente después de tomar la muestra se debe medir y registrar su temperatura. Enviar la muestra a laboratorio para análisis de tamaño de partículas y humedad. Repetir esto cada 20 minutos hasta completar 1 hora de control. Registrar la hora en que se tome cada muestra.
 - vi. Registrar la temperatura interna del molino Septú, esto por medio de la pantalla del PLC de área molienda cada vez que se retiren muestras.
- c) Cuando la prueba de control haya finalizado, preparar el sistema para el batch de prueba según se describe en los puntos 1, 2, 3 y 4.
- d) Para el batch de Prueba:
- i. Antes de posicionar el contenedor de nitrógeno o dióxido de carbono, pesar y registrar su peso inicial. Luego conectar el sistema.
 - ii. Cuando el sistema esté conectado, regular la entrada de gas hasta que se alcance la temperatura del molino baje en 5 °C.
 - iii. Registrar la hora cuando se comience a alimentar al molino Septú. En este momento se debe abrir la tapa del tornillo sin fin que alimenta desde el silo 14.1001, tomar una muestra, medir y registrar la temperatura. Enviar la muestra a laboratorio para análisis de tamaño de partículas y humedad. Repetir esto cada 10 minutos hasta completar 60 minutos de prueba. Registrar la hora en que se tome cada muestra.
 - iv. Retirar la tapa para toma de muestras del harnero despeluzador 14.2011 y tomar una muestra. Medir y registrar la temperatura de la muestra,

registrando estos datos. Luego, obtener la humedad de cada muestra y enviar a laboratorio para análisis de tamaño de partículas. Repetir esto cada 10 minutos hasta completar 60 minutos de prueba. Registrar la hora en que se tome cada muestra.

- v. Abrir la válvula de toma de muestras que está a la salida del filtro de mangas y tomar una muestra de producto molido. Medir y registrar la temperatura. Enviar la muestra a laboratorio para análisis de tamaño de partícula y humedad. Repetir esto cada 10 minutos hasta completar 60 minutos de prueba. Registrar la hora en que se tome cada muestra.
- vi. Cuando haya transcurrido 1 hora, se debe cerrar la válvula del termo de nitrógeno cuidadosamente, usando EPPs apropiados.

6. Contingencias.

Si se detecta que se agota la sustancia criogénica antes de terminar las pruebas, se debe dar aviso al operador tan pronto como sea posible, adelantando las mediciones y muestras faltantes a una sola por cada punto de muestreo y dar por terminada la prueba (seguir moliendo normalmente, pero sin adición de nitrógeno).

Medir continuamente los niveles de oxígeno en el área contigua al cilindro de nitrógeno, para asegurar un ambiente seguro para los operadores involucrados a manejar el sistema.

7. Finalizar la prueba

- a) Una vez se haya terminado, se debe retirar la tapa de prueba de la tolva y volver a colocar la tapa normal en su lugar.

ADVERTENCIA: Debido al flujo de fluidos criogénicos existe el riesgo de lesiones por material de la tapa extremadamente helado, NO TOCAR sin protección criogénica.

- b) Una vez se haya cambiado la tapa, se deben retirar los elementos que delimitaban el área de trabajo y se deben retirar todos los elementos ingresados al área para la prueba.
- c) Finalmente, se debe cerrar el registro de intervención en planta junto al operador del área, quien confirmará que se retiran todos los equipos usados en la prueba.

8. Resultados

- a) Todos los registros mencionados deben ser llevados a cabo en la planilla facilitada al operador.

5.5 Contingencias antes de las pruebas

Por motivos de seguridad, al estar identificado el nitrógeno líquido como una sustancia criogénica, el departamento de seguridad (SHE) exige que se usen guantes de protección criogénica para realizar las pruebas. La carencia de estos guantes por parte del proveedor ocasionó un retraso en las pruebas, las cuales no se realizaron hasta que se adquirieron.

5.6 Desarrollo de la prueba

Se siguió el procedimiento descrito en el diseño de la prueba, tomando muestras y llevando a cabo los registros planificados.

Primero se conectó el inyector a la tapa usando teflón amarillo para gases, el cual tiene una mejor calidad que el teflón blanco para líquidos. Luego se conectó el flexible a la tapa de prueba.

Se ingresó el equipo necesario para la prueba al área de molienda (termo de nitrógeno, tapa de prueba y flexible). Una vez dentro del área, se cambió la tapa normal de la tolva por la tapa de prueba, quedando la conexión como se muestra en la Figura 40. Finalmente, se conectó el flexible al termo de nitrógeno, usando teflón amarillo para prevenir fugas y apretando firmemente con una llave francesa.



Figura 40. Tapa de prueba con flexible conectada al sistema.

Se comenzó la alimentación al molino por medio del tornillo sin fin del silo 14.1001. Se vio la temperatura del molino en la pantalla local, registrando una temperatura de 66 °C. Se inició la alimentación de nitrógeno al sistema y se reguló hasta alcanzar 61 °C en el interior del molino. Esta temperatura se mantuvo monitoreada constantemente con la ayuda del Jefe de turno y en caso de cambiar se regulaba aumentando o disminuyendo el ingreso de nitrógeno a la toma de aire. La pantalla usada para ver la temperatura se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Pantalla del PLC del molino. Muestra la temperatura actual del molino de 61 °C.

El ingreso de nitrógeno era controlado exclusivamente por el contratista enviado por Praxair, por motivos de seguridad y normativa de la empresa, como se ve en la Figura 42.



Figura 42. Contratista de Praxair regulando el ingreso de nitrógeno al sistema.

La toma de muestras se lleva a cabo según lo previsto, midiendo la temperatura de cada una y rotulando las muestras para posteriormente enviarlas al laboratorio. Las muestras tomadas se almacenaron temporalmente en la sala de control del área de molienda, en bolsas de plástico cerradas con un nudo, a modo de disminuir al máximo las pérdidas de humedad; como se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Muestras rotuladas y envasadas por el operador del área de molienda.

Cuando la temperatura del molino comenzó a subir de los 61 °C, y no se pudo volver a controlar al abrir más la válvula de ingreso de nitrógeno, se concluyó que el nitrógeno se estaba agotando, por lo que se tomó la última muestra y se dio por terminada la prueba.

Finalmente se volvió a instalar la tapa normal de la tolva y se retiró el equipo de la prueba del área de molienda.

Después de la prueba se pesó el termo y se registró el valor.

5.7 Contingencias durante la prueba

No se registraron contingencias durante la prueba, manteniéndose los niveles de oxígeno siempre constantes a 20,8%, como se ve en la Figura 44. Además para asegurar una prueba sin contingencias se mantuvo una constante comunicación con el jefe de turno, el operador y el contratista de Praxair por medio de radios.

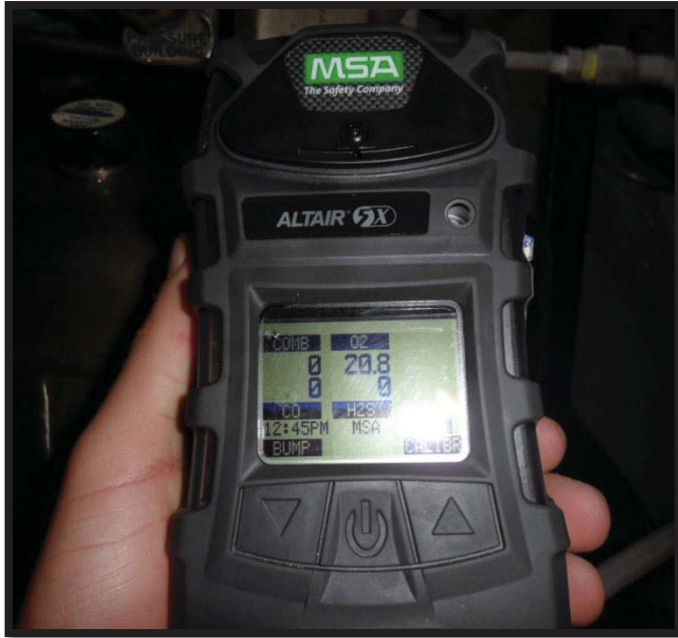


Figura 44. Detector de niveles de oxígeno, mostrando el nivel normal de 20,8% de Oxígeno.

5.8 Resultados

5.8.1 Resultados de Humedad

Las muestras recolectadas durante la prueba, fueron llevadas a laboratorio, donde se analizó su humedad por medio de secado de las muestras en una estufa a 105 °C a temperatura constante. Los resultados obtenidos son los que se señalan en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores de humedad de las muestras tomadas a los tiempos señalados en la tabla durante la prueba y durante el control.

	Tiempo [min]	Humedad producto pre- molido [%]	Humedad del producto en el reciclo al molino [%]	Humedad del producto final [%]
Prueba	10	25,56	5,34	2,55
Prueba	20	25,42	5,04	1,55
Prueba	30	25,12	6,63	3,83
Prueba	40	25,40	6,34	4,16
Prueba	50	25,06	4,49	4,35
Control	20	26,46	4,25	3,20
Control	40	25,89	3,97	2,80
Control	60	25,19	6,61	3,78

En base a estos datos, se puede apreciar que la humedad del producto final durante la prueba, en primera instancia baja, luego sube y muestra una tendencia a mantenerse constante por sobre el nivel de humedad observado en las muestras de control. Esto se puede visualizar claramente en la Figura 45. Es importante mencionar que la prueba se hizo con carragenina fina.

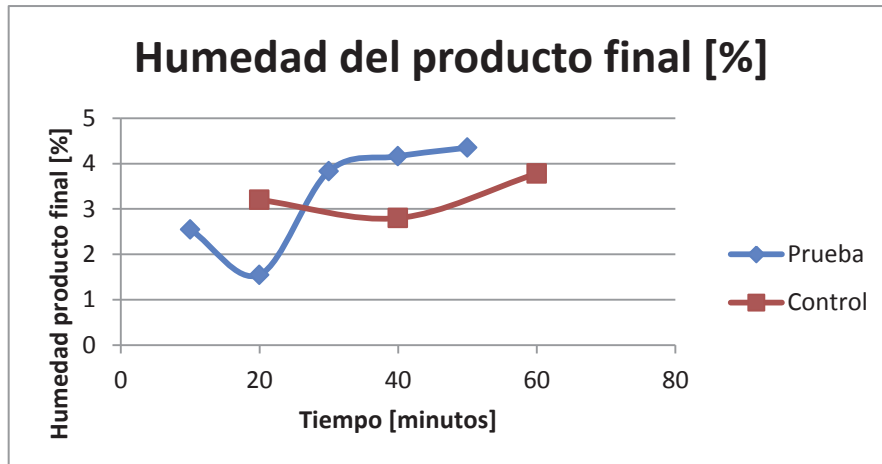


Figura 45. Gráfico del comportamiento de la humedad del producto final durante las pruebas y durante el control.

Ahora bien, como la humedad a la que entra el producto no es constante, a partir de la Tabla 10 se pueden obtener las pérdidas de humedad en cada parte de la molienda. Estas pérdidas son expuestas en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores calculados de pérdidas de humedad durante las pruebas y el control, en función del tiempo transcurrido durante la molienda.

	Tiempo [min]	Pérdida de Humedad en el Molino [%]	Pérdida de Humedad en el Transporte Neumático [%]	Pérdida de Humedad Total [%]
Prueba	10	20,22	2,79	23,01
Prueba	20	20,38	3,49	23,87
Prueba	30	18,49	2,80	21,29
Prueba	40	19,06	2,18	21,24
Prueba	50	20,57	0,14	20,71
Control	20	22,21	1,05	23,26
Control	40	21,92	1,17	23,09
Control	60	18,58	2,83	21,41

Al igual que para la Figura 45, en base a los datos de la Tabla 11 se pueden graficar los valores de pérdidas de humedad totales en el proceso de molienda, como se ve en la Figura 46.

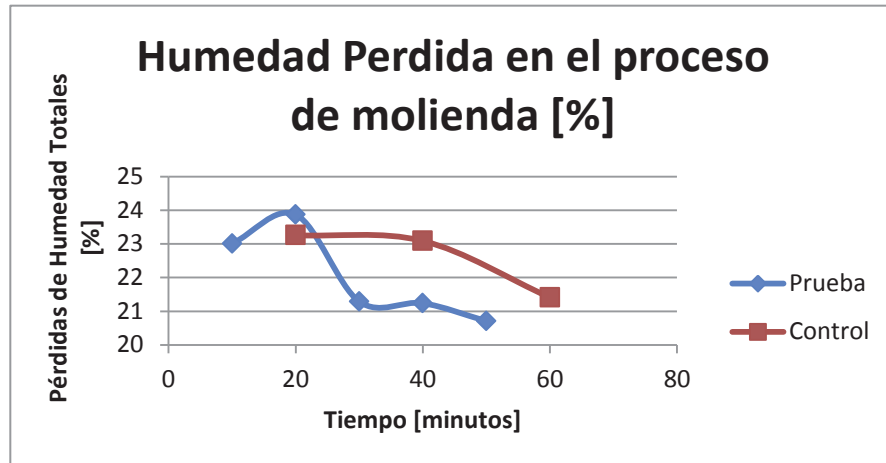


Figura 46. Gráfico de la humedad perdida en el proceso de molienda en función del tiempo de la prueba o control.

Al calcular el promedio de humedad perdida en el control, se obtiene un valor de 22,59%; mientras que al calcular el promedio de humedad de todos los valores de de la prueba, se verifica un promedio de humedad pérdida de 22,02%. Sin embargo, para los cálculos económicos que se verán a continuación, también se considerará lo siguiente:

Durante los primeros 20 minutos de la prueba, el contenido de agua en el aire que entraba disminuía, pues el aire se enfriaba con la inyección del nitrógeno y las partículas de aire, al entrar en contacto con una superficie muy fría, se congelaban. Luego de estos 20 minutos las superficies que se encontraban a temperaturas extremadamente bajas se fueron cubriendo con una capa de hielo, lo cual generó una capa que aumentó la temperatura de las superficies disponibles para que el agua del aire se congele. Así, aproximadamente a los 30 minutos de la prueba el aire que entraba seguía enfriándose, pero las partículas de agua en él no se congelaban en una tasa tan alta, por lo que el aire entraba con un mayor contenido de agua, ocasionando que se absorbiese menos agua del producto que se está moliendo dentro del molino y que luego se transporta neumáticamente. Es así como en los últimos 30 minutos de la prueba los valores de humedad del producto final se estabilizan y las pérdidas de humedad son menores que en el control.

En base a esto, el aumento inicial de la pérdida de humedad en las pruebas sería un proceso que solo se daría en el comienzo del funcionamiento del sistema, manteniendo luego una tendencia de pérdida de humedad representada solo por los últimos tres valores de pérdidas de

humedad obtenidos en las pruebas. Al calcular un promedio de estas pérdidas de humedad, considerando solo los valores finales que muestran una tendencia constante, se obtiene una pérdida de humedad total promedio de 21,08%.

5.8.2 Resultados de capacidad de molienda

Durante la prueba se fue controlando la cantidad de producto molido. Para hacer esto se utilizó la siguiente metodología:

El producto a molido cae a un silo de acumulación, desde el cual se pasa a otro silo donde se recircula y se homogeniza. Éste último silo cuenta con una celda de carga, donde se puede ver el peso de producto que contiene.

Al comienzo de la prueba se vació el primer silo mencionado, sin embargo no se vació el segundo silo, pues hacerlo generaría un inaceptable tiempo muerto en la molienda. Cuando se procesó el producto en la prueba se acumuló en el primer silo y al finalizar la prueba se trasladó al segundo, registrando la variación en el valor que mostraba la celda de carga. Este peso fue de 190 [kg], los cuales fueron procesados en 55 [min].

En el control se volvió a tener el primer silo vacío, y al terminar el control se registró la masa de producto procesado, la cual fue de 191 [kg] en 60 [min].

5.8.3 Resultados de temperaturas

Durante las pruebas se fue midiendo la temperatura de las muestras que se tomaron. Esto se hacía introduciendo una termocupla portátil en el producto tan pronto como se tomaba la muestra. Los valores de temperatura de las muestras son los que se exponen en la Tabla 12.

Tabla 12. Temperaturas de las muestras tomadas.

Lugar	Temperatura [° C] según prueba o control y al momento del muestreo.							
	Prueba, a los 10 min.	Prueba, a los 20 min.	Prueba, a los 30 min.	Prueba, a los 40 min.	Prueba, a los 50 min.	Control, a los 20 min.	Control, a los 40 min.	Control, a los 60 min.
Tornillo de alimentación al molino	26	25	25	26	23	24	23	23
Salida del molino.	45	48	48	45	49	48	49	50
Después del filtro de mangas.	37	36	35	36	32	34	36	37

En base a estos valores, se puede obtener el aumento de temperatura en el molino que sufre el producto considerando la diferencia de temperatura entre la alimentación y la salida del molino. Con esto se obtienen los valores de la Tabla 13.

Tabla 13. Aumento de temperatura del producto tras la molienda.

	Tiempo [min]	Temperatura que el producto gana en el molino. [°C]
Muestra 1, Prueba	10	19
Muestra 2, Prueba	20	23
Muestra 3, Prueba	30	23
Muestra 4, Prueba	40	19
Muestra 5, Prueba	50	26
Muestra 1, Control	20	24
Muestra 2, Control	40	26
Muestra 3, Control	60	27

Al comparar estos valores entre prueba y control por medio del gráfico de la Figura 47, se puede observar que en el control el producto gana más temperatura que en la prueba. Sin embargo, los valores para la prueba son inestables pues la alimentación del nitrógeno líquido depende de la presión del termo, la cual al disminuir requería que se abriese más la válvula de alimentación para mantener el mismo flujo.

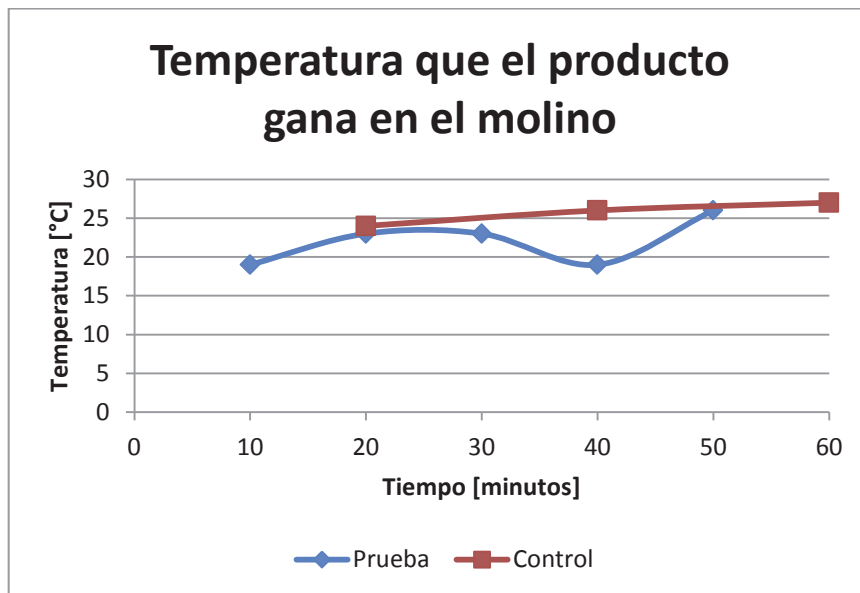


Figura 47. Temperatura que gana el producto en la molienda en función del tiempo, para prueba y para control.

5.8.3 Resultados de temperatura del molino

Durante la prueba se fue midiendo la temperatura a la salida del molino, con lo que se controlaba la adición de nitrógeno. Esto determinó cuándo se consumió todo el nitrógeno útil para la prueba. Los valores pueden verse en la Tabla 14.

Tabla 14. Temperaturas con las que se monitoreo el ingreso de nitrógeno líquido.

Tiempo [min]	Temperatura interna del molino [°C]
10	66
20	61
30	62
40	61
50	63

5.9 Conclusiones

En base a lo expuesto en el final del punto 5.8.1, se tienen dos diferenciales de disminución en la pérdida de humedad:

1. El primero es considerando que el comportamiento de la humedad o de las pérdidas de humedad (Figura 45 y en la Figura 46 respectivamente) es un proceso cíclico, y que de haber continuado con la operación de inyección de nitrógeno se habría vuelto a repetir. En este caso se tendría un diferencial de 0,56% menos de humedad perdida.
2. El segundo diferencial sería considerando que las pérdidas de humedad mayores, al comienzo de la prueba, son un proceso de estabilización del sistema que luego disminuye y se mantiene constante; por lo que el diferencial a considerar sería de 1,51% menos de pérdidas de humedad. Para calcular este diferencial se consideraron solo los valores de la tendencia constantes que se observan luego de los primeros 30 minutos de la prueba, ya que de ser una estabilización, se podría realizar antes de comenzar a procesar y se evitarían las pérdidas de humedad que se ven al principio de la prueba.

Sin embargo, para ambos casos se tiene que al disminuir la temperatura del aire de entrada, controlando el flujo de nitrógeno líquido al mantener la temperatura a la salida del molino constante, se tienen una disminución en las pérdidas de humedad del producto; comprobando la hipótesis como verdadera.

Los casos mencionados anteriormente serán usados más adelante para el análisis económico.

Además, en base a los resultados expuestos en el punto 5.8.2, la capacidad de molienda no disminuye, todo lo contrario, aumenta. Sin embargo el proceso de molienda no es factor limitante para la capacidad de la planta, por lo que el aumento de 0,2712 [kg de carragenina molidos/minuto] no debe ser considerado como ganancia en el análisis económico pues la capacidad de producción de la planta no se ve afectada.

Capítulo 6: Evaluación económica

Dado que al disminuir las pérdidas de humedad aumenta la masa de carragenina que se obtiene a partir de la misma masa de materia prima (pues se pierde menos masa en forma de agua), un aumento en la humedad final del producto conlleva un aumento en las ganancias anuales de la producción. Sin embargo, dada la naturaleza del método propuesto para lograr esta disminución de humedad, se tendrá un consumo de sustancia criogénica (nitrógeno líquido) para poder lograrlo. Este consumo de nitrógeno líquido debe tener un costo por kg de carragenina menor que el aumento en las ganancias por kg de carragenina para ser viable. En este capítulo se analizará si la operación es viable económicamente.

6.1 Consideraciones

En este capítulo se tomarán suposiciones con las cuales se construirán los flujos de caja. Estas suposiciones se enlistan a continuación:

- La producción aumentará en un 4% anualmente, partiendo en el baseline de producción presupuestado para el año 2013 en la planta.
- Se consideró un aumento del IPC del 7% anual, lo cual afecta en el tiempo a:
 - Los costos de la materia prima del producto (algas y químicos).
 - Los costos directos de producción (sueldos de operadores, energía eléctrica y carbón para la caldera).
 - Los costos indirectos (sueldos de administrativos, sueldos de mantención, repuestos y depreciación del producto retenido en bodegas) .
 - El precio de venta de la carragenina y el precio de compra del nitrógeno líquido.
- Se analizará el flujo de caja a 10 años.

6.2 Estado actual del flujo de caja.

Si bien se analizó el flujo de caja considerando los valores del alga, de los químicos usados en las distintas etapas del proceso, de la energía eléctrica, del carbón para la caldera, de los sueldos de operadores, sueldos de mantención y sueldos de administrativos; por motivos de confidencialidad se resumirán todos los valores como se ve en la Tabla 15.

Capítulo 6: Evaluación económica

Tabla 15. Flujo de Caja para 10 años en la situación actual de la planta¹.

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Producción [Mton]	7	1.797	1.869	1.944	2.022	2.102	2.186	2.274	2.365	2.459	2.558
Precio [USD/kg]	20	21,4	22,9	24,5	26,2	28,1	30,0	32,1	34,4	36,8	39,3
Beneficios [MUSD]	34.560	38.458	42.796	47.624	52.996	58.974	65.626	73.029	81.266	90.433	100.634
Costo Neto Materias primas [MUSD]	15.940	17.056	18.250	19.527	20.894	22.357	23.922	25.596	27.388	29.305	31.357
Costos Directos de Proceso [MUSD]	1.927	2.062	2.206	2.361	2.526	2.703	2.892	3.095	3.311	3.543	3.791
Costos indirectos totales [MUSD]	7.860	8.411	8.999	9.629	10.303	11.025	11.796	12.622	13.506	14.451	15.463
Costos [MUSD]	25.728	27.529	29.456	31.517	33.724	36.084	38.610	41.313	44.205	47.299	50.610
Margen Bruto	8.832	10.930	13.341	16.106	19.272	22.890	27.016	31.716	37.061	43.134	50.024
Impuestos (17%)	-1.502	-1.858	-2.268	-2.738	-3.276	-3.891	-4.593	-5.392	-6.300	-7.333	-8.504
Flujos [MUSD] (B-C_i)	7.331	9.072	11.073	13.368	15.996	18.998	22.423	26.324	30.761	35.801	41.520

Como el proceso en si ya es rentable, se calculará el VAN (Valor Actual Neto) correspondiente a los 10 años descritos en el flujo de caja para tener un punto de comparación en los análisis descritos en las siguientes secciones. Para poder calcular el VAN correspondiente a la situación actual, se usa la fórmula descrita en la Ecuación 1, donde B es el Beneficio de cada periodo (descritos en el flujo de caja como “Ventas”), C es el total de los costos de cada periodo (descritos en el flujo de caja como “Costos”), r es la tasa de descuento del inversionista y t es el periodo correspondiente.

En este caso el grado de riesgo del proyecto es bajo, pues consiste en una modificación a una planta existente, por lo que según la se elegirá un valor para r entre 10% y 15%. Para los cálculos en todo este capítulo se usará un valor de 12,5% para r, el cual se obtiene de la Tabla 16.

1: Valores de referencia usados en la planta para el cálculo de viabilidad de proyectos, los valores exactos son confidenciales.

Ecuación 1. Ecuación para el cálculo del Valor Actual Neto.¹

$$VAN = \sum_{t=0}^{t=N} \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Tabla 16. Tabla para el valor de la tasa de descuento del inversionista²

Tipo de Proyecto	Grado de riesgo	r [%]
Proyectos cortos, modificación de plantas existentes, capital de trabajo, terreno	Bajo	10 - 15
Equipos específicos, Proyectos de mediano plazo, Instrumentación automática	Moderado	15 - 25
Nuevas instalaciones para un nuevo producto	Alto	25 - 50 o más

Evaluando el flujo de caja en la Ecuación 1, dejando en el numerador los flujos de caja de cada año que se muestran en las tablas y en el denominador reemplazando r y t según lo mencionado los párrafos anteriores; se obtiene que el VAN es de 49.405 Millones de Pesos Chilenos en 10 años, éstos serán usados para evaluar los escenarios que se analicen en el resto del capítulo.

6.3 Ganancia económica con el aumento de humedad en el producto terminado.

Para este determinar si el proceso es rentable o no, se analizarán las variaciones en el valor del VAN con respecto al actual que se calculó en el punto anterior. Sin embargo no se usará el valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) pues la única modificación necesaria es una cañería con aislación que no tendría costo pues sería construida por el personal de la planta con materiales disponibles, lo que genera que los flujos de caja sean todos positivos, haciendo imposible calcular un valor de TIR.

1: Martín Hamilton Wilson, Alfredo Pezo Paredes. 2005. *Formulación y evaluación de proyectos tecnológicos empresariales aplicados*. 1ra edición. Convenio Andrés Bello. Colombia. Página 172.

2: Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s09.htm>. Visitada por última vez el 31/12/2013.

En base a lo concluido en el punto 5.9, podemos considerar dos porcentajes de aumento de temperatura, en el caso 1 el incremento de la humedad del producto terminado sería de 0,56%, mientras que para el caso 2 sería de 1,51%.

6.3.1 Caso 1: 0,56% de aumento de humedad y 1,2 kg de LN2/kg de carragenina de consumo.

Incluyendo en el flujo de caja la producción extra que se obtiene a partir del aumento de 0,56% en la humedad y considerando los costos de nitrógeno líquido a partir del consumo de 1,2 kilogramos de LN2 por kilogramo de carragenina, se obtiene el flujo de caja para el caso 1 que se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Flujo de caja para el caso 1, con un 0,56% de aumento de humedad y 1,2 kg/kg de consumo de LN2.

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Producción [Mton]	1.728	1.797	1.869	1.944	2.022	2.102	2.186	2.274	2.365	2.459	2.558
Precio [USD/kg]	20	21,4	22,9	24,5	26,2	28,1	30,0	32,1	34,4	36,8	39,3
Aumento de humedad %	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%	0,56%
Producción extra [Mton]	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
Beneficios [MUSD]	34.754	38.674	43.036	47.891	53.293	59.304	65.994	73.438	81.721	90.940	101.198
Costo Neto Materias primas [MUSD]	15.940	17.056	18.250	19.527	20.894	22.357	23.922	25.596	27.388	29.305	31.357
Costos Directos de Proceso [MUSD]	1.927	2.062	2.206	2.361	2.526	2.703	2.892	3.095	3.311	3.543	3.791
Costos indirectos totales [MUSD]	7.860	8.411	8.999	9.629	10.303	11.025	11.796	12.622	13.506	14.451	15.463
Consumo LN2 (kg/kg carr)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Precio LN2 USD/kg LN2	0,55	0,59	0,64	0,68	0,73	0,78	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09
Costo LN2 [MUSD]	1.150	1.280	1.424	1.585	1.764	1.963	2.184	2.430	2.705	3.010	3.349
Costos [MUSD]	26.878	28.809	30.880	33.102	35.487	38.047	40.794	43.743	46.909	50.309	53.959
Impuestos (17%)	-1.339	-1.677	-2.067	-2.514	-3.027	-3.614	-4.284	-5.048	-5.918	-6.907	-8.030
Flujos [MUSD] (B_t-C_t)	6.537	8.188	10.090	12.274	14.778	17.643	20.915	24.646	28.894	33.723	39.208

En base a este flujo de caja de la Tabla 17 se puede calcular el VAN, el cual es de 45.654 millones de pesos Chilenos. Este valor de VAN es menor al actual, lo que implica que el costo de nitrógeno líquido es mayor que el incremento de ingresos obtenidos a partir del aumento de humedad del producto final. De este modo se concluye que en el caso 1 la operación no es económicamente viable.

6.3.2 Caso 2: 1,51% de aumento de humedad y 1,2 kg de LN2/kg de carragenina de consumo.

Incluyendo en el flujo de caja la producción extra que se obtiene a partir del aumento de 1,51% en la humedad y considerando los costos de nitrógeno líquido a partir del consumo de 1,2 kilogramos de LN2 por kilogramo de carragenina, se obtiene el flujo de caja para el caso 1 que se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Flujo de caja para el caso 2, con un 1,51% de aumento de humedad y 1,2 kg/kg de consumo de LN2.

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Producción [Mton]	1.728	1.797	1.869	1.944	2.022	2.102	2.186	2.274	2.365	2.459	2.558
Precio [USD/kg]	20	21,4	22,9	24,5	26,2	28,1	30,0	32,1	34,4	36,8	39,3
Aumento de humedad %	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%	1,51%
Producción extra [MTon]	26	27	28	29	31	32	33	34	36	37	39
Beneficios [MUSD]	35.082	39.039	43.443	48.343	53.796	59.864	66.617	74.131	82.493	91.799	102.154
Costo Neto Materias primas [MUSD]	15.940	17.056	18.250	19.527	20.894	22.357	23.922	25.596	27.388	29.305	31.357
Costos Directos de Proceso [MUSD]	1.927	2.062	2.206	2.361	2.526	2.703	2.892	3.095	3.311	3.543	3.791
Costos indirectos totales [MUSD]	7.860	8.411	8.999	9.629	10.303	11.025	11.796	12.622	13.506	14.451	15.463
Consumo LN2 (kg/kg carr)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Precio LN2 USD/kg LN2	0,55	0,59	0,64	0,68	0,73	0,78	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09
Costo LN2 [MUSD]	1.150	1.280	1.424	1.585	1.764	1.963	2.184	2.430	2.705	3.010	3.349
Costos [MUSD]	26.878	28.809	30.880	33.102	35.487	38.047	40.794	43.743	46.909	50.309	53.959
Impuestos (17%)	-1.395	-1.739	-2.136	-2.591	-3.112	-3.709	-4.390	-5.166	-6.049	-7.053	-8.193
Flujos [MUSD] (B_t-C_t)	6.809	8.491	10.427	12.650	15.196	18.108	21.433	25.222	29.535	34.437	40.001

En base a este flujo de caja de la Tabla 18 se puede calcular el VAN, el cual es de 46.941 millones de pesos Chilenos. Este valor de VAN es también es menor al actual, lo que implica que el costo de nitrógeno líquido es mayor que el incremento de ingresos obtenidos a partir del aumento de humedad del producto final. Si bien este incremento es mayor al expuesto en el caso 1, sigue siendo insuficiente. De este modo se concluye que en el caso 2 la operación no es económicamente viable.

6.4 Análisis de sensibilidad de la variación del VAN.

Al ver en los casos anteriores que la operación es inviable en las condiciones obtenidas en los experimentos en la planta, se pudo señalar que el aumento de la humedad es insuficiente como para generar ingresos que puedan para financiar el consumo de nitrógeno observado requerido, o bien que el consumo de nitrógeno es muy alto para el incremento de humedad que se logra alcanzar.

En base a esto se analizaron distintos escenarios para ver en qué condiciones la operación se vuelve viable.

6.4.1 Efecto del aumento de humedad sobre el VAN al mantener el consumo de LN2 en 1,2 kg/kg de carragenina.

Para este análisis se mantuvo fijo el valor del consumo de nitrógeno líquido en 1,2 kg de LN2/kg de carragenina. Se cambiaron los valores del aumento de humedad como se muestra en la Tabla 19, obteniendo el VAN para cada uno de los valores que se escogieron. También se incluyó el cálculo inverso para definir en qué valor de aumento de humedad el VAN obtenido es el mismo que el actual.

Tabla 19. Efecto del aumento de humedad sobre el VAN al mantener el consumo de LN2 constante.

Aumento Humedad [%]	VAN	Aumento Humedad [%]	VAN [MM CLP]
0,00	125.171	1,80	131.655
0,20	125.892	2,00	132.375
0,40	126.612	2,75	135.077
0,60	127.332	3,00	135.977
0,80	128.053	3,25	136.878
1,00	128.773	3,33	137.159
1,20	129.493	3,50	137.778
1,40	130.214	4,00	139.579
1,60	130.934	5,00	143.181

En base a la información de la Tabla 19 se hizo el gráfico que se señala en la Figura 48, donde se incluye una línea vertical que divide el gráfico en donde la operación con enfriamiento del aire de entrada usando nitrógeno líquido se vuelve viable. Como es de esperarse a mayor aumento de humedad mayor es el VAN y por consecuencia se alcanza un punto donde se logra

costear el consumo de nitrógeno líquido. Sin embargo, como se planteó en el punto “1.2.3. Posibilidad de mejora”, el aumento de humedad objetivo es de un 2,9% y para lograr la operación viable se requiere del aumento de 3,32%, lo cual dejaría al producto fuera de especificaciones, por lo que la opción de aumentar la humedad al usar la misma cantidad de producto no es viable.

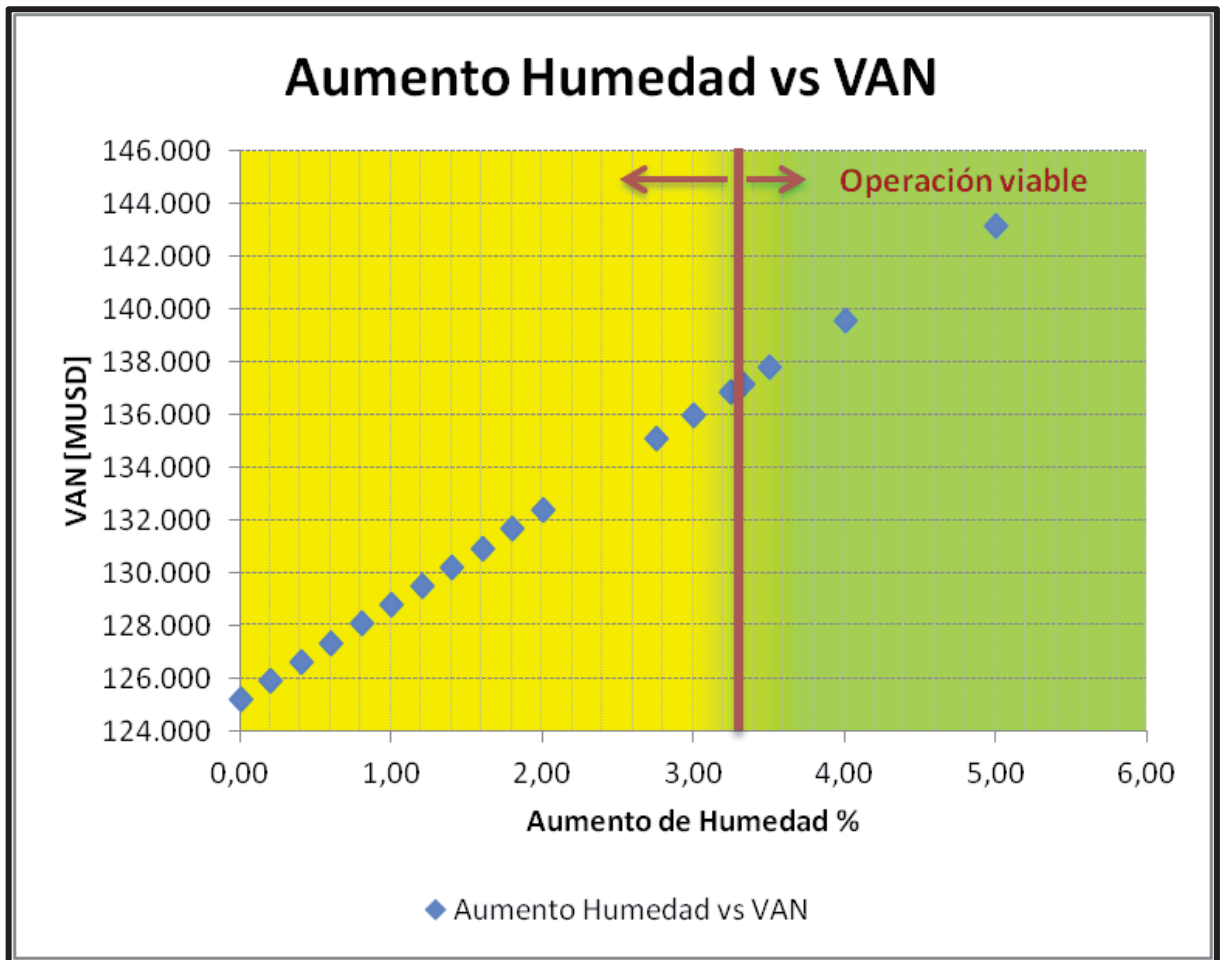


Figura 48. Gráfico de la variación del VAN en función del aumento de humedad en el producto final que genere el proyecto.

6.4.2 Efecto del consumo de LN2 sobre el VAN si se alcanza un aumento en la humedad del producto terminado del 2,9%.

Para este análisis se mantuvo fijo el valor del aumento de humedad en 1,51 puntos sobre la humedad promedio del 6,5% que se obtuvo experimentalmente. Se cambiaron los valores del consumo de nitrógeno líquido según se muestra en la Tabla 20. También se incluyó el cálculo inverso para definir en qué valor de consumo de nitrógeno líquido el VAN obtenido es el mismo que el actual.

Tabla 20. Efecto del consumo de LN2 sobre el VAN con un aumento de humedad de 1,51 puntos.

Consumo LN2 [kg de LN2/kg de Carr]	VAN [MM CLP]	Consumo LN2 [kg de LN2/kg de Carr]	VAN [MM CLP]
0,10	141.599	1,00	132.275
0,20	140.600	1,20	130.777
0,30	139.601	1,30	129.278
0,40	138.602	1,50	127.780
0,50	137.603	1,60	126.281
0,54	137.159	1,80	124.783
0,60	136.604	1,90	123.284
0,70	135.605	2,10	121.786
0,90	133.607	2,20	120.287

En base a la información de la Tabla 20, se hizo el gráfico que se señala en la Figura 49, donde se incluye una línea vertical que divide el gráfico en donde la operación con enfriamiento del aire de entrada usando nitrógeno líquido se vuelve inviable. Se puede observar que mientras menos nitrógeno líquido se consume, más viable sería la operación. Para que la operación sea viable el máximo consumo que el proceso permite al aumentar en un 1,51% la humedad es de 0,5445 kg de nitrógeno líquido por nitrógeno de carragenina.

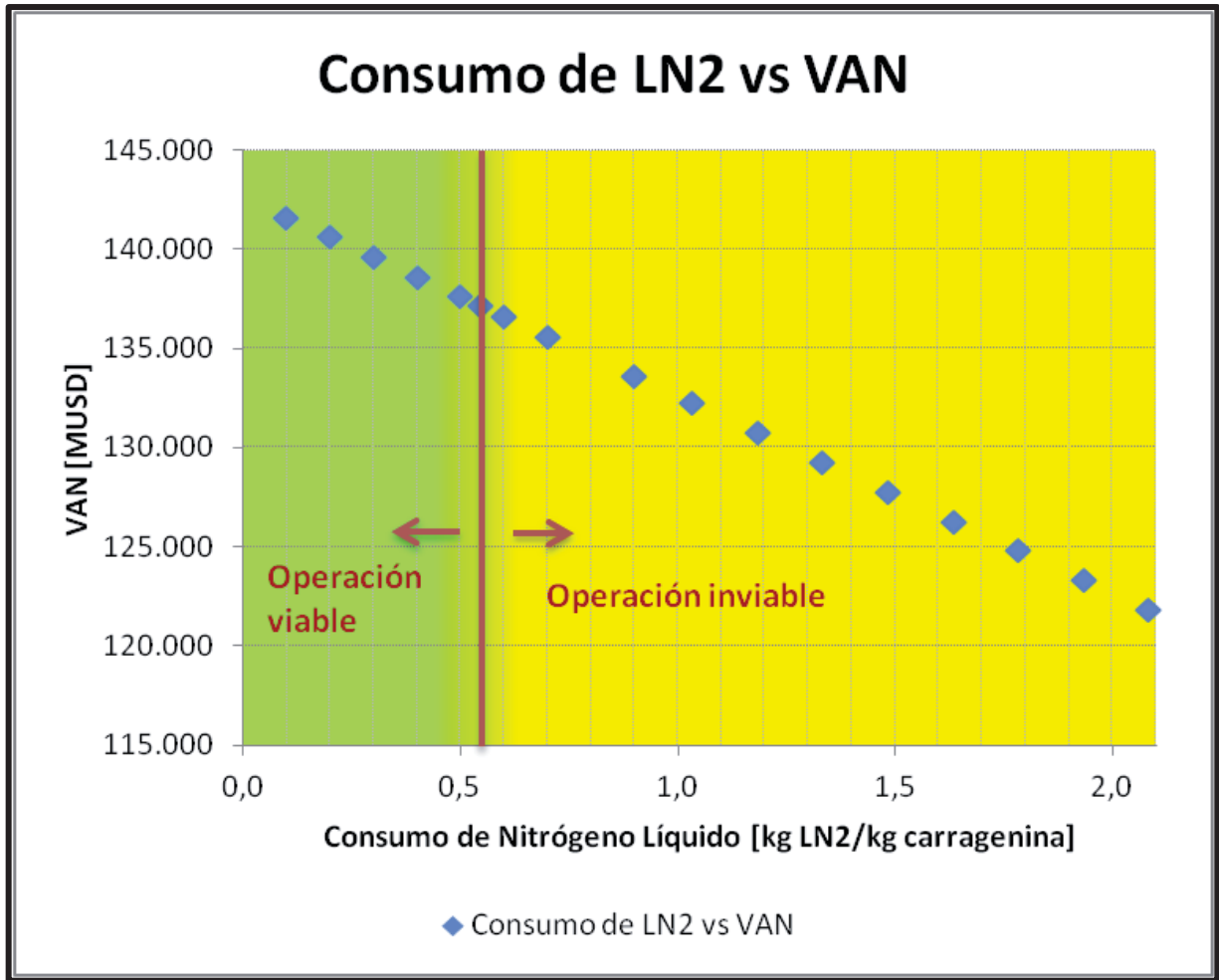


Figura 49. Gráfico de la variación del VAN en función del consumo de nitrógeno líquido para alcanzar el 1,51% de humedad.

6.4.3 Relación entre aumento de humedad y consumo de nitrógeno líquido.

Se fijaron valores de aumento de humedad y por medio de una tabla dinámica para el flujo de caja se evaluaron por tanteo en Microsoft Excel qué valores de consumo de nitrógeno darían un VAN igual al original para cada valor de aumento de humedad. De esta forma se obtuvieron los valores expuestos en la Tabla 21.

Tabla 21. Consumos de LN2 obtenidos a partir de valores de aumento de humedad para obtener un VAN igual al original.

Aumento Humedad [%]	Consumo LN2 [kg de LN2/kg de carragenina]
0,25	0,09
0,50	0,18
0,75	0,27
1,00	0,36
1,25	0,45
1,50	0,54
1,75	0,63
2,00	0,72
2,25	0,81
2,50	0,90
2,75	0,99
3,00	1,08
3,25	1,17
3,50	1,26
3,75	1,35
4,00	1,44

Los valores de la Tabla 21 se representaron en el gráfico de la Figura 50. En este gráfico se puede observar que todos los puntos que están arriba de la línea roja son condiciones de operación inviables, donde el VAN obtenido es menor al VAN actual; que todos los puntos en la línea misma entregan un VAN igual al actual, y por lo tanto no justifican la operación; y que todos los puntos bajo la línea roja son puntos donde la operación sería viable, entregando un VAN más alto al actual. Además se incluyeron en este gráfico los valores obtenidos experimentalmente mencionados en el punto “5.9 Conclusiones”, los cuales quedan en la zona de operación inviable.

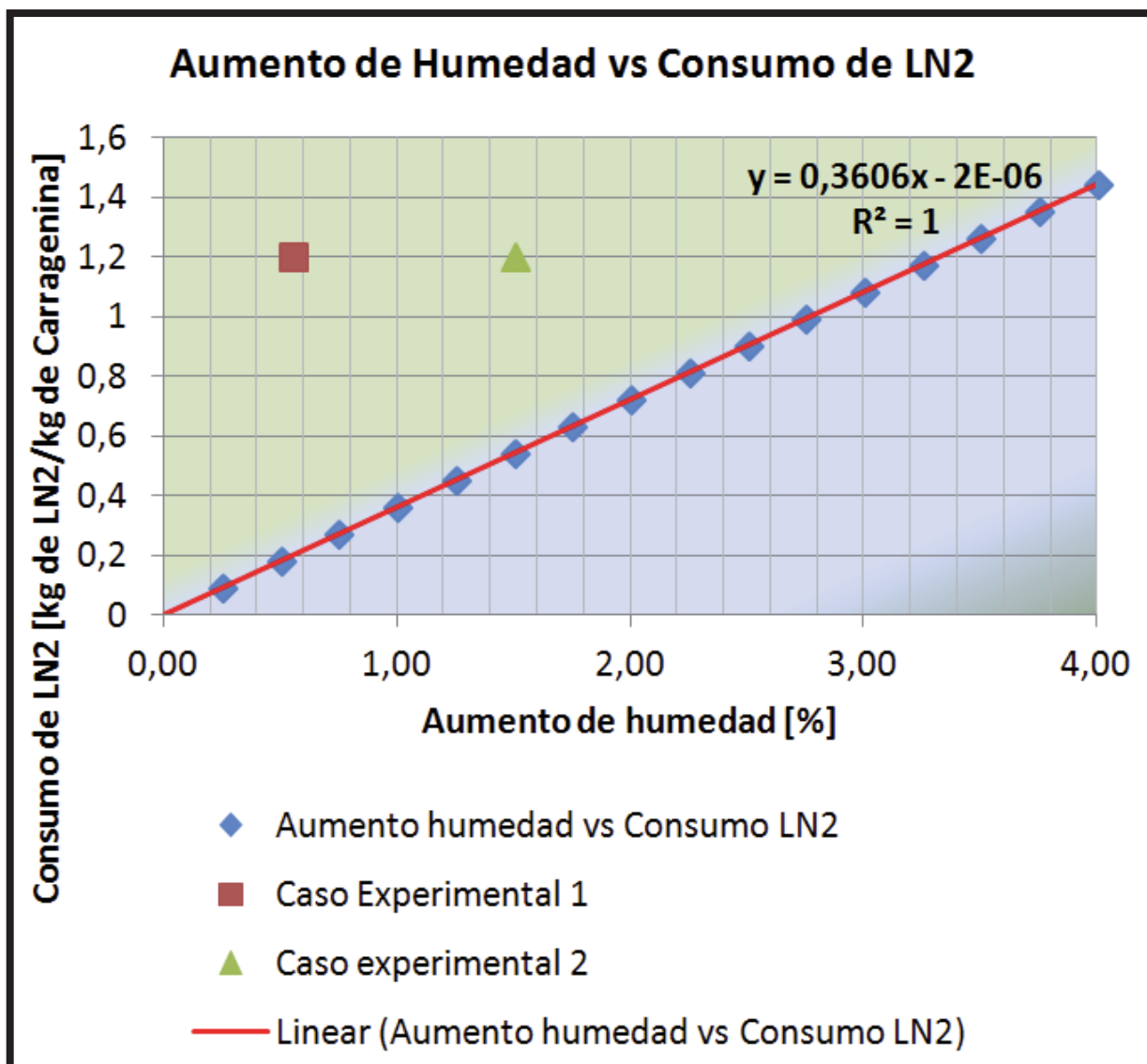


Figura 50. Gráfico con la relación entre aumento de humedad y el consumo de nitrógeno líquido.

6.4.4 Efecto de la variación del precio del nitrógeno líquido sobre el VAN.

Finalmente, se evaluó el efecto que tendría una disminución en el precio del nitrógeno líquido, manteniendo las condiciones que se obtuvieron experimentalmente en el caso 2, es decir, un aumento de 1,51% en la humedad y un consumo de 1,2 kg de nitrógeno líquido por kg de carragenina producida. Estos valores se encuentran en la Tabla 22. El valor actual es un valor intermedio a los que aparecen en la Tabla 22, pero por motivos de confidencialidad de la planta no se puede poner el valor exacto, solo se puede mencionar que está entre los valores inviables.

Nuevamente se hizo el cálculo a la inversa, por medio de un tanteo en Microsoft Excel, obteniendo el costo de LN2 a partir del VAN actual. De esta forma se tiene que el costo máximo por kilogramo, para que se pueda tener una operación económicamente viable es de 0,25 USD/kg de nitrógeno líquido.

Tabla 22. Efecto sobre el VAN al modificar el precio del nitrógeno líquido.

Costo LN2 [USD/kg de LN2]	VAN [MUSD]
0,59	129.934,9
0,57	130.357,0
0,55	130.778,9
0,53	131.201,0
0,51	131.623,2
0,47	132.467,4
0,43	133.311,6
0,39	134.155,8
0,29	136.266,4
0,25	137.159,1
0,20	138.376,9
0,10	140.487,5
0,02	142.175,9

6.5 Conclusión

En base a lo que se analizó en este capítulo, se puede concluir que en base a lo experimentalmente alcanzado al enfriar el aire con nitrógeno líquido, la operación no es viable, pues en ambos casos analizados se tiene un diferencial negativo al comparar con el VAN actual. Es así como se concluye que enfriar el aire con el uso directo de nitrógeno líquido no es una operación económicamente viable.

Tabla 23. Comparación del VAN en base a los valores de aumento de humedad y consumo

Caso	Aumento de humedad [%]	Consumo de LN2 [kg de LN2/kg de carr.]	VAN [MM CLP]	Δ VAN [MM CLP]
Operación Normal	0%	0	49.405	0
Caso 1	0,56%	1,2	45.654	-3.751
Caso 2	1,51%	1,2	46.941	-2.464

Capitulo 7: Conclusiones

En base a las pruebas realizadas, se concluye finalmente que al enfriar el aire que entra al molino con nitrógeno líquido se logra un aumento de la humedad del producto, pero que la operación no es económicamente viable. Además, más pruebas no son posibles pues el consumo de nitrógeno para cada prueba es muy alto, los peligros que involucran (trabajo con sustancias criogénicas) son también muy altos y la posibilidad de generar tiempos muertos en la planta por condensación de agua del aire hacia la carragenina hace que cada prueba sea riesgosa.

Bibliografía

- FAO JECFA Monographs 4. 2007. Aditivo 117: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en:
<http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/monograph4/additive-117-m4.pdf>; Internet; visitada el 26 junio 2013.
- Commission Directive 2010/67/EU. 2010. Official Journal of the European Union; Seventh Schedule, Purity Criteria. Disponible en:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:113:0019:0023:EN:PDF>; Internet; visitada el 26 junio 2013.
- Reporte de datos de la estación meteorológica: 857990 (SCTE). Disponible en:
http://www.tutiempo.net/clima/Puerto_Montt/857990.htm; Internet; visitada el 30 junio 2013.
- Carta Psicrométrica: Encontrada en Internet en:
<http://avdiaz.files.wordpress.com/2009/01/i-unidad3.pdf>. Visitada el 05 de julio del 2013.
- Valores para la tasa de descuento del inversionista: Encontrada en Internet en :
<http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s09.htm>. visitada el 31 de diciembre del 2013.
- *Chemical Process Principles – Part I. Material and Energy Balance*. R. A. Ragatz. 2006. Página 273.
- *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. 3ra Edición. Felder & Rousseau. Capítulo 8, p.368.
- *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. J.M. Smith, H.C. Van Ness, M.M. Abbot. Séptima Edición. Apéndice C, Tablas C.1 y C.3, p. 684-689.

Glosario de Términos

Área 14: Sector de molienda y tamizado.

Área 17: Sector de premolienda y blending.

Aspen Plus: Software de simulación de procesos.

Baseline: Valor de histórico de referencia para comparar alguna mejora.

Blending: Proceso de mezclado del producto terminado con el que se homogeniza la carragenina.

CLP (Chilean Pesos): Pesos Chilenos, moneda chilena.

CFU: Unidades formadoras de colonias. Unidad con la que se mide la actividad microbiológica.

Departamento de Calidad: Departamento de la empresa encargado de realizar los análisis de calidad requeridos para comprobar las especificaciones del producto terminado y de registrar los resultados de estos análisis en SAP.

Departamento de Mantención: Departamento de la empresa encargado de arreglar los equipos defectuosos en la planta y de darles mantención para prevenir fallas.

Departamento de Producción: Departamento de la empresa encargado de las áreas de producción de la planta. Son los dueños y responsables del área donde se realizó la prueba.

Departamento de Sourcing: Departamento de la empresa encargado de las negociaciones y adquisiciones con proveedores.

EMO (EXPERIMENTAL MANUFACTURING ORDER): Prueba a escala industrial necesaria para comprobar el efecto de un cambio en el sistema normal.

Flexible: Conexión de acero inoxidable flexible.

Gelificante: Propiedad de los agentes que forman un gel, que se disuelven en la fase líquida como una mezcla coloidal que forma una estructura interna débilmente cohesiva.

Imán autolimpiante: Equipo que cuenta con imanes en cuyo diseño se permite el flujo del producto y se retienen las partículas magnéticas. El equipo también incluye movimientos en los cuales las partículas magnéticas son retiradas automática y constantemente de los imanes, enviándolos a bolsas donde son recolectados y retirados.

Liners: Pared interna del molino principal. Contiene un diseño irregular con estrías para aumentar los impactos del producto que generan la molienda.

LN2: Nitrógeno líquido.

Mton: Toneladas métricas, equivalen a 1000 kilogramos.

MUSD: Miles de dólares americanos.

MM CLP: Millones de Pesos Chilenos.

PLC: Controlador lógico programable en donde se procesan los controles remotos del sistema.

Premolienda: Proceso en que se disminuyo el tamaño del producto antes de pulverizarlo en el molino principal.

SAP: Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de datos. Este sistema comprende muchos módulos completamente integrados, que abarca prácticamente todos los aspectos de la administración empresarial.

Sinéresis: Es la separación de las fases que componen una suspensión o mezcla. Es la extracción o expulsión de un líquido de un gel, por lo que el gel pasa de ser una sustancia homogénea a una segregación de componentes sólidos separados y contenidos en la fase líquida.

Sistema actual: Sistema de molienda usado durante el año 2013 en la planta de Danisco Chile SA.

TAG: Código con números y letras que representa a un equipo de la planta.

Tamizado: Método físico para separar partículas de distinto tamaño.

Transporte Neumático: Método de transporte que usa aire para llevar sólidos a lo largo de una línea.

USD: United States Dollar. Símbolo para el dólar americano

VAN (Valor Actual Neto): Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

Viscosante: Son sustancias que al agregarse a una mezcla, aumentan su viscosidad sin modificar sustancialmente sus otras propiedades

VLT: Variador de frecuencia. Varía la frecuencia a la que opera un motor.

Anexos**Anexo A Datos de humedad registrados desde el 01 de diciembre del 2010 hasta el 31 de abril del 2013 para la carragenina gruesa y fina.**

Anexo A.1 Humedad registrada para carragenina gruesa desde 01 de diciembre del 2010 hasta el 07 de agosto del 2011.

Fecha	Humedad [%]	Fecha	Humedad [%]	Fecha	Humedad [%]
01-12-2010	7,5	22-03-2011	7,7	05-06-2011	8,6
03-12-2010	7,1	23-03-2011	7,6	06-06-2011	7,5
06-12-2010	7,3	24-03-2011	7,1	07-06-2011	5,6
10-12-2010	6,7	04-04-2011	7,8	09-06-2011	7,1
13-12-2010	6,8	06-04-2011	7,6	10-06-2011	7,0
20-12-2010	7,1	08-04-2011	8,2	14-06-2011	7,9
27-12-2010	7,0	11-04-2011	5,9	16-06-2011	7,6
03-01-2011	6,8	13-04-2011	5,5	20-06-2011	6,6
05-01-2011	6,7	15-04-2011	6,7	21-06-2011	7,3
31-01-2011	6,8	16-04-2011	6,7	22-06-2011	7,4
02-02-2011	7,8	18-04-2011	6,6	23-06-2011	7,5
07-02-2011	7,5	19-04-2011	6,7	24-06-2011	7,4
09-02-2011	6,8	20-04-2011	7,0	28-06-2011	7,1
10-02-2011	7,0	23-04-2011	7,6	29-06-2011	6,7
15-02-2011	6,6	25-04-2011	9,2	01-07-2011	8,0
17-02-2011	6,8	02-05-2011	7,4	02-07-2011	7,1
18-02-2011	7,5	04-05-2011	7,7	03-07-2011	6,9
19-02-2011	5,5	07-05-2011	6,2	09-07-2011	7,6
01-03-2011	7,2	08-05-2011	6,6	15-07-2011	7,8
03-03-2011	7,0	09-05-2011	7,2	16-07-2011	7,9
06-03-2011	7,3	10-05-2011	7,5	17-07-2011	7,8
07-03-2011	9,1	11-05-2011	7,0	20-07-2011	8,0
08-03-2011	5,8	12-05-2011	7,4	25-07-2011	7,0
09-03-2011	6,7	14-05-2011	7,5	26-07-2011	7,2
10-03-2011	6,1	16-05-2011	8,2	28-07-2011	7,0
13-03-2011	6,9	23-05-2011	8,2	29-07-2011	7,7
15-03-2011	7,4	25-05-2011	7,5	01-08-2011	7,3
17-03-2011	7,3	27-05-2011	6,1	02-08-2011	7,6
18-03-2011	6,6	01-06-2011	7,2	05-08-2011	8,4
20-03-2011	7,3	02-06-2011	6,5	06-08-2011	7,4
21-03-2011	7,5	04-06-2011	7,0	07-08-2011	6,9

Anexo A.2. Datos de humedad registrados para carragenina gruesa entre el 09 de agosto del 2011 hasta el 23 de septiembre del 2012.

Fecha	Humedad [%]	Fecha	Humedad [%]	Fecha	Humedad [%]
09-08-2011	6,7	24-11-2011	7,9	13-04-2012	3,8
10-08-2011	6,2	25-11-2011	6,1	16-04-2012	6,9
11-08-2011	7,3	26-11-2011	6,1	11-05-2012	6,3
16-08-2011	7,3	28-11-2011	6,1	12-05-2012	6,2
17-08-2011	7,2	02-12-2011	5,5	13-05-2012	6,5
26-08-2011	6,3	04-12-2011	5,3	14-05-2012	6,1
27-08-2011	6,6	05-12-2011	6,8	16-05-2012	6,6
28-08-2011	7,1	06-12-2011	6,4	18-05-2012	7,0
29-08-2011	7,0	07-12-2011	5,7	06-06-2012	6,1
30-08-2011	6,9	08-12-2011	6,1	08-06-2012	6,5
01-09-2011	7,9	14-12-2011	6,6	11-06-2012	6,6
02-09-2011	7,4	16-12-2011	5,9	12-06-2012	6,5
05-09-2011	8,0	18-12-2011	6,0	13-06-2012	7,8
10-09-2011	6,5	21-12-2011	6,3	15-06-2012	8,1
14-09-2011	7,7	22-12-2011	6,2	17-06-2012	7,3
15-09-2011	6,6	23-12-2011	6,4	23-06-2012	7,1
19-09-2011	5,9	26-12-2011	7,5	24-06-2012	7,8
20-09-2011	6,6	28-12-2011	6,0	27-06-2012	7,8
01-10-2011	7,0	31-12-2011	5,3	07-07-2012	6,8
03-10-2011	6,9	14-01-2012	4,6	08-07-2012	6,8
04-10-2011	7,0	15-01-2012	4,5	09-07-2012	6,6
05-10-2011	7,3	17-01-2012	6,0	10-07-2012	6,9
07-10-2011	6,7	31-01-2012	5,8	12-07-2012	6,6
09-10-2011	5,9	02-02-2012	6,3	29-07-2012	6,6
11-10-2011	6,5	07-02-2012	5,7	30-07-2012	7,0
12-10-2011	7,3	08-02-2012	5,6	31-07-2012	6,9
14-10-2011	7,5	14-02-2012	6,5	02-08-2012	7,1
17-10-2011	7,2	15-02-2012	6,6	05-08-2012	6,5
23-10-2011	6,2	17-02-2012	6,7	06-08-2012	6,4
25-10-2011	5,5	20-02-2012	6,8	07-08-2012	6,6
27-10-2011	6,2	28-02-2012	6,0	08-08-2012	6,4
29-10-2011	6,6	01-03-2012	5,9	10-08-2012	7,5
01-11-2011	7,1	25-03-2012	6,1	10-09-2012	7,2
02-11-2011	7,3	26-03-2012	6,0	11-09-2012	7,2
03-11-2011	7,0	27-03-2012	6,3	13-09-2012	6,9
04-11-2011	7,3	28-03-2012	6,5	14-09-2012	6,6
19-11-2011	7,3	29-03-2012	7,7	15-09-2012	6,7
21-11-2011	6,8	11-04-2012	6,9	22-09-2012	8,1
22-11-2011	7,0	12-04-2012	6,2	23-09-2012	6,9

Anexo A.3. Datos de humedad registrados para carragenina gruesa entre el 25 de septiembre del 2012 hasta el 31 de marzo del 2013.

Fecha	Humedad [%]	Fecha	Humedad [%]	Fecha	Humedad [%]
25-09-2012	6,9	04-01-2013	6,0	16-03-2013	6,4
27-09-2012	6,6	05-01-2013	6,5	18-03-2013	6,6
28-09-2012	6,4	07-01-2013	6,5	21-03-2013	6,7
01-10-2012	7,1	08-01-2013	6,6	22-03-2013	6,3
02-10-2012	7,0	09-01-2013	6,8	23-03-2013	6,3
03-10-2012	6,7	10-01-2013	6,3	25-03-2013	7,2
11-10-2012	6,2	11-01-2013	6,2	26-03-2013	6,4
12-10-2012	6,1	12-01-2013	6,2	27-03-2013	6,5
15-10-2012	5,5	14-01-2013	6,5	29-03-2013	6,9
17-10-2012	6,0	15-01-2013	5,9	30-03-2013	6,8
24-10-2012	6,8	16-01-2013	6,1	31-03-2013	6,9
26-10-2012	6,2	19-01-2013	6,2		
29-10-2012	7,0	20-01-2013	6,3		
02-11-2012	6,6	21-01-2013	5,9		
03-11-2012	6,0	22-01-2013	5,9		
13-11-2012	5,5	24-01-2013	5,9		
15-11-2012	6,2	26-01-2013	5,9		
16-11-2012	6,0	29-01-2013	6,2		
18-11-2012	5,7	01-02-2013	6,2		
25-11-2012	6,2	02-02-2013	6,0		
26-11-2012	6,4	04-02-2013	5,9		
28-11-2012	6,6	10-02-2013	5,4		
29-11-2012	6,2	11-02-2013	6,0		
30-11-2012	5,6	12-02-2013	5,7		
01-12-2012	6,0	13-02-2013	6,1		
02-12-2012	6,2	23-02-2013	6,1		
03-12-2012	6,1	24-02-2013	5,3		
10-12-2012	6,4	27-02-2013	6,2		
11-12-2012	5,6	28-02-2013	6,3		
12-12-2012	6,2	01-03-2013	6,3		
13-12-2012	6,4	02-03-2013	6,4		
17-12-2012	6,3	03-03-2013	6,5		
23-12-2012	6,1	04-03-2013	6,5		
26-12-2012	6,2	05-03-2013	6,8		
28-12-2012	6,2	11-03-2013	6,6		
29-12-2012	6,2	12-03-2013	6,1		
30-12-2012	6,4	13-03-2013	6,2		
02-01-2013	5,9	14-03-2013	6,4		
03-01-2013	6,2	15-03-2013	6,2		

Anexo A.4. Datos de humedad registrados para carragenina fina entre el 14 de mayo del 2012 hasta el 28 de febrero del 2013.

Fecha	Humedad [%]
07-12-2010	5,5
15-12-2010	5,8
20-12-2010	5,8
21-02-2011	4,9
22-02-2011	4,7
23-02-2011	5,6
24-02-2011	5,2
25-02-2011	5,5
26-03-2011	6,0
27-03-2011	5,9
28-03-2011	5,9
29-03-2011	6,4
06-04-2011	5,9
08-04-2011	5,9
11-04-2011	5,7
23-04-2011	6,1
15-05-2011	6,3
16-05-2011	6,3
18-05-2011	6,3
19-05-2011	6,5
20-05-2011	6,5
21-05-2011	6,0
23-05-2011	6,0
04-07-2011	5,9
06-07-2011	5,2
07-07-2011	4,8
12-07-2011	5,6
13-07-2011	6,5
18-08-2011	6,4
19-08-2011	5,9
20-08-2011	6,5
21-08-2011	6,0
22-08-2011	6,2
25-08-2011	6,2
06-09-2011	5,7
07-09-2011	5,4
08-09-2011	5,5
09-09-2011	5,5
10-09-2011	5,6

Fecha	Humedad [%]
14-09-2011	5,6
29-09-2011	5,3
01-10-2011	5,3
05-11-2011	5,2
09-11-2011	5,2
14-11-2011	5,6
15-11-2011	5,5
18-11-2011	6,0
19-11-2011	6,0
21-11-2011	6,8
28-11-2011	4,0
29-11-2011	5,6
01-12-2011	5,1
02-12-2011	4,6
09-12-2011	5,1
11-12-2011	4,8
12-12-2011	4,7
13-12-2011	4,3
07-01-2012	4,4
08-01-2012	4,4
09-01-2012	4,0
10-01-2012	4,4
12-01-2012	4,5
13-01-2012	4,3
14-01-2012	4,1
03-02-2012	5,0
04-02-2012	4,8
02-03-2012	5,2
03-03-2012	5,6
05-03-2012	5,9
20-03-2012	5,6
21-03-2012	5,5
25-04-2012	6,1
30-04-2012	5,8
23-08-2012	6,1
24-08-2012	6,2
25-08-2012	6,2
26-08-2012	6,1
27-08-2012	5,6

Fecha	Humedad [%]
29-08-2012	5,6
04-11-2012	5,9
05-11-2012	5,1
06-11-2012	5,1
08-11-2012	5,5
09-11-2012	5,9
10-11-2012	5,7
12-11-2012	5,2
13-11-2012	4,9
08-02-2013	5,1
09-02-2013	5,0

Anexo B. Datos de climáticos históricos en base a Datos reportados por la estación meteorológica: 857990 (SCTE)

Anexo B.1. Datos registrados para Diciembre del 2010.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	10,1	14,5	7,9	83	1,02
2	8,6	13,8	3,0	73	3,05
3	8,0	14,6	-0,3	76	0,00
4	11,7	16,0	9,0	85	0,00
5	13,0	18,0	8,0	84	0,00
6	12,2	18,6	9,0	89	0,00
7	12,7	15,0	8,8	79	9,91
8	10,6	15,3	5,9	77	0,51
9	10,9	15,6	9,0	90	2,03
10	10,4	13,0	8,5	84	0,00
11	7,9	14,0	1,5	75	1,52
12	8,1	14,2	3,6	92	2,03
13	11,8	16,0	9,0	92	9,91
14	12,6	17,1	8,0	78	0,00
15	12,1	19,0	6,7	86	0,00
16	13,2	19,1	10,6	82	0,00
17	9,7	15,0	4,6	77	7,87
18	8,1	13,0	1,2	81	3,05
19	11,8	18,4	8,3	84	0,76
20	14,1	20,0	10,6	81	0,00
21	14,5	21,0	10,0	81	0,00
22	13,8	22,0	7,4	77	0,00
23	14,6	21,7	12,0	88	0,00
24	14,1	17,0	11,4	88	14,99
25	14,6	17,7	12,2	92	2,03
26	15,9	20,1	12,1	92	1,02
27	16,5	21,4	12,0	80	1,02
28	15,4	21,7	8,8	83	0,00
29	13,6	20,6	9,6	87	0,00
30	16,2	23,0	8,9	77	0,00
31	16,8	23,0	12,0	83	0,00
Medias y totales mensuales					
	12,4	17,7	8,0	83,1	60,72

Anexo B.2. Datos registrados para Enero del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	18,7	26,0	11,6	77	0,00
2	15,7	26,6	13,6	92	0,00
3	16,1	20,0	13,4	83	0,00
4	14,1	17,4	11,7	94	3,05
5	13,2	19,0	6,1	81	3,05
6	14,3	22,1	7,0	81	0,00
7	14,8	22,4	9,0	81	0,00
8	12,8	20,8	6,3	79	0,51
9	14,8	21,0	6,7	70	0,00
10	14,4	21,5	6,0	75	0,00
11	15,3	20,0	11,6	82	0,00
12	14,3	22,0	7,0	74	0,00
13	15,4	22,5	12,0	76	24,89
14	12,2	20,0	4,1	75	0,00
15	12,3	21,2	9,4	90	1,02
16	11,7	15,0	8,6	86	28,96
17	13,1	18,0	9,7	80	0,00
18	14,5	18,0	12,9	82	7,87
19	12,6	18,3	8,4	85	17,02
20	13,4	18,0	6,2	81	1,02
21	15,8	19,3	12,7	84	0,00
22	17,5	22,0	15,0	94	4,83
23	16,3	22,9	12,4	91	0,00
24	15,1	21,6	10,0	90	0,00
25	13,6	19,8	8,4	72	0,00
26	13,7	20,9	7,0	77	0,00
27	13,9	21,5	11,0	80	0,51
28	11,9	18,2	3,3	76	0,00
29	13,4	23,0	4,5	73	0,00
30	15,7	22,7	14,0	82	0,00
31	11,6	18,1	4,6	83	9,91
Medias y totales mensuales					
	14,3	20,6	9,2	81,5	102,64

Anexo B.3. Datos registrados para Febrero del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	11,8	20,0	3,5	75	0,51
2	14,0	20,6	12,0	86	0,00
3	11,9	17,2	6,9	82	4,06
4	11,5	17,5	7,0	85	3,05
5	11,6	16,8	5,9	75	0,51
6	13,1	19,0	8,9	80	0,00
7	13,6	20,0	8,5	85	0,00
8	14,7	21,1	8,4	86	0,00
9	18,3	27,5	10,3	76	0,00
10	17,3	24,5	11,6	83	0,00
11	16,1	25,2	12,3	90	0,00
12	15,6	23,3	12,2	94	1,02
13	12,2	18,0	7,0	83	0,00
14	15,2	22,0	7,5	80	0,00
15	15,3	22,1	7,0	82	0,00
16	14,1	22,0	11,0	92	0,51
17	10,4	16,0	3,5	81	12,95
18	13,2	20,0	5,9	80	0,00
19	17,4	30,0	6,7	67	0,00
20	18,9	29,8	11,2	68	0,00
21	15,3	29,1	13,7	93	0,00
22	13,7	17,9	12,8	94	0,00
23	13,0	17,0	10,6	89	0,00
24	13,8	22,2	6,2	81	0,00
25	13,8	22,3	4,0	80	0,00
26	13,4	22,2	6,0	82	0,00
27	15,1	23,7	8,0	82	0,00
28	15,9	26,0	7,0	74	0,00
Medias y totales mensuales					
	14,3	21,9	8,4	82,3	22,61

Anexo B.4. Datos registrados para Marzo del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	15,7	26,7	8,8	79	0,00
2	15,6	24,1	11,0	79	34,04
3	12,6	19,5	4,7	82	0,00
4	13,4	19,4	6,7	85	0,00
5	14,9	22,0	7,9	87	0,00
6	15,2	22,5	10,0	82	0,00
7	14,8	21,9	12,5	91	1,02
8	14,8	23,0	9,0	84	0,00
9	17,5	22,6	14,4	81	0,00
10	17,0	22,6	15,0	85	2,03
11	12,4	21,1	8,3	89	27,94
12	8,6	14,7	3,5	85	0,00
13	8,7	16,0	2,8	84	0,51
14	9,4	16,3	5,0	95	0,00
15	10,3	14,0	7,0	81	4,06
16	9,5	14,4	4,9	95	12,45
17	10,2	14,1	6,0	91	25,91
18	11,1	17,0	5,7	83	1,02
19	11,2	18,5	4,8	92	0,00
20	15,7	17,0	15,0	97	3,05
21	11,7	16,7	7,0	97	10,92
22	11,1	15,8	5,9	84	35,05
23	9,2	15,0	4,2	90	1,02
24	10,6	19,0	3,6	89	0,51
25	10,7	19,0	8,7	90	0,00
26	8,7	15,0	4,4	93	5,08
27	10,7	15,0	6,3	89	4,06
28	8,8	16,0	2,0	88	0,00
29	11,7	16,6	6,2	95	0,00
30	13,9	18,0	11,6	91	0,00
31	12,0	18,9	9,0	86	3,05
Medias y totales mensuales					
	12,2	18,5	7,5	87,7	171,72

Anexo B.5. Datos registrados para Abril del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	11,8	16,0	8,0	80	0,00
2	8,5	16,3	3,7	95	0,00
3	11,8	13,0	9,6	89	5,08
4	10,2	13,8	8,0	94	0,51
5	13,0	18,0	11,0	96	0,00
6	12,3	15,3	10,0	96	0,00
7	11,9	15,6	8,2	88	0,00
8	10,8	16,2	5,3	90	0,00
9	10,2	22,0	2,6	91	0,00
10	13,4	22,0	10,0	93	0,00
11	13,4	16,6	11,0	91	0,00
12	9,7	14,9	5,7	97	17,02
13	9,7	12,7	7,3	87	17,02
14	8,4	12,9	6,0	88	2,03
15	7,9	13,0	5,0	87	0,51
16	5,6	13,3	0,6	96	0,00
17	8,4	13,0	4,6	94	3,05
18	11,4	16,0	8,9	90	5,08
19	10,1	16,0	6,2	95	0,00
20	11,7	14,6	10,0	95	2,03
21	11,6	15,0	8,0	92	1,02
22	7,1	14,8	4,6	95	35,05
23	9,7	14,0	7,0	97	6,10
24	11,8	19,9	10,0	92	7,87
25	9,7	14,8	4,3	92	0,00
26	9,6	14,2	5,4	98	0,00
27	11,1	14,1	7,0	91	12,95
28	7,9	12,2	4,0	90	0,00
29	8,2	12,9	5,0	91	0,00
30	9,2	12,0	5,0	88	0,00
Medias y totales mensuales					
	10,2	15,2	6,7	91,9	115,32

Anexo B.6. Datos registrados para Mayo del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	6,2	15,0	-0,8	88	0,00
2	6,3	15,8	2,3	94	0,00
3	8,5	12,5	5,4	95	0,00
4	10,8	13,0	9,0	100	4,06
5	9,3	13,3	7,7	91	1,02
6	8,8	14,7	3,6	90	0,00
7	9,6	15,1	7,0	97	0,51
8	4,7	13,8	-1,4	91	0,00
9	7,7	12,1	2,4	94	0,00
10	11,3	14,0	8,6	88	16,00
11	9,2	14,6	6,0	90	0,00
12	9,8	13,0	6,2	93	0,00
13	11,7	13,3	11,0	99	11,18
14	10,6	16,0	8,0	96	0,25
15	10,2	16,5	8,7	100	0,00
16	10,5	13,0	9,0	97	0,00
17	9,7	13,2	5,5	96	0,00
18	9,9	12,9	8,0	96	8,89
19	6,7	10,6	5,0	99	13,97
20	3,7	9,0	-0,1	97	7,11
21	6,3	8,7	5,0	91	0,00
22	5,8	10,0	3,9	98	12,95
23	8,3	10,1	6,6	97	0,51
24	9,8	10,3	9,0	95	0,51
25	7,8	13,0	2,3	98	26,92
26	7,9	14,0	3,0	95	0,00
27	12,1	14,6	10,0	95	3,05
28	8,9	13,9	5,0	96	14,99
29	3,8	12,9	-1,0	97	0,00
30	2,7	11,8	-0,6	100	0,00
31	6,1	13,0	2,0	97	0,00
Medias y totales mensuales					
	8,2	13,0	5,0	95,2	121,92

Anexo B.7. Datos registrados para Junio del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	SLP	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	7,8	13,5	2,6	99	0,0	6,4
2	8,8	12,0	7,0	99	0,0	9,5
3	6,1	15,0	0,6	95	0,0	4,5
4	6,0	15,3	0,9	99	0,0	5,0
5	10,9	14,0	8,6	97	0,0	10,6
6	7,6	13,7	2,7	97	0,5	6,9
7	10,3	12,5	8,4	94	14,0	7,7
8	8,1	11,3	6,1	95	23,1	9,5
9	9,9	13,4	7,0	99	9,9	8,0
10	12,0	13,6	10,0	88	36,1	8,2
11	7,3	13,5	3,8	82	1,0	9,8
12	6,9	11,1	3,0	88	18,0	9,3
13	4,7	10,0	-0,6	89	1,0	8,9
14	5,4	10,0	0,8	90	0,0	8,2
15	8,2	10,0	7,0	91	2,5	9,8
16	8,2	11,0	6,8	90	15,5	8,4
17	11,1	13,0	8,0	76	0,5	10,6
18	9,3	13,1	8,0	87	0,0	9,0
19	8,4	11,0	6,6	84	7,9	10,6
20	7,9	12,1	3,0	84	1,5	10,0
21	6,2	12,5	3,0	93	0,0	8,2
22	5,4	8,1	3,0	87	0,0	10,8
23	6,7	8,0	5,4	87	7,9	9,7
24	3,4	8,1	0,0	90	0,5	10,8
25	1,3	7,5	-3,4	92	0,0	6,8
26	2,7	11,0	-2,4	89	0,0	9,3
27	7,9	11,2	6,9	95	1,0	3,2
28	8,9	10,0	7,6	95	8,9	6,8
29	5,5	10,5	2,0	89	13,0	9,7
30	2,9	8,0	-0,2	92	0,0	10,1
Medias y totales mensuales						
	7,2	11,5	4,1	91,1	162,8	8,5

Anexo B.8. Datos registrados para Julio del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	3,5	8,2	-0,6	91	1,0
2	1,8	9,0	-3,6	87	0,0
3	1,9	8,7	-3,2	89	0,0
4	6,4	9,0	2,0	82	0,0
5	1,7	9,1	-2,0	94	0,0
6	4,4	9,2	0,7	91	0,0
7	8,7	12,0	7,0	88	0,0
8	7,9	12,1	4,9	97	0,3
9	8,4	10,6	4,6	89	1,0
10	8,6	13,0	4,4	90	54,1
11	10,9	13,2	9,0	84	3,1
12	9,2	12,7	8,0	84	5,1
13	9,6	11,0	8,0	89	16,0
14	6,7	10,9	5,0	90	23,9
15	4,9	8,4	2,4	92	8,9
16	2,9	8,2	0,6	93	21,1
17	1,6	8,0	-2,3	90	6,1
18	1,0	8,5	-2,7	91	0,0
19	1,7	9,0	-2,0	88	0,0
20	5,9	8,5	3,4	86	1,0
21	10,2	11,0	8,2	97	17,0
22	10,8	12,3	9,4	92	40,9
23	9,9	13,2	6,0	90	7,9
24	9,9	13,3	8,9	89	0,0
25	8,3	10,6	6,3	90	14,0
26	8,3	11,0	7,0	85	4,1
27	8,3	11,0	6,6	85	19,1
28	6,6	11,1	4,4	89	5,1
29	5,6	10,8	1,8	85	0,0
30	2,3	10,3	-2,8	81	0,0
31	1,7	9,0	-3,4	91	0,0
Medias y totales mensuales					
	6,1	10,4	3,1	89	249,4

Anexo B.9. Datos registrados para Agosto del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	4,3	9,1	-0,6	91	2,0
2	7,0	10,0	5,4	90	7,9
3	5,5	10,3	2,0	91	0,8
4	6,9	9,4	5,5	86	3,1
5	7,3	10,0	5,5	90	11,9
6	6,7	10,3	4,9	91	2,0
7	3,6	8,5	0,0	91	1,0
8	7,8	13,0	1,2	88	0,5
9	11,0	13,4	9,0	87	37,1
10	9,3	13,2	7,1	87	10,9
11	9,0	13,0	6,0	87	24,9
12	6,9	13,4	4,3	86	10,9
13	5,9	11,2	1,8	88	3,1
14	6,3	11,0	2,4	86	0,5
15	2,5	11,0	-1,8	92	0,5
16	6,5	9,2	3,3	85	3,1
17	5,4	8,7	3,9	89	19,1
18	4,4	9,0	1,0	91	1,0
19	3,8	9,4	-1,3	87	0,0
20	5,1	10,4	0,4	85	0,0
21	3,9	11,1	-2,4	86	0,0
22	4,6	11,6	-0,4	91	0,0
23	7,1	10,0	5,0	87	22,1
24	4,7	10,0	-0,8	82	0,0
25	6,4	10,0	1,9	85	0,0
26	9,0	11,0	7,9	87	5,1
27	7,5	11,0	4,0	91	7,9
28	8,9	11,6	7,5	83	2,0
29	7,2	8,9	5,0	91	16,0
30	4,7	10,0	0,7	86	6,1
31	6,6	15,0	0,2	76	0,0
Medias y totales mensuales					
	6,3	10,8	2,9	88	199,4

Anexo B.10. Datos registrados para Septiembre del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	7,5	15,8	5,0	85	4,1
2	9,3	12,0	7,0	90	7,9
3	6,3	12,1	3,0	93	7,1
4	5,4	8,9	2,9	93	10,9
5	5,9	9,0	1,7	93	7,9
6	5,9	9,0	2,0	95	3,1
7	8,6	12,0	5,8	87	7,1
8	8,8	12,5	8,0	90	4,1
9	8,4	11,0	6,4	95	6,1
10	7,5	11,4	4,0	86	7,1
11	8,8	11,6	7,5	95	23,9
12	8,8	12,0	5,7	87	26,9
13	5,0	12,8	-1,3	83	0,0
14	6,7	15,0	-0,1	83	0,0
15	9,6	15,1	7,0	83	0,0
16	7,8	12,0	5,0	85	16,0
17	6,3	13,0	0,0	82	0,5
18	6,7	13,3	1,2	90	0,0
19	9,0	13,6	3,6	83	0,0
20	10,3	15,0	7,8	92	0,0
21	10,1	15,6	6,9	90	0,0
22	10,9	17,0	8,0	90	0,0
23	10,1	17,3	5,3	90	0,0
24	11,9	15,2	10,0	88	13,0
25	8,6	15,8	2,6	87	0,5
26	9,5	17,0	4,0	84	0,0
27	10,3	11,0	9,0	90	2,0
28	10,9	14,0	8,8	89	18,0
29	9,8	15,1	7,4	87	3,1
30	7,6	13,6	3,0	87	0,0
Medias y totales mensuales					
	8,4	13,3	4,9	88	169,1

Anexo B.11. Datos registrados para Octubre del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	8,8	12,2	6,7	90	5,1
2	8,4	13,0	4,3	83	0,5
3	9,3	16,0	3,3	84	0,0
4	9,9	16,4	8,4	93	6,1
5	11,5	15,0	9,0	89	9,9
6	10,4	14,7	7,7	93	7,9
7	7,8	13,0	1,3	84	0,0
8	8,5	15,0	4,0	90	0,0
9	8,8	15,0	6,5	87	0,0
10	7,3	13,6	2,0	83	6,1
11	8,4	12,8	6,0	80	0,5
12	7,3	13,2	3,6	84	6,1
13	7,8	15,0	0,1	86	0,5
14	9,7	15,2	7,3	97	0,0
15	10,4	13,6	9,0	86	7,1
16	7,8	13,2	2,6	83	2,0
17	7,5	14,0	1,0	78	0,0
18	8,7	17,0	-0,4	76	0,0
19	10,5	15,2	5,4	83	0,0
20	10,5	15,6	7,9	86	7,1
21	6,9	13,7	-0,5	80	0,0
22	8,4	13,4	3,7	79	1,0
23	8,3	14,0	3,8	85	0,0
24	10,3	14,0	7,0	79	0,0
25	9,4	17,0	2,1	77	0,0
26	10,1	16,0	4,0	82	0,0
27	9,8	17,5	4,2	87	0,0
28	9,9	16,0	5,7	90	7,1
29	10,4	14,5	7,5	80	1,0
30	10,6	15,0	4,5	86	0,0
31	10,9	17,1	5,5	89	0,0
Medias y totales mensuales					
	9,2	14,7	4,6	85	68,1

Anexo B.12. Datos registrados para Noviembre del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	10,9	17,4	6,5	91	0,0
2	11,7	15,5	9,0	83	0,0
3	11,3	16,5	6,0	77	0,5
4	11,0	16,4	5,7	80	0,0
5	11,6	20,0	3,5	73	0,0
6	12,1	20,5	5,8	77	0,0
7	11,7	20,2	9,0	93	22,1
8	10,6	15,1	8,6	95	2,0
9	9,6	14,4	5,7	85	18,0
10	8,3	13,3	2,6	84	7,9
11	10,2	17,0	2,2	78	0,0
12	12,0	18,2	5,5	84	0,0
13	12,6	18,8	8,9	91	0,0
14	14,7	19,1	8,9	88	0,0
15	12,6	19,8	10,0	88	0,0
16	14,0	20,0	7,9	77	0,0
17	12,3	20,4	9,9	88	0,0
18	10,6	16,4	7,0	85	1,0
19	9,4	15,4	2,6	76	0,8
20	10,0	15,2	6,2	86	0,0
21	11,3	14,9	8,8	99	20,1
22	13,4	16,0	11,4	88	24,9
23	12,4	16,1	10,0	89	15,0
24	12,4	16,1	10,9	82	0,0
25	11,7	16,2	8,6	83	2,0
26	10,1	17,0	2,5	82	2,0
27	11,7	17,8	9,4	89	0,0
28	11,5	17,0	5,0	82	16,0
29	11,0	15,0	5,0	77	0,0
30	11,1	17,0	5,0	72	0,0
Medias y totales mensuales					
	11,5	17,1	6,9	84	132,3

Anexo B.13. Datos registrados para Diciembre del 2011.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	12,6	24,0	2,4	79	0,0
2	14,2	25,4	8,6	77	0,0
3	14,4	19,5	13,0	84	0,5
4	14,3	18,3	9,5	85	1,0
5	13,6	19,0	9,7	81	1,0
6	14,1	20,0	6,4	80	0,0
7	13,8	20,5	8,9	85	0,0
8	13,5	20,0	7,0	80	0,0
9	14,3	22,0	6,5	75	0,0
10	14,4	22,5	12,0	81	0,0
11	12,1	16,4	9,7	91	3,1
12	13,4	18,0	7,6	83	2,0
13	13,5	20,0	8,0	85	0,0
14	13,9	21,0	7,0	81	0,0
15	16,2	23,0	10,7	80	0,0
16	16,2	23,3	10,1	80	0,0
17	16,1	21,8	12,8	91	0,0
18	14,4	21,4	7,9	81	5,1
19	12,8	17,6	7,8	85	0,0
20	13,3	18,2	10,0	84	1,0
21	10,9	17,4	7,8	83	9,9
22	9,3	14,3	5,6	84	5,1
23	10,1	16,1	2,4	74	2,0
24	12,7	18,4	6,6	75	0,0
25	15,6	21,0	10,2	75	0,0
26	15,4	21,2	9,8	86	0,0
27	15,3	21,0	10,0	85	0,0
28	15,6	21,1	8,5	80	0,0
29	13,7	20,0	7,4	83	0,0
30	14,9	21,2	8,2	75	0,0
31	15,8	23,0	9,6	84	0,0
Medias y totales mensuales					
	13,9	20,2	8,4	82	30,8

Anexo B.14. Datos registrados para Enero del 2012.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	17,4	24,0	12,7	76	0,0
2	14,6	24,3	5,4	69	0,0
3	14,4	23,3	5,7	72	0,0
4	15,9	22,7	7,7	76	0,0
5	17,2	23,3	11,1	79	0,0
6	18,0	26,0	8,9	76	0,0
7	17,3	26,4	12,0	81	0,0
8	18,1	24,2	15,0	72	0,0
9	16,5	20,9	13,0	78	6,1
10	12,3	20,8	9,3	85	19,1
11	12,3	17,1	6,4	75	5,1
12	13,8	21,0	6,4	76	0,0
13	16,4	21,0	13,0	86	0,0
14	17,8	23,0	12,1	80	0,0
15	16,2	23,7	13,4	90	0,0
16	17,8	24,0	12,0	82	0,0
17	16,8	24,8	11,9	77	0,0
18	16,6	23,0	9,2	78	0,0
19	16,4	23,4	10,0	81	0,0
20	16,3	22,6	11,7	80	0,0
21	15,3	23,0	8,5	82	0,0
22	15,8	23,2	9,0	80	0,0
23	15,0	23,9	13,0	86	0,0
24	15,1	19,0	10,6	76	0,0
25	13,6	21,0	5,7	77	0,0
26	13,9	21,0	6,8	80	0,0
27	16,7	23,0	7,0	71	0,0
28	16,3	23,4	13,5	80	2,0
29	14,9	19,3	13,0	92	15,0
30	13,6	16,8	12,0	85	0,0
31	12,6	17,2	8,6	85	0,0
Medias y totales mensuales					
	15,6	22,3	10,1	80	47,3

Anexo B.15. Datos registrados para Febrero del 2012.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	13,5	17,3	10,6	87	0,0
2	13,4	19,0	6,0	81	0,0
3	12,7	21,0	5,2	85	0,0
4	11,3	22,4	3,4	85	7,1
5	12,4	18,6	6,7	86	0,0
6	15,1	20,0	10,7	86	0,0
7	14,7	20,4	12,5	88	0,0
8	12,7	17,3	6,0	76	2,0
9	12,1	21,0	3,5	77	0,0
10	15,2	24,0	6,7	76	0,0
11	18,4	24,5	13,7	89	0,0
12	15,9	23,8	12,0	76	0,8
13	11,7	17,8	5,0	72	0,0
14	11,5	17,1	4,6	77	0,0
15	13,0	20,0	6,6	78	0,0
16	12,2	20,8	10,7	99	3,1
17	16,7	18,0	14,0	100	42,9
18	15,4	18,5	12,0	89	23,1
19	14,3	19,6	10,9	88	7,9
20	12,1	18,3	6,7	85	0,0
21	10,9	18,0	5,2	96	0,0
22	11,9	16,2	6,9	88	6,1
23	12,2	18,0	5,7	87	0,0
24	10,8	18,7	5,9	95	0,0
25	13,9	19,0	9,5	88	15,0
26	14,0	20,2	11,7	95	0,5
27	14,1	18,0	11,1	95	8,9
28	14,1	18,4	12,5	93	18,0
29	13,4	17,0	8,0	84	4,1
Medias y totales mensuales					
	13,4	19,4	8,4	86	139,4

Anexo B.16. Datos registrados para Marzo del 2012.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	12,3	18,2	9,8	89	0,8
2	14,5	19,0	11,0	89	1,0
3	15,7	20,3	12,0	87	0,0
4	16,1	19,7	14,9	90	2,0
5	12,6	18,9	7,0	79	6,1
6	11,6	19,0	5,6	82	0,0
7	13,5	20,0	6,0	83	0,0
8	15,4	21,0	11,9	82	0,0
9	12,9	21,2	9,7	96	0,0
10	13,9	20,0	8,0	89	0,0
11	13,7	21,1	11,3	89	3,1
12	13,7	19,4	11,0	83	15,0
13	14,2	19,2	8,9	81	0,0
14	15,4	20,5	11,1	85	0,0
15	14,9	22,0	8,9	87	0,0
16	14,0	22,3	11,0	96	0,0
17	13,3	18,2	9,8	97	0,0
18	13,0	14,8	12,0	98	4,1
19	12,8	20,0	8,0	88	0,0
20	12,3	20,0	6,5	86	0,0
21	12,5	20,0	7,5	79	0,0
22	12,5	16,5	8,5	85	0,0
23	12,2	17,6	7,1	82	0,0
24	11,7	17,6	7,0	87	1,0
25	10,4	15,4	3,2	82	0,0
26	11,1	19,0	4,1	82	0,0
27	10,5	19,1	2,4	81	0,0
28	12,2	19,2	9,0	91	1,0
29	11,3	16,0	7,0	82	0,0
30	11,3	18,0	4,6	88	0,0
31	12,4	18,3	10,4	95	0,0
Medias y totales mensuales					
	13	19,1	8,6	87	34,1

Anexo B.17. Datos registrados para Abril del 2012.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	10,2	18,0	3,6	82	0,0
2	11,3	16,0	5,4	77	0,0
3	9,3	16,6	3,6	93	0,0
4	10,4	14,1	6,8	90	7,1
5	9,1	12,7	6,0	98	1,0
6	12,8	15,0	10,0	96	23,9
7	13,2	15,6	12,0	91	9,9
8	10,1	15,6	6,4	85	0,0
9	7,7	13,9	3,0	88	0,0
10	7,2	16,2	0,0	90	0,0
11	8,4	19,0	0,9	90	0,0
12	9,8	19,6	5,0	96	0,0
13	12,0	16,0	8,8	86	6,6
14	9,3	15,9	5,3	91	0,0
15	11,0	14,3	8,5	91	4,1
16	11,8	16,1	8,0	84	0,5
17	12,0	16,5	9,0	92	4,1
18	11,6	16,0	7,8	92	1,0
19	10,9	16,4	6,8	92	7,9
20	11,8	14,2	9,6	99	2,0
21	9,0	16,0	2,8	88	3,1
22	8,5	16,9	2,1	91	0,0
23	7,8	16,3	2,0	93	0,0
24	8,7	14,6	5,4	93	0,0
25	7,7	15,0	2,3	91	0,0
26	6,7	14,8	1,5	91	0,0
27	8,2	14,3	3,7	91	0,0
28	8,0	13,9	3,4	91	0,0
29	12,9	17,0	10,5	86	4,1
30	13,3	17,1	10,0	85	1,0
Medias y totales mensuales					
	10,0	15,8	5,7	90	76,2

Anexo B.18. Datos registrados para Mayo del 2012.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	9,8	14,7	6,0	92	13,0
2	11,6	14,5	9,9	93	2,0
3	10,7	14,5	9,6	97	23,1
4	9,6	14,3	4,1	95	4,1
5	12,5	18,0	8,5	92	0,0
6	13,6	18,0	11,0	88	0,0
7	9,6	15,3	5,0	93	3,1
8	7,8	14,5	1,7	95	0,0
9	10,3	13,0	8,0	94	10,9
10	9,4	12,9	7,0	97	8,9
11	4,6	12,1	-0,6	91	6,1
12	4,0	12,0	-1,6	93	0,0
13	6,2	11,9	1,3	93	0,0
14	11,3	14,0	9,8	82	0,0
15	9,9	13,7	7,0	93	5,1
16	6,9	11,0	3,1	95	27,9
17	6,9	11,0	4,9	98	19,1
18	4,2	10,0	-0,6	92	5,1
19	8,4	10,0	5,0	89	27,9
20	4,4	10,7	0,4	95	3,1
21	4,2	12,0	-1,0	95	0,0
22	7,3	11,6	4,0	92	0,0
23	3,5	10,0	-0,8	96	0,0
24	9,2	14,0	6,0	87	0,0
25	9,4	15,0	5,7	92	0,0
26	13,3	15,0	11,9	87	2,0
27	12,7	16,0	11,0	92	22,1
28	13,3	17,0	11,6	92	7,9
29	11,3	17,5	9,6	95	7,9
30	10,4	13,3	8,9	97	7,9
31	8,6	12,7	5,8	99	0,5
Medias y totales mensuales					
	8,9	13,6	5,6	93	207,5

Anexo B.19. Datos registrados para Junio del 2012.

Día	Temperatura [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Temperatura Mínima [°C]	Humedad relativa [%]	Precipitaciones totales [mm]
1	12,5	18,0	10,3	99	32,0
2	10,3	13,9	8,0	93	40,9
3	7,2	12,4	5,0	97	6,1
4	5,9	9,5	2,6	92	0,5
5	5,5	9,3	4,0	86	1,0
6	3,4	8,2	-0,2	89	0,0
7	4,8	9,0	1,7	90	0,0
8	3,8	10,0	-2,4	90	0,0
9	1,6	10,1	-3,0	97	0,0
10	2,6	8,0	-1,0	97	0,0
11	5,7	9,0	3,9	98	0,0
12	10,4	12,0	9,0	99	10,9
13	7,9	13,0	4,0	88	32,0
14	1,8	8,2	-2,1	90	0,0
15	3,4	9,0	-1,5	85	0,0
16	2,0	9,6	-3,0	95	0,0
17	5,7	9,0	4,0	95	3,1
18	2,7	8,8	-1,9	93	0,0
19	6,9	9,7	3,9	99	7,9
20	9,3	10,2	8,0	95	24,9
21	6,8	10,4	4,7	94	2,0
22	7,8	10,0	5,0	95	18,0
23	9,1	11,3	7,0	93	16,0
24	4,1	11,7	-1,0	88	10,9
25	1,9	9,6	-2,3	94	0,0
26	5,6	11,0	0,3	84	0,0
27	8,9	10,7	6,8	96	23,9
28	7,7	10,9	6,0	94	11,9
29	7,6	10,3	3,7	91	11,9
30	8,2	10,6	5,6	97	7,1
Medias y totales mensuales					
	6	10,4	2,8	93	261,1

Anexo C. Balances de Masa y energía.

Anexo C.1. Diagrama de flujo y definición del sistema a simular.

Para realizar el balance de masa y energía primero se debe definir su alcance, es decir los procesos que cubrirá, con sus respectivas corrientes y equipos. En el diagrama de la Figura 51 se puede ver el proceso que se analizará en este apartado.

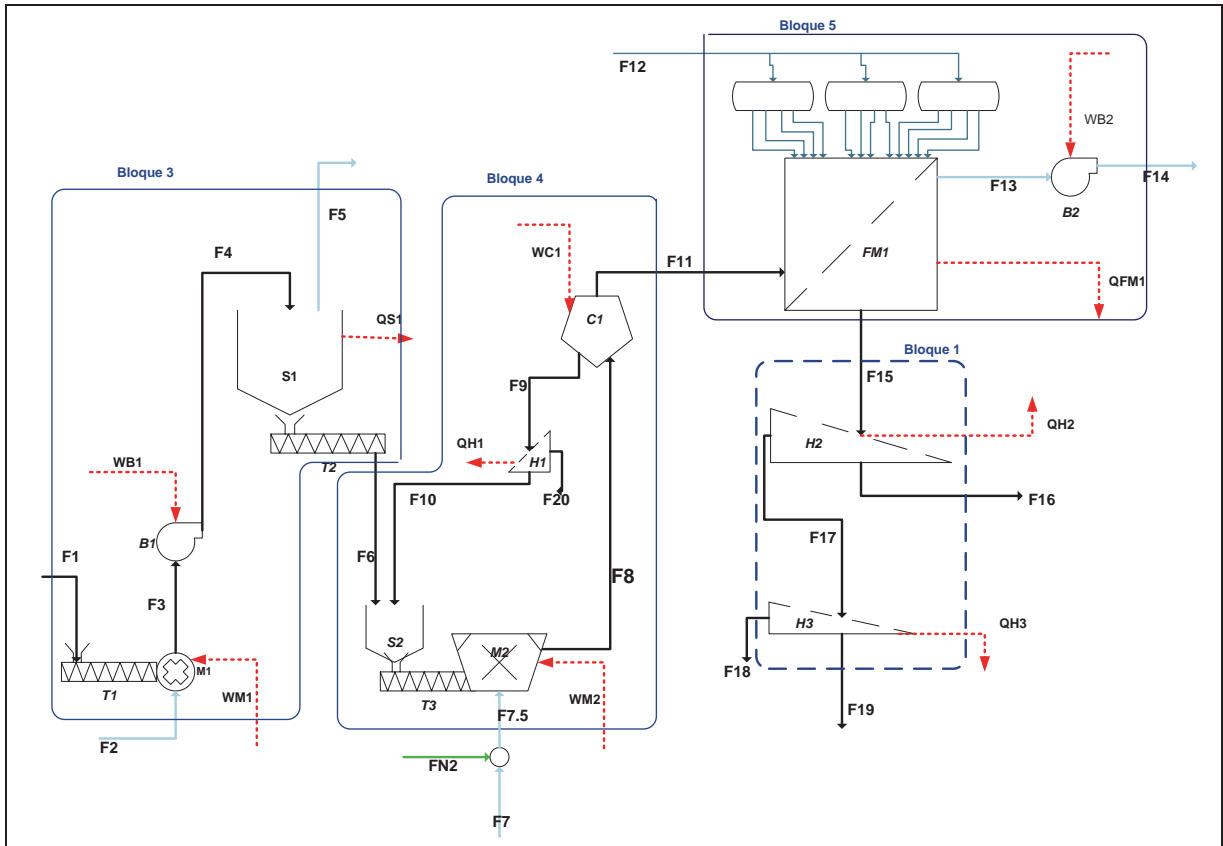


Figura 51. Diagrama de flujo del proceso de molienda de la carragenina.

Donde las Corrientes están identificadas con la letra F más un número para diferenciarlas entre ellas; de igual forma los equipos también se representan con una letra más un número para sub-categorizar, donde la T significa tornillo sin fin, la M significa molino, la S significa silo, la B significa extractor, la C significa clasificador, la H significa harnero y por último FM significa filtro de mangas.

El proceso consiste en el producto entrando por F1 a un tornillo sin fin, con el cual se alimenta a M1 (un molino de martillos), desde el cual el producto molido es retirado con una corriente de aire (F2) y es llevado como F3 al silo de producto pre-molido (S1). Desde este silo sale el

aire como F4, el cual es extraído por el extractor B1 y liberado hacia la atmósfera en F5. Desde el silo S1 se saca el producto con el tornillo T2 para dosificarlo al silo S2 del molino, en el cual posteriormente se mezcla la alimentación fresca con el reciclado F10. Desde el silo S2 se alimenta al molino M2 (molino long-gap), en donde entra una corriente de aire F7, la cual es usada para transportar el producto molido por F8. Aquí el producto se encuentra con el clasificador C1, donde el producto que está dentro de especificaciones sigue el proceso en F11, mientras que el producto rechazado vuelve al molino en F9 (aunque primero se remueven impurezas del rechazo en el harnero H1, donde por lo general solo se retiran pelusas o impurezas de gran tamaño).

El producto que siguió el proceso en F11 llega al filtro de mangas (FM1), donde se retiene en filtros en forma de bolsa hasta que un pulso de aire comprimido proveniente de F12 lo libera para que siga el proceso. Desde el filtro de mangas sale el aire como F13 al ser extraído por el extractor B2 y luego es liberado a la atmósfera en F14. Al mismo tiempo, el producto dentro de especificaciones va a un harnero (H2), en el cual se separa el producto fino y que está terminado (F16) del producto grueso (F17). El producto terminado entonces sale del proceso y se envía al área de envasado, mientras que el producto grueso pasa a otro harnero (H3) donde se retiran las impurezas gruesas (F18) y se recobran las partículas de tamaño medio (F19), las cuales se recolectan en bolsas amarillas para futuros reprocesos.

Las pérdidas o ganancias de calor en cada uno de los equipos están representadas por las flechas rojas. Si la flecha apunta hacia el ambiente, representará que en ese equipo se disipa calor hacia el ambiente. Si la flecha apunta hacia el equipo, significa que existe un aporte de energía por el equipo correspondiente al sistema en forma de trabajo, golpes de partes móviles con producto, etc.

Anexo C.2. Balance de masa y energía del sistema actual.**Parámetros Medidos**

Dado que se pueden medir varias corrientes en la planta, se realizó un balance de masa y se midieron varios parámetros de operación para así poder determinar las corrientes de masa o energía desconocidas. Los valores que se midieron son los que se presentan en la tabla XX.

Tabla 24. Resumen de datos medidos en la planta.

Corriente	Descripción	Medición
F1	Humedad del producto que se alimenta a la molienda	29% p/p.
	Flujo volumétrico medido con anemómetro.	1527,34 [m ³ /hr] de aire húmedo.
F2	Humedad relativa con instrumento en la toma de aire, antes de los filtros.	87% de humedad relativa.
F6	Humedad del producto premolido.	27% p/p.
	Flujo volumétrico medido con anemómetro.	21933,12 [m ³ /hr] de aire húmedo.
F7	Humedad relativa con instrumento en la toma de aire, antes de los filtros.	87% de humedad relativa.
F9	Flujo medido en base a cuánta masa se retira en bolsas de rechazo en un periodo de tiempo definido.	591,42 kg/hr.
F12	Presión medida en la inyección de aire al filtro de mangas. Es la misma presión que la línea de aire comprimido de la planta.	6 bar.
	Flujo de producto final, medido en base a celdas de carga en silo de acumulación de producto final.	320 [kg/hr] de carragenina, considerando humedad.
F16	Humedad de la corriente, como promedio histórico del producto terminado. Es medida al calentar el producto en una estufa a 105°C hasta que alcanza peso constante	6,5 gramos de agua cada 100 gramos de carragenina húmeda, es decir, 6,5% p/p.
	Flujo medido en base a cuánta masa se retira en bolsas de desecho en un periodo de tiempo definido.	1 kg/hr.
F18	Humedad medida de muestras tomadas a la salida del harnero H3.	8% p/p.
	Flujo medido en base a cuánta masa se retira en bolsas de reciclaje en un periodo de tiempo definido.	20 kg/hr.
F19	Humedad medida de muestras tomadas a la salida del harnero H3.	8% p/p.
	Flujo másico de la carragenina que se remueve en este harnero.	0,5 kg/hr.
F20	Humedad de las impurezas removidas por el “harnero despeluzador”.	10% p/p.
	Temperaturas medidas en las distintas líneas de proceso por medio de termómetro infrarrojo.	Varios valores, ver tabla de resumen del balance de masa y energía para encontrar cada valor.
Todas las corrientes	Presiones medidas con un manovacuómetro que fue cambiado de posición e instalado en las distintas líneas del proceso, con la excepción de la línea de aire neumático.	Varios valores, ver tabla de resumen del balance de masa y energía para encontrar cada valor.

Suposiciones

Además, se hicieron las siguientes suposiciones para poder completar los datos que no se podían medir:

- a) El proceso se considerará en estado estacionario y flujo estable, lo cual representa generalmente un comportamiento similar al real una vez se estabiliza el flujo de reciclaje hacia el molino desde el clasificador.
- b) Las líneas de transporte presentarán un comportamiento adiabático; todas las transferencias de calor con el ambiente se verán reflejadas en los equipos.
- c) En F8, F9 y F10 el producto tiene la misma humedad que la muestra sacada en F20.
- d) En F11 el producto tiene la misma humedad que en F15, es decir la evaporación del agua se verá representada en el clasificador inmediatamente.
- e) Los pulsos de aire que se inyectan al filtro de mangas se hacen con aire que proviene del compresor de la planta, el cual se seca para evitar condensación en las líneas neumáticas, por lo que se asume que la humedad en F12 es del 0% p/p.
- f) En F12, se midió el flujo de aire en una línea neumática distinta, a la misma presión; y en base al diámetro de la línea medida y a la cantidad de pulsos por hora que se ejecutan para limpiar los filtros, se calculó el flujo de F12, el cual dio 0,009 m³/hr.
- g) Para fines de cálculo, para el peso molecular de la carragenina se usará el promedio calculado a partir de las moléculas presentadas en Figura 1 y la Figura 2.
- h) El C_p de la carragenina se calculó por medio de la Regla de Kopp, aplicándola a la carragenina Kappa y Iota de la siguiente forma:

Se contaron los átomos de cada molécula (Los representados en la Figura 1 y la Figura 2) y se multiplicaron por los valores correspondientes que se muestran en la

Tabla 25, el resultado de esto se sumó para obtener un valor de C_p para cada tipo de carragenina como se ve en la Tabla 26. Finalmente ambos valores se promediaron obteniendo un C_p de 534 [J mol/°C]

Tabla 25. Valor de calor específico que aporta cada elemento para la regla de Kopp ¹, en Joule/átomo-°C.

ELEMENTO	SÓLIDOS
C	7,5
H	9,6
B	11
Si	16
O	17
F	21
P	23
S	26
Otros	26

Tabla 26. Cálculo con los valores de calor específico para carragenina Iota y Kappa.

Elemento	Iota		Kappa	
	Cantidad	Aporte	Cantidad	Aporte
C	13	97,5	13	97,5
H	17	163,2	18	172,8
O	15	255	12	204
S	2	52	1	26
Otros	0	0	0	0
Total		567,7		500,3

- i) Para los cálculos de energía, se asumirá que el agua que se encuentra dentro de las hojuelas o partículas de carragenina tiene el mismo comportamiento termodinámico que en estado líquido, es decir, se usará el Cp para agua líquida.
- j) En base al punto anterior, se hizo la separación entre el agua que está dentro de la carragenina, y el agua gaseosa que está en las corrientes de aire, la cual pudo provenir con el aire desde que se tomó de la atmósfera, o que pudo haber sido evaporada desde la carragenina.

1: *Chemical Process Principles – Part I. Material and Energy Balance*. R. A. Ragatz. 2006. Página 273.

- k) Las partículas más finas tienen menor humedad pues para llegar a ese tamaño de partícula tuvieron que pasar más veces por el molino, el cual está a alta temperatura y seca estas partículas. De la misma forma las partículas más gruesas tienen una mayor humedad.
- l) En base al punto anterior, también se considera que en flujos con distintos tamaños de partícula se tendrá una sola humedad, la cual corresponderá a la cantidad de agua presente en la cantidad total de carragenina de la corriente, es por eso que en un harnero que tiene dos salidas distintas, con distintos tamaños de partículas cada uno, el producto fino tendrá una menor humedad aún sin haber perdido agua por evaporación en el harnero.
- m) Las temperaturas que se midieron en las cañerías de las líneas de proceso serán las mismas que las de las corrientes que circulan dentro de ellas. Esta suposición se basa en que al momento en que el proceso llega al estado estacionario, ya existe un equilibrio térmico entre el producto y el metal de las cañerías, cumpliendo con la ley cero de la termodinámica. Es importante mencionar que se midieron las temperaturas durante varios minutos por punto, y ésta no cambio, demostrando así un comportamiento de equilibrio térmico.
- n) Se despreciará la fase gaseosa (el aire, nitrógeno y el agua gaseosa) en las líneas que no usen transporte neumático, es decir, en las líneas de las corrientes F1, F6, F9, F10, F15, F16, F17, F18, F19 y F20.
- o) El filtro de mangas tiene un 100% de eficiencia, logrando retener toda la carragenina.
- p) El sistema no tiene pérdidas de carragenina, es decir carece de fugas por bridas, válvulas, fittings, equipos, etc.
- q) Debido a las bajas presiones de las líneas, se asumirá el comportamiento de las especies gaseosas como gas ideal.

Balance de Masa

Primero se tomará el bloque 1, descrito en la Figura 52. Este bloque considera los harneros 2 y 3.

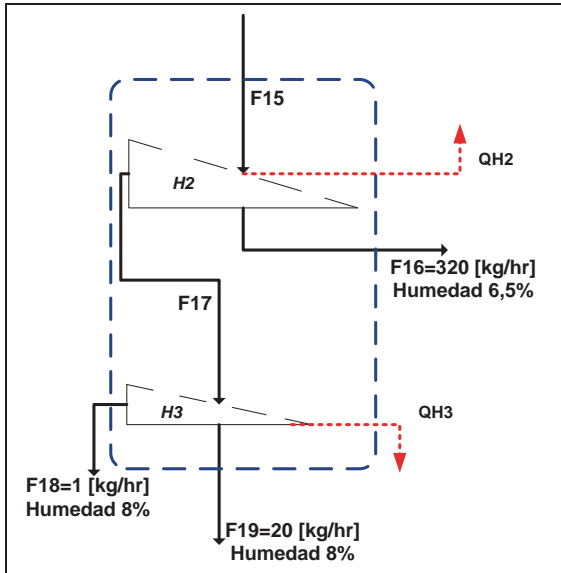


Figura 52. Bloque 1, sección de separación del producto final del producto a recircular y a descartar.

En base al valor conocido del caudal en F16, el cual es 320 kg/hr, más la humedad de esta corriente, se pueden obtener los flujos de carragenina y de agua en F16.

Ecuación 2. Cálculo de la Humedad en carragenina.

$$\text{Humedad en carragenina} = \frac{F_{\text{agua en carragenina}}}{F_{\text{agua en carragenina}} + F_{\text{Carragenina}}}$$

Sumando los caudales de F18 y F19 se obtienen F17, y de la misma forma a partir de F17 y F16 se obtiene F15. También se calcula la humedad en la carragenina para tenerla como dato en F15 y F17 usando la Ecuación 2. Todo lo anterior se resume en la Tabla 27.

Tabla 27. Parámetros calculados en el bloque 1.

Parámetros	F15	F16	F17	F18	F19
F [kg/hr]	341,0	320,0	21,0	1,0	20,0
Carragenina [kg/hr]	318,5	299,2	19,3	0,9	18,4
Agua en carragenina [kg/hr]	22,5	20,8	1,7	0,1	1,6
Humedad en carragenina % p/p	6,6%	6,50%	8%	8%	8%
T [°C]	41	39	39	29	26

Luego se considerará el sistema completo, armando un “Bloque 2”, como se ilustra en la Figura 53.

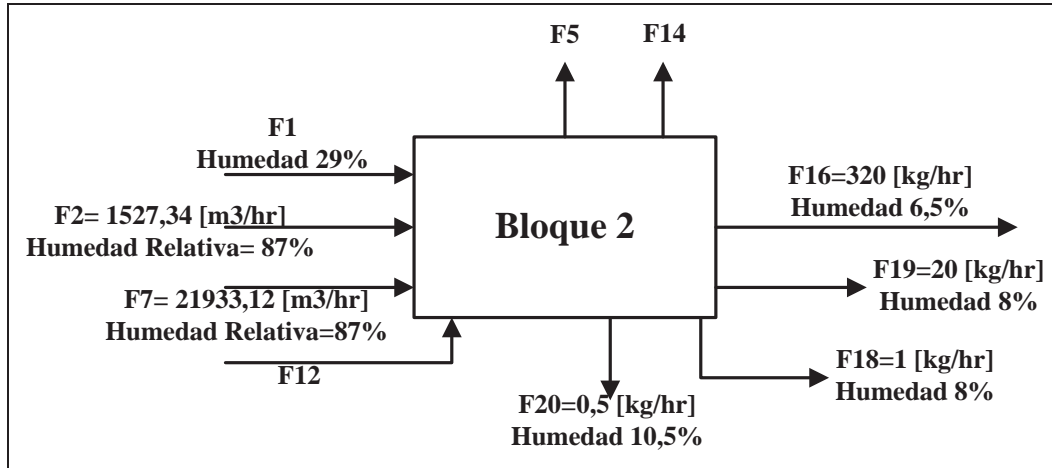


Figura 53. Flujos de entrada y salida del sistema completo.

En F20 solo habrá carragenina, de la cual se midió su flujo y humedad, permitiendo así identificar F20 completamente usando la Ecuación 2. En la Tabla 28 se puede apreciar la identificación de F20.

Al sumar los flujos de carragenina de F16, F18, F19 y F20, se puede saber cuánta carragenina entra al sistema. Además se conoce la humedad de F1, con lo que se puede calcular la cantidad de agua que entra al sistema en F1 por medio de la Ecuación 2, dejando así F1 identificada según se resume en la Tabla 28.

Tabla 28. Resumen de parámetros de F1 y F20 para el balance de masa del bloque 2.

Parámetros	F1	F20
F [kg/hr]	449,3	0,5
Carragenina [kg/hr]	319,0	0,4
Agua en carragenina [kg/hr]	130,3	0,1
Humedad en carragenina % p/p	29,0%	10,5%
T [°C]	20	50

Lo siguiente será analizar el Bloque 3, el cual se representa la premolienda y se puede considerar como un proceso separable de la molienda.

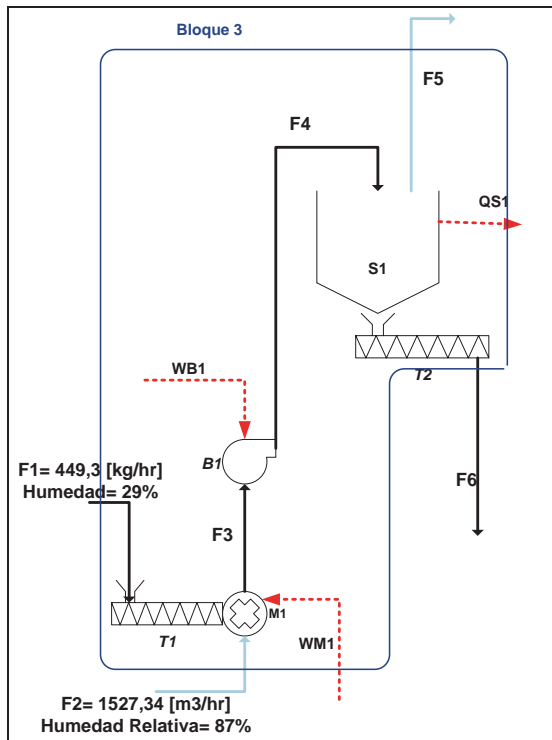


Figura 54. Bloque 3, el cual representa el proceso de premolienda.

Tomando varios puntos de la tabla psicométrica (Figura 23), se puede construir una correlación entre la temperatura a la que esté una corriente de aire y los gramos de agua por kg de aire seco con una humedad relativa del 100%. De esta forma se construye la Tabla 29, de la cual se hace una regresión cuadrática que entrega la

Ecuación 3, donde T es la temperatura en °C a la cual se encuentra la corriente y el valor que se obtiene de “(gramos de agua por kilogramo de aire seco)_{Hr=100%}” es la cantidad de agua por cantidad de aire que se obtiene al tener un 100% de humedad relativa.

Tabla 29. Valores contenido de humedad por kg de aire seco en función a la temperatura de la corriente del aire, cuando la humedad relativa es del 100%.

Temperatura de la corriente de aire (°C)	gramos de agua por kg de aire seco
0	4
5	5,5
10	8
15	11
20	15
30	27

Ecuación 3. Regresión cuadrática de los valores obtenidos de la carta psicométrica expuestos en la Tabla 29.

$$(g \text{ de } H_2O \text{ por kg de aire seco})_{Hr=100\%} = 0,02 \cdot (T)^2 + 0,1586 \cdot T + 4,1357$$

Por definición la humedad relativa es la relación entre contenido de vapor de agua del aire y la cantidad de vapor de agua que el aire puede retener a esa temperatura¹. Si llevamos esta expresión a ecuación, se puede obtener la Ecuación 4, donde Hr es la humedad relativa de la corriente como porcentaje y “(g de H₂O por kg de aire seco reales)” son los gramos de agua gaseosa que contiene la corriente por cada kg de aire seco en la corriente.

Ecuación 4. Ecuación para la Humedad relativa como porcentaje.

$$Hr = \frac{(g \text{ de } H_2O \text{ por kg de aire seco reales})}{(g \text{ de } H_2O \text{ por kg de aire seco})_{Hr=100\%}} \cdot 100$$

Como para la corriente F2 se conoce el flujo másico total, la humedad relativa y la temperatura; y la corriente está compuesta solo por aire y agua gaseosa, es de utilidad expresar los gramos de agua por kg de aire seco reales como se muestra en la Ecuación 5; donde F_{n agua gaseosa} es el flujo en kg/hr de agua gaseosa en la corriente “n” y F_{n aire} es el flujo en kg/hr de aire en la corriente “n”.

Ecuación 5. Ecuación para definir la relación real entre agua gaseosa y aire seco.

$$(g \text{ de } H_2O \text{ por kg de aire seco reales}) = \frac{F_{n \text{ agua gaseosa}} \cdot 1000}{F_{n \text{ aire}}} = \frac{F_{n \text{ agua gaseosa}} \cdot 1000}{F_n - F_{n \text{ agua gaseosa}}}$$

Finalmente reemplazando la

Ecuación 3 y la segunda parte de la Ecuación 5 en la Ecuación 4, se obtiene la Ecuación 6 con la cual se puede obtener el flujo de agua en función de la temperatura en °C de la corriente, del flujo másico total (el cual se obtiene usando la densidad del aire y el caudal volumétrico medido con instrumento) y de la humedad relativa como porcentaje.

Ecuación 6. Humedad relativa en función de la temperatura, flujo de agua gaseosa y flujo total de la corriente n.

$$Hr = \frac{\frac{F_n \text{ agua gaseosa} \cdot 1000}{F_n - F_n \text{ agua gaseosa}}}{0,02 \cdot (T)^2 + 0,1586 \cdot T + 4,1357} \cdot 100$$

1: *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Stephen R. Gliessman. 1998. Capítulo 6, página 73.

Luego de aplicar la ecuación 6 a F2, determinando así cuánto aire seco y cuánta agua entran al sistema, se procede a sumar F1 y F2 para obtener F3 y F4. Como de F6 se sabe que tiene el mismo flujo de carragenina que F4, se calcula cuánta agua en la carragenina hay presente en base al dato de la humedad en este punto. Finalmente por F5 sale todo el aire más el agua que se evaporó y que se obtiene en base a la diferencia del agua en la carragenina de F4 y F6. Todos estos valores se resumen en la Tabla 30.

Tabla 30. Parámetros calculados en el bloque 3.

Parámetros	F2	F3	F4	F5	F6
F [kg/hr]	1.038,6	1.487,8	1.487,8	1.050,9	436,9
Carragenina [kg/hr]	0,0	319,0	319,0	0,0	319,0
Agua en carragenina [kg/hr]	0,0	130,3	118,0	0,0	118,0
Agua gaseosa [kg/hr]	6,9	6,9	19,2	19,2	0,0
Aire [kg/hr]	1.031,7	1.031,7	1.031,7	1.031,7	0,0
Humedad en carragenina, % p/p	N/A	29,0%	27,0%	N/A	27,0%
Humedad relativa aire	87%	25%	69%	96%	N/A
T [°C]	10	30	30	24	24

A continuación pasamos el enfoque al bloque 4, donde se produce la molienda con clasificación externa y recicló. La Figura 55 representa este bloque.

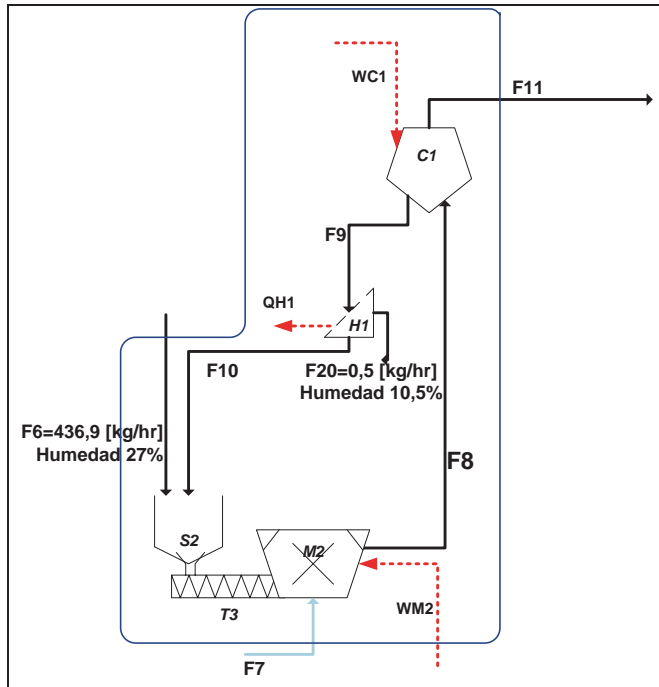


Figura 55. Bloque 4, representa la molienda en el molino long-gap más la clasificación externa del reciclo.

Como para el bloque 4 las corrientes de entrada son F6 y F7, y las corrientes de salida son F11 y F20, se cumplen la Ecuación 7, la Ecuación 8 y la Ecuación 9; además, con la Ecuación 2 al tener la humedad en F11 de los supuestos (supuesto “d”, página 109), se pueden obtener los valores para la corriente F11.

Ecuación 7. Balance de masa para la carragenina en el bloque 4.

$$F_6 \text{ Carragenina} = F_{11} \text{ Carragenina} + F_{20} \text{ Carragenina}$$

Ecuación 8. Balance de masa para el aire en el bloque 4.

$$F_7 \text{ aire} = F_{11} \text{ aire} + F_{20} \text{ aire}$$

Ecuación 9. Balance de masa para el agua en el bloque 4.

$$F_6 \text{ agua en carr.} + F_7 \text{ agua gaseosa} = F_{11} \text{ agua en carr.} + F_{11} \text{ agua gaseosa} + F_{20} \text{ agua en carr.}$$

Como el flujo de F9 fue medido, y se tiene su humedad de la suposición “c” (humedad de la carragenina en F9 es igual a la medida en la muestra que se saca de F20); esto sumado a la suposición “n” (las corrientes que no usan el aire para transporte neumático se desprecia la

presencia de la fase gaseosa) permite que F9 quede completamente identificada en base a la Ecuación 2.

Con F9 y F11 identificadas, se procede a realizar el balance de masa al clasificador C1 para definir así F8 por medio de la Ecuación 2, Ecuación 10 y la Ecuación 11.

Ecuación 10. Balance de masa para el agua en el clasificador C1.

$$F_8 \text{ agua en carr.} + F_8 \text{ agua gaseosa} = F_{11} \text{ agua en carr.} + F_{11} \text{ agua gaseosa} + F_9 \text{ agua en carr.}$$

Ecuación 11 Balance de masa para el aire en el clasificador C1.

$$F_8 \text{ aire} = F_{11} \text{ aire}$$

Por último se realiza el mismo proceso al realizar un balance de masa en el harnero H1, con el cual se identifica la composición y flujo de F10 a partir de F20 y F9 usando la Ecuación 2 y la Ecuación 12.

Ecuación 12. Balance de masa para la carragenina en el harnero H1.

$$F_9 \text{ Carragenina} = F_{10} \text{ Carragenina} + F_{20} \text{ Carragenina}$$

Con lo anterior se logran identificar las corrientes F7, F8, F9, F10 y F11 según se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Resumen de parámetros de las corrientes del bloque 4.

Parámetros	F7	F8	F9	F10	F11
F [kg/hr]	18.423,8	19.451,7	591,4	590,9	18.860,3
Carragenina [kg/hr]	0,0	847,9	529,4	528,9	318,5
Agua en carragenina [kg/hr]	0,0	99,4	62,0	62,0	22,5
Agua gaseosa [kg/hr]	122,9	203,5	0,0	0,0	218,4
Aire [kg/hr]	18.300,9	18.300,9	0,0	0,0	18.300,9
Humedad en carragenina, % p/p	N/A	10,5%	10,5%	10,5%	6,6%
Humedad relativa aire	87%	13%	N/A	N/A	12%
T [°C]	10	60	52	45	65

A continuación se analiza el bloque 5, el cual puede apreciarse en la Figura 56. En este bloque ya se conoce F11 y F15.

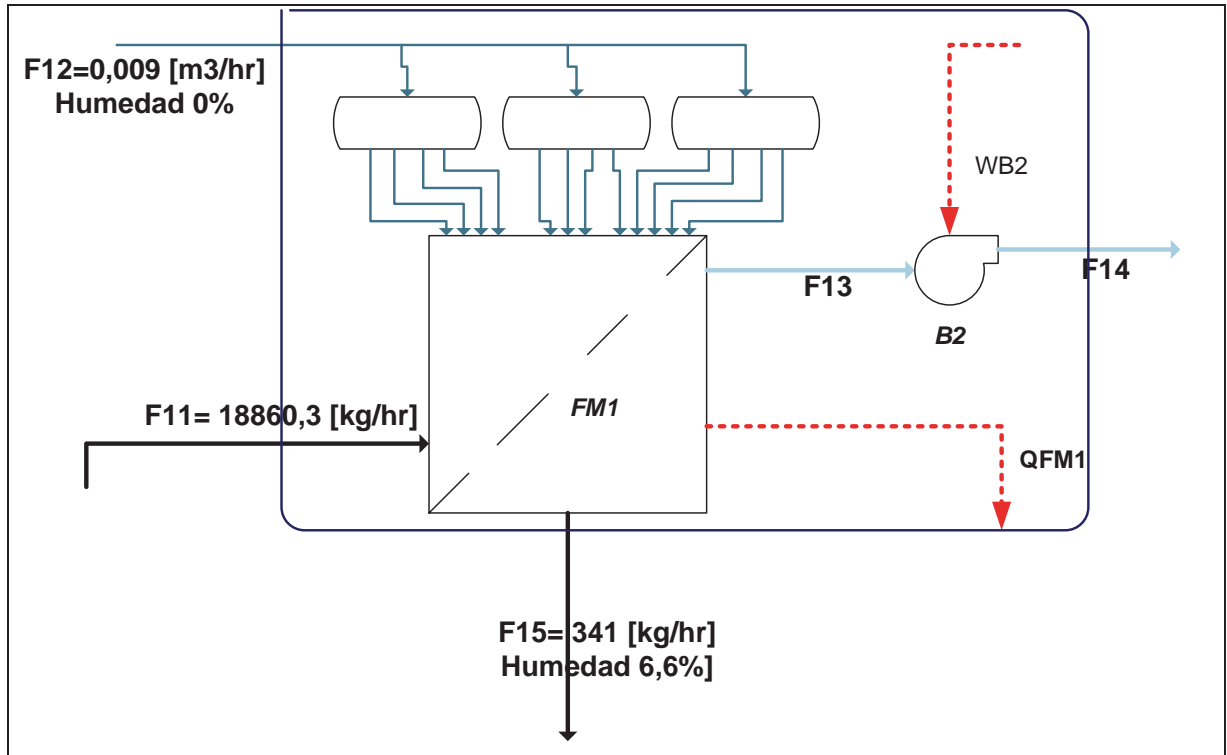


Figura 56. Bloque 5, filtro de mangas con inyección de aire y extractor para el sistema de transporte neumático.

De F12 se conoce la presión, la cual no es demasiado elevada, a partir de ésta se puede calcular el flujo másico de F12 a partir de la Ecuación 13, pues se conoce el flujo volumétrico de la suposición “e”. Como se asumió que F12 solo es aire en la suposición “e”, se sabe que F12 es solo aire. Con esto se tiene a F12 identificada completamente.

Ecuación 13. Ecuación de los gases ideales.

$$PV = nRT$$

Haciendo un balance de masa al bloque 5, se puede identificar completamente F14 considerando la suposición “o” que dice que toda la carragenina saldrá por F15 y la Ecuación 14. Como en términos de masa, F13 es igual a F14, se habrán así identificado todas las corrientes del bloque 5, como se puede apreciar en la Tabla 32.

Es así como se tiene completo el balance de masa.

Ecuación 14. Balance de masa para el agua en el bloque 5.

$$F_{11} \text{ agua en carr.} + F_{11} \text{ agua gaseosa} = F_{15} \text{ agua en carr.} + F_{14} \text{ agua gaseosa}$$

Tabla 32. Resumen de parámetros de las corrientes del bloque 5.

Parámetros	F12	F13	F14
F [kg/hr]	0,0599	18.519,3	18.519,3
Agua gaseosa [kg/hr]	0,0	218,4	218,4
Aire [kg/hr]	0,1	18.300,9	18.300,9
Humedad en carragenina, % p/p	0,0%	N/A	N/A
Humedad relativa aire	0%	14%	12%
T [°C]	41	60	66

Balance de Energía

Para la base de energía se tomó 25°C, pues los datos para capacidades caloríficas de gases en estado de gas ideal se encuentran usando esta misma referencia (298 K). Además se tomó como base para todos los compuestos la presión de 3,166 kPa, pues es la presión a la que se evapora el agua a 25°C.

También se tiene en cuenta que para el proceso la energía cinética y potencial son despreciables.

Finalmente, se tiene que para todas las corrientes y bloques que se consideren se seguirá el recorrido señalado en la Figura 57.

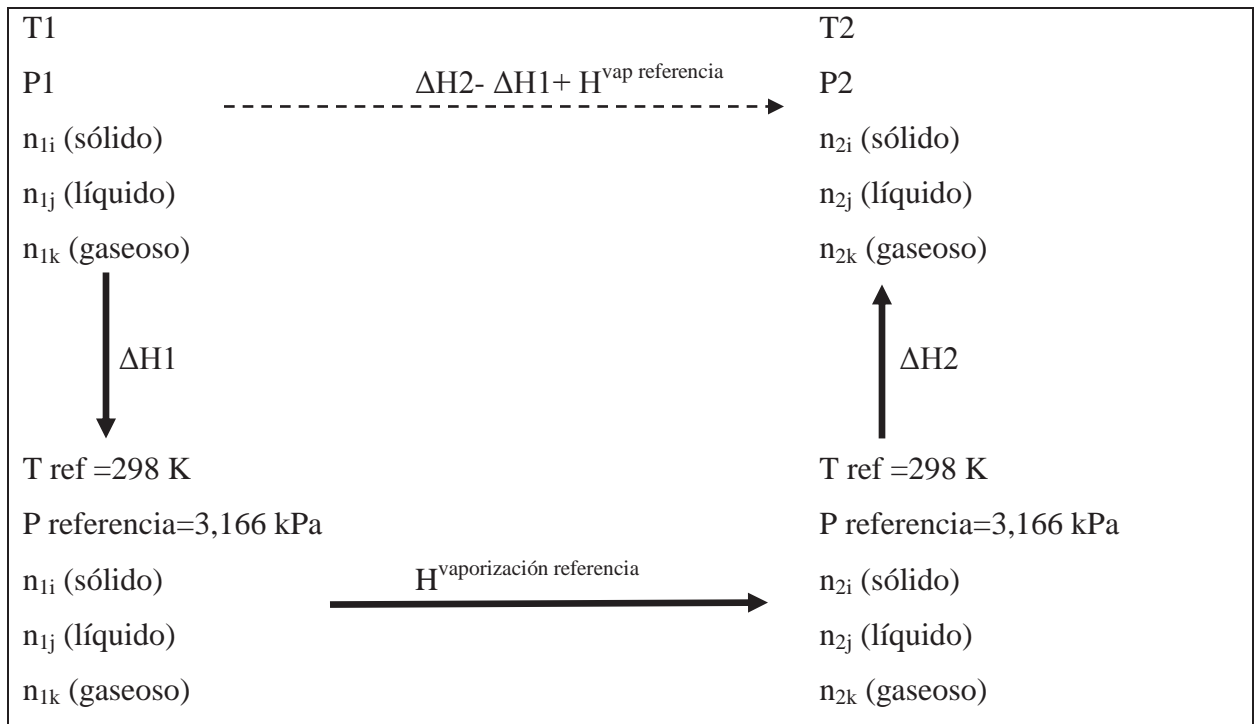


Figura 57. Recorrido para los balances de energía desde un punto 1 hasta un punto 2 cualquiera.

La energía que se calcule a partir de este recorrido, concordará con la energía que aporte o que se disipe en cada equipo según corresponda. Se dirá entonces que cuando el cambio de energía sea negativo, significa que el sistema perdió calor hacia el ambiente; mientras que si la energía es positiva, significa que el sistema ganó energía, la cual fue aportada por un equipo en forma de trabajo. En base a lo anterior, la ecuación que representa este balance queda escrito como se señala en la Ecuación 15.

Ecuación 15. Ecuación general para el balance de energía, con la energía cinética y potencial despreciadas.

$$\sum_{\text{salida}} \Delta H - \sum_{\text{entrada}} \Delta H + H^{\text{vaporización } 298K} = Q + W$$

Además, el cálculo de la entalpía se realizará para cada corriente con la Ecuación 16; donde ΔH_j representa la entalpía de la corriente j en kJ/hr, i representa a cada componente de la corriente, \hat{V} representa el volumen específico de los sólidos de la corriente en m³/kmol y P_j representa la presión de la corriente en kJ/m³.¹

Ecuación 16. Ecuación para el cálculo de la entalpía

$$\Delta H_j = \sum_i^N \left(n_i \cdot \int_{298}^{T_j} C_{p_i} dT \right) + (n_{j \text{ carragenina}} + n_{j \text{ agua en carr.}}) \cdot \hat{V} \cdot (P_j - 3,166)$$

Por último, cada capacidad calorífica se evaluó por medio de las constantes obtenidas de la bibliografía, aplicadas en la Ecuación 17 con los valores de la Tabla 33.²

Ecuación 17. Ecuación para evaluar la capacidad calorífica de gases ideales a distintas temperaturas.

$$C_p^{ig} / R = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$$

Tabla 33. Constantes para evaluar en la ecuación 17.

cp líquidos	A	B	C	D
Agua líquida	8,712	0,001250	-0,18*10 ⁽⁻⁶⁾	0
Agua gaseosa	3,47	0,001450	0	12100
Nitrógeno gaseoso	3,28	0,000593	0	4000
Aire	3,355	0,000575	0	-1600

1: *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. 3ra Edición. Felder & Rousseau. Capítulo 8, p.368.
 2: *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. J.M. Smith, H.C. Van Ness, M.M. Abbot. Séptima Edición. Apéndice C, Tablas C.1 y C.3, p. 684-689.

Como ya se conoce la composición de todas las corrientes, solo resta evaluar la Ecuación 16 y se obtienen los valores de la Tabla 34.

Tabla 34. Valores de Entalpía de cada corriente.

Corriente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
H [kJ/hr]	-4.547	-14.831	11.037	10.797	-258	-777	-263.083
Corriente	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
H [kJ/hr]	729.876	24.820	18.386	793.833	1	679.178	793.260
Corriente	F15	F16	F17	F18	F19	F20	
H [kJ/hr]	7.868	6.453	436	6	32	19	

Con estos valores se puede analizar por equipo y se obtienen entonces los valores de la Tabla 35.

Tabla 35. Transferencias de energía al sistema.

Energía	WM1	WB1	QS1	WM2	WC1	QFM1	WB2	QH1	QH2	QH3
Q [kJ/hr]	0	0	-11.832	0	0	-106.788	0	-6.414	-978	-398
W [kJ/hr]	30.415	29.823	0	1.172.198	125.044	0	114.082	0	0	0

Con esto queda completamente definido el balance de energía del sistema actual.

Anexo C.3. Balance de masa y energía del sistema necesario con nitrógeno líquido.

Finalidad del sistema necesario

En esta sección se plantea el balance de masa y energía para determinar la cantidad de nitrógeno líquido que se necesitará usar para aumentar la humedad del producto terminado a 9,5%.

Para esto se introducen los parámetros del proceso en una tabla de Excel, dejando los parámetros de las corrientes posteriores a la adición de nitrógeno en función a FN2 (ver Figura 58). Luego se buscará por iteración un valor para FN2 que entregue una humedad en F16 del 9,5% con un error de 0,001.

Definición de sistema con inyección de nitrógeno

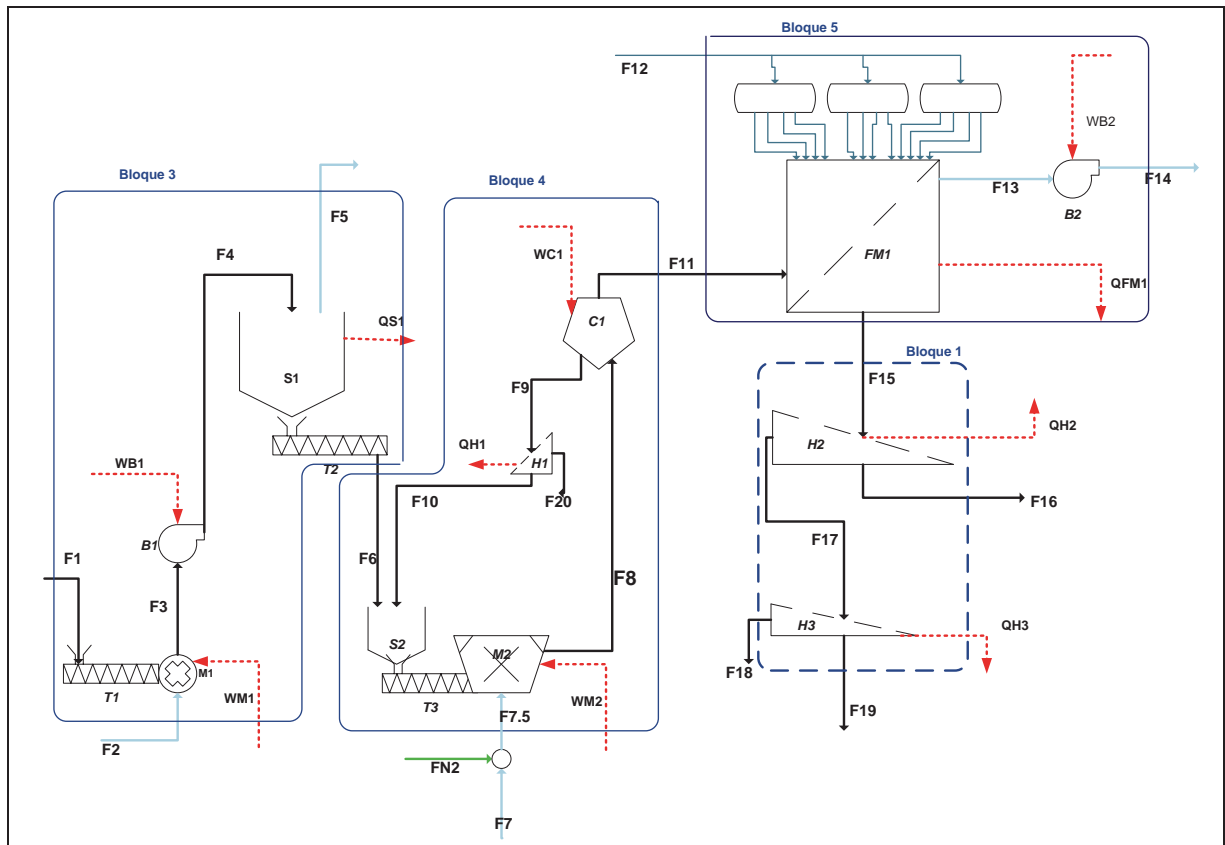


Figura 58. Sistema de molienda con inyección de nitrógeno criogénico en la entrada de aire al molino M2.

Para el sistema teórico postulado se tienen dos corrientes nuevas, una corriente de nitrógeno que entra gaseoso al sistema a -196°C llamada FN2 y una corriente F7,5; la cual consiste en la mezcla de las corrientes FN2 y F7,5. El sistema nuevo es ilustrado en la Figura 58.

Suposiciones

Es de vital importancia destacar las suposiciones con las que se realiza el balance de masa y energía que se presenta en esta sección, las cuales se enumeran a continuación:

- a) El cambio de energía que implica la adición de nitrógeno a temperatura criogénica se verá reflejado en primera instancia en la disminución de la temperatura del aire que ingresa al sistema; pero una vez la mezcla de aire con nitrógeno entra al molino M2, el impacto del cambio de energía será solo reflejado en la cantidad de agua que se evapora, es decir no cambiarán temperaturas, presiones ni habrán intercambios de energía con el ambiente diferentes a los presentados en la sección anterior (del sistema actual). Esto es para tener el mejor caso posible para justificar las pruebas prácticas.
- b) La evaporación del agua que se ve afecta a este cambio de energía se realiza en el molino M2 y en el clasificador C1, reflejando así una disminución en el contenido de agua gaseosa en F8 y F11 con respecto al sistema actual.
- c) La diferencia de humedad en las corrientes que entran y salen de los harneros H2 y H3 del sistema actual no representan evaporación, si no que representan la diferencia entre la humedad de las partículas gruesas con las finas. Para el balance de masa y energía de esta sección se asumirá que la diferencia de humedad entre las partículas gruesas y finas es despreciable.
- d) Considerando que F20 es una corriente donde en su mayoría salen pelusas e impurezas, las cuales fueron consideradas como carragenina para el sistema actual; en esta sección se considera despreciable el contenido de humedad de F20, y se considera que sale el mismo flujo que en el sistema real.
- e) La mezcla de FN2 y F7 es adiabática.
- f) Para los harneros H2 y H3 se obtiene una razón de separación a partir del balance de masa del sistema actual expuesto en la sección anterior. Esta razón se asume que se mantendrá en el sistema propuesto.
- g) De la misma forma que el punto anterior, se asumirá que la razón de rechazo en el clasificador se mantendrá en el sistema propuesto, dejando una razón de $F9/F11 = 0,60219$.

Balance de masa y energía

Las corrientes F1, F2, F3, F4, F5 y F6; así como WM1, WB1 y QS1 no se ven afectadas con la corriente FN2 que se agrega al sistema, por lo tanto sus balances de masa y energía no se ven afectados.

Reemplazando la Ecuación 17 en la Ecuación 16, se obtiene la Ecuación 18 para toda corriente j.

Ecuación 18. Cambio de entalpía para una corriente j, desde 298 K y 3,166 kPa hasta Tj y Pj.

$$\Delta H_j = \sum_i^N \left(n_i R \cdot \int_{298}^{T_j} (A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^{-2}) dT \right) + (n_{j \text{ carr}} + n_{j \text{ H}_2\text{O en carr.}}) \cdot \hat{V} \cdot (P_j - 3,166)$$

Para calcular la energía de F7, se reemplazan los parámetros de la corriente en la Ecuación 18 y se evalúa en función a la temperatura y presión de referencia definidos en el balance de masa y energía del sistema actual, dejando todo en función a FN2.

Luego se calcula F7,5. Para esto se calcula la composición de la corriente sumando las corrientes individuales de F7 con FN2. Considerando la suposición “e”, se cumple la Ecuación 19 y la Ecuación 20, las cuales se pueden igualar a la Ecuación 21. Como el cálculo se hace por Excel, por comodidad de programación es más fácil tantear un valor de temperatura que cumpla con la igualdad que despejar la temperatura y programar dicho algoritmo, por lo que se considera la macro que se ve en la Figura 59 para la macro que se usará en el tanteo final.

Ecuación 19. Balance de energía para la mezcla adiabática de F7 con F7,5.

$$\Delta H_7 + \Delta H_{N2} = \Delta H_{7,5}$$

Ecuación 20. Cálculo de la entalpía de la corriente 7,5 en función a la temperatura y presión de referencia, considerando todos sus componentes.

$$\Delta H_{7,5} = \sum_i^N \left(n_i R \cdot \int_{298}^{T_{7,5}} (A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^{-2}) dT \right)$$

Ecuación 21. Igualdad para el cálculo de T7,5.

$$\Delta H_7 + \Delta H_{N2} - \sum_i^N \left(n_i R \cdot \int_{298}^{T_j} (A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^{-2}) dT \right) = 0$$

```
Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")
```

Figura 59. Macro donde se tantea un valor para la temperatura T7,5 (celda N52); para que la Ecuación 21 evaluada (ingresada en la celda N70) entregue un valor de 0.

Con lo anterior se tiene identificada la corriente F7,5. Luego se analiza el bloque 4 (Figura 58), en donde se tienen las entradas definidas y la salida en F20 definida a partir de la suposición “d”. Como se asume que el cambio de energía entre el sistema actual y el propuesto se ve solo reflejado en la cantidad de agua que se evapora de la carragenina (suposición “a”), de F11 se conoce la temperatura pues es la misma que la del sistema actual. Con un balance de masa en el bloque 4, se puede determinar F11 casi por completo, solo faltando definir cuánta agua queda en la carragenina y cuánta agua se evaporó. Para esto se hace un balance de energía al bloque 4, donde se debe cumplir la Ecuación 22; en donde la entalpía de la corriente 11 dependerá de la composición de la misma corriente. Como del balance de masa se puede dejar la cantidad de agua gaseosa en función del agua de la carragenina, como se señala en la Ecuación 23; y utilizando el peso molecular del agua, se pueden usar ambas ecuaciones para tantear un valor de flujo de agua en carragenina con tal de que se cumpla el balance de energía del bloque 4. Esto se logra con la macro señalada en la Figura 60.

Ecuación 22. Balance de energía para el bloque 4.

$$\Delta H_6 + \Delta H_{7,5} - \Delta H_{20} - \Delta H_{11} + WM2 + WC1 + QH - (F_{11 \text{ H}_2\text{O} (g)} - F_{7,5 \text{ H}_2\text{O} (g)}) \cdot H_{298K,3,16KPa}^{\text{vaporización H}_2\text{O}} = 0$$

Ecuación 23. Balance de masa al agua en el bloque 4.

$$F_{11 \text{ agua gaseosa}} = F_6 \text{ agua en carr.} + F_{7,5 \text{ agua en carr.}} - F_{11 \text{ agua gaseosa}} - F_{20 \text{ agua en carr.}}$$

```
Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")
```

Figura 60. Macro donde se tantea un valor para el flujo de agua en carragenina de la corriente 11 (celda J58); para que la Ecuación 22 evaluada (ingresada en la celda J70) entregue un valor de 0.

Las corrientes posteriores a F11 se pueden definir todas por medio de un balance de masa y usando las razones de separación en los harneros presentadas en la Tabla 36.

Tabla 36. Razones de rechazo obtenidas a partir del balance de masa del sistema actual.

Razón de rechazos harneros (Flujo que pasa la malla/ flujo rechazado por la malla):	
H1	1181,84
H2	15,2381
H3	20

Para definir las corrientes del reciclado se definen las composiciones a partir de la suposición “g”. Y la cantidad de agua en la carragenina en F8 se tantea dando valores para la humedad de la carragenina y encontrando así la composición de F8 que cumpla con la Ecuación 24. Esto se logra con la macro ilustrada en la Figura 61.

Ecuación 24. Balance de energía al molino M2.

$$-\Delta H_8 + \Delta H_{7,5} + \Delta H_6 + \Delta H_{10} + WM2 - (F_{8\text{ H}_2\text{O}(g)} - F_{7\text{ H}_2\text{O}(g)}) \cdot H_{298K,3,16KPa}^{\text{vaporización H}_2\text{O}} = 0$$

```
Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")
```

Figura 61. Macro donde se tantea un valor para la humedad de la carragenina de la corriente 8 (celda K56); para que la Ecuación 24 evaluada (ingresada en la celda K70) entregue un valor de 0.

Cuando se evalúan las macros presentadas en esta sección, más los balances de masa y energía análogos al sistema de la sección anterior, se puede buscar qué cantidad de nitrógeno se debe añadir al sistema para obtener una humedad del 9,5% en la carragenina de la corriente 16.

A modo de facilitar este tanteo, y de obtener un valor con un error menor a 0,001 de la humedad de la corriente 16, se utilizó la macro descrita en la sección “Anexo C.4. Macro para el tanteo de la cantidad de nitrógeno necesario para obtener una humedad de 9,5% en el producto terminado.”. En base a esto, la cantidad necesaria de nitrógeno es de 95 kg/hr.

El resumen de los balances de masa y energía de este sistema se presenta en la Figura 62 y en la Figura 63

Anexos

10XX	F1	F2	F3	F4	F5	F6	FN2	F7	F7.5	F8	F9	F10
F [kg/hr]	449,3	1.038,6	1.487,8	1.487,8	1.050,9	436,9	95	18.423,8	18.518,9	19.469,5	609,3	608,8
F [m3/hr]	1,6	1.527,3	2.066,4	1.190,3	840,7	1,15	21,50	21.933,1	21.966,5	26.310,1	0,76	0,76
Carragenina [kg/hr]	319,0	0,0	319,0	319,0	0,0	319,0	0,0	0,0	0,0	847,3	528,8	528,4
Agua en carragenina [kg/hr]	130,3	0,0	130,3	118,0	0,0	118,0	0,0	0,0	0,0	128,9	80,4	80,4
Agua gaseosa [kg/hr]	0,0	6,9	6,9	19,2	19,2	0,0	0,0	122,9	122,9	192,4	0,0	0,0
Aire [kg/hr]	0,0	1.031,7	1.031,7	1.031,7	1.031,7	0,0	0,0	18.300,9	18.300,9	18.300,9	0,0	0,0
Nitrogeno [kg/hr]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,1	0,0	95,1	95,1	0,0	0,0
Humedad en carragenina, % p/p	29,0%	N/A	29,0%	27,0%	N/A	27,0%	N/A	N/A	N/A	13,2%	13,2%	13,2%
Humedad relativa aire	N/A	87%	25%	69%	96%	N/A	N/A	87%	94%	12%	N/A	N/A
T [°C]	20	10	30	30	24	24	-134	10	8,93	60	52	45
T [K]	293,15	283,15	303,15	303,15	297,15	297,15	77,15	283,15	282,0810285	333,15	325,15	318,15
T ref	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15
PM promedio [kg/kmol]	56,4	28,9	33,8	33,8	28,7	60,0	28,0	28,9	28,8	29,9	107,4	107,4
P [bar]	1,013	0,555	0,536	0,931	1,078	1,013	1,013	0,685	0,685	0,686	1,013	1,013
P [kJ/m3]	101,325	55,482	53,619	93,088	107,787	101,325	101,3	68,536	68,536	68,609	101,325	101,325
Volumen específico sólidos [m3/kmol]	0,20	0,00	0,20	0,21	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,13
P referencia [kJ/m3=kPa]	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166
H [kJ/hr] [(CpdT + VΔP)]	-4.547	-14.831	11.037	10.797	-258	-777	-21.776	-263.083	-284.858	736.800	26.888	19.917
Densidad [kg/m3]	280	0,68	0,72	1,25	1,25	380	4,42	0,84	0,843051433	0,74	800	800
Flujos molares												
Carragenina [kmol/hr]	0,727	0,000	0,727	0,727	0,000	0,727	0,000	0,000	0,000	1,932	1,206	1,205
Agua [kmol/hr]	7,2	0,0	7,2	6,6	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	7,2	4,5	4,5
Agua gaseosa [kmol/hr]	0,0	0,4	0,4	1,1	1,1	0,0	0,0	6,8	6,8	10,7	0,0	0,0
Aire [kmol/hr]	0,0	35,6	35,6	35,6	35,6	0,0	0,0	631,7	631,7	631,7	0,0	0,0
Nitrogeno [kmol/hr]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	3,4	3,4	0,0	0,0
n TOTAL [kmol/hr]	8,0	36,0	44,0	44,0	36,7	7,3	3,4	638,5	641,9	654,9	5,7	5,7
Fraciones molares												
Fración Carragenina	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
Fración Agua	0,9	0,0	0,2	0,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8
Fración Agua gaseosa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fración Aire	0,0	1,0	0,8	0,8	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
Fración Nitrogeno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
[CpdT Agua gaseosa [J/mol]	-388,93	-716,20	-60,72	-60,72	-257,76	-257,76	-7422,82	-716,20	-751,13	929,79	664,78	433,42
[CpdT Aire [J/mol]	-116,54	-408,71	176,15	176,15	0,48	0,48	-6290,36	-408,71	-439,91	1057,27	821,86	616,14
[CpdT Nitrogeno gaseoso [J/mol]	-218,63	-506,87	70,01	70,01	-103,22	-103,22	-6411,98	-506,87	-537,66	938,46	706,50	503,76
[CpdT Agua líquida [J/mol]	-376,87	-1129,89	377,10	377,10	-75,39	-75,39	-16425,37	-1129,89	-1210,32	2644,69	2039,17	1509,84

Figura 62. Caracterización de flujos 1 a 10.

Anexos

10XX	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20
F [kg/hr]	18.860,3	0,0599	18.508,4	18.508,4	351,9	330,2	21,7	1,0	20,6	0,5
F [m3/hr]	29.936,9	0,009	41.129,8	14.689,2	0,44	0,41	0,027	0,001	0,026	0,001
Carragenina [kg/hr]	318,5	0,0	0,0	0,0	318,5	298,9	19,6	0,9	18,7	0,5
Agua en carragenina [kg/hr]	33,4	0,0	0,0	0,0	33,4	31,4	2,1	0,1	2,0	0,0
Agua gaseosa [kg/hr]	207,5	0,0	207,5	207,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aire [kg/hr]	18.300,9	0,1	18.300,9	18.300,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nitrogen [kg/hr]	95,1	0,0	95,1	95,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Humedad en carragenina, % p/p	9,5%	0,0%	N/A	N/A	9,5%	9,501%	9,5%	9,5%	9,5%	0,0%
Humedad relativa aire	11%	0%	13%	11%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
T [°C]	65	41	60	66	41	39	39	29	26	50
T [K]	338,15	314,15	333,15	339,15	314,15	312,15	312,15	302,15	299,15	323,15
T ref	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15	298,15
PM promedio [kg/kmol]	29,2	29,0	28,8	28,8	136,2	136,2	136,2	136,2	136,2	438,5
P [bar]	0,607	6,00	0,433	1,235	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
P [kJ/m3]	60,663	600,000	43,324	123,493	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325
Volumen específico sólidos [m3/kmol]	0,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,55
P referencia [kJ/m3=kPa]	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166	3,166
H [kJ/hr] [(CpdT + VΔP)]	798.687	1	681.802	796.355	8.603	7.069	464	6	34	16
Densidad [kg/m3]	0,63	6,66	0,45	1,26	800	800	800	800	800	800
Flujos molares										
Carragenina [kmol/hr]	0,726	0,000	0,000	0,000	0,726	0,682	0,045	0,002	0,043	0,001
Agua [kmol/hr]	1,9	0,0	0,0	0,0	1,9	1,7	0,1	0,0	0,1	0,0
Agua gaseosa [kmol/hr]	11,5	0,0	11,5	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aire [kmol/hr]	631,7	0,0	631,7	631,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nitrogeno [kmol/hr]	3,4	0,0	3,4	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
n TOTAL [kmol/hr]	649,2	0,0	646,6	646,6	2,6	2,4	0,2	0,0	0,2	0,0
Fraciones molares										
Fración Carragenina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0
Fración Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0
Fración Agua gaseosa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fración Aire	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fración Nitrogeno	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
[CpdT Agua gaseosa [J/mol]	1095,76	301,43	929,79	1128,99	301,43	235,50	235,50	-93,58	-192,12	598,62
[CpdT Aire [J/mol]	1204,56	498,70	1057,27	1234,03	498,70	440,01	440,01	146,86	59,02	763,06
[CpdT Nitrógeno gaseoso [J/mol]	1083,58	388,00	938,46	1112,61	388,00	330,15	330,15	41,13	-45,49	648,55
[CpdT Agua líquida [J/mol]	3023,45	1207,57	2644,69	3099,23	1207,57	1056,49	1056,49	301,66	75,40	1887,89
[CpdT Carr [J/mol]	21.744,00	8.697,60	19.026,00	22.287,60	8.697,60	7.610,40	7.610,40	2.174,40	543,60	13.590,00

Figura 63. Caracterización de Flujos 11 a 20.

Anexo C.4. Macro para el tanteo de la cantidad de nitrógeno necesario para obtener una humedad de 9,5% en el producto terminado.

Public Sub iterar()

 Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")

 Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")

 Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")

10

a = Abs(Cells(56, 19) * 100 - 9.5)

If a < 0.001 Then

GoTo 20

ElseIf a < 0.1 And a > 0.01 Then

 If Cells(56, 19) * 100 < 9.5 Then

 Cells(49, 8) = Cells(49, 8) + 0.1

 Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")

 Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")

 Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")

 GoTo 10

 ElseIf Cells(56, 19) * 100 > 9.5 Then

 Cells(49, 8) = Cells(49, 8) - 0.1

 Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")

 Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")

 Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")

 GoTo 10

 End If

ElseIf a < 0.01 Then

 If Cells(56, 19) * 100 < 9.5 Then

 Cells(49, 8) = Cells(49, 8) + 0.01

 Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")

 Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")

 Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")

```
GoTo 10
ElseIf Cells(56, 19) * 100 > 9.5 Then
Cells(49, 8) = Cells(49, 8) - 0.01
Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")
Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")
Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")
GoTo 10
End If
Else
If Cells(56, 19) * 100 < 9.5 Then
Cells(49, 8) = Cells(49, 8) + 1
Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")
Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")
Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")
GoTo 10
ElseIf Cells(56, 19) * 100 > 9.5 Then
Cells(49, 8) = Cells(49, 8) - 1
Range("N70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("N52")
Range("J70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("J58")
Range("K70").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("K56")
GoTo 10
End If
End If
20
End Sub
```

Anexo C.5. Factibilidad económica del sistema propuesto.

Construyendo un flujo de caja para 10 años, considerando lo siguiente:

- Un aumento en la producción anual de la planta de un 4%
- Un aumento en el IPC del 7% anual.
- Un aumento de la humedad del producto final de un 3,5%
- Un consumo de nitrógeno de 0,2877 kg de nitrógeno/kg de carragenina producida (calculado a partir de los 95 kg/hr de nitrógeno que tomaría producir 330,2 kg/hr de carragenina).
- Tasa de descuento de un 12,5% (Tabla 16).
- Aumento en el IPC anual de un 7%

Se obtiene el flujo de caja señalado en la Tabla 37.

Tabla 37. Flujo de caja para el caso estudiado en la sección Anexo C. Balances de Masa y energía.

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Producción [Mton]	1.728	1.797	1.869	1.944	2.022	2.102	2.186	2.274	2.365	2.459	2.558
Precio [USD/kg]	20	21,4	22,9	24,5	26,2	28,1	30,0	32,1	34,4	36,8	39,3
Aumento de humedad %	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%
Producción extra [Mton]	60	63	65	68	71	74	77	80	83	86	90
Ventas [MUSD]	35.770	39.804	44.294	49.291	54.851	61.038	67.923	75.585	84.111	93.598	104.156
Costo Neto Materias primas [MUSD]	15.940	17.056	18.250	19.527	20.894	22.357	23.922	25.596	27.388	29.305	31.357
Costos Directos de Proceso [MUSD]	1.927	2.062	2.206	2.361	2.526	2.703	2.892	3.095	3.311	3.543	3.791
Costos indirectos totales [MUSD]	7.860	8.411	8.999	9.629	10.303	11.025	11.796	12.622	13.506	14.451	15.463
Consumo LN2 (kg/kg carr)	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877	0,2877
Precio LN2 USD/kg LN2	0,55	0,59	0,64	0,68	0,73	0,78	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09
Costo LN2 [MUSD]	276	307	341	380	423	471	524	583	648	722	803
Costos [MUSD]	26.003	27.835	29.797	31.897	34.147	36.555	39.134	41.896	44.853	48.021	51.413
Margen Bruto	9.766	11.969	14.497	17.393	20.704	24.483	28.789	33.689	39.257	45.578	52.743
Impuestos (17%) [MUSD]	-1.660	-2.035	-2.465	-2.957	-3.520	-4.162	-4.894	-5.727	-6.674	-7.748	-8.966
Flujos [MUSD]	8.106	9.934	12.033	14.436	17.184	20.321	23.895	27.962	32.584	37.829	43.777

Al analizar el VAN de este nuevo flujo de caja, se obtiene un valor de 146.892 MUSD, el cual es 9.733 MUSD mayor al VAN del sistema actual, haciéndolo una opción económicamente atractiva.